



Neiva, 22 de Marzo de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Neiva

El (Los) suscrito(s):

Jorge Enrique Hernández Murcia, con C.C. No. 1007778787,

Carlos Alberto Ramos Quiroga, con C.C. No. 1075322224,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Ensayos a flexión en vigas de concreto reforzado con bambú (Especie Guadua Angustifolia), presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Jorge Enrique Hernández Murcia EL AUTOR/ESTUDIANTE: Carlos Alberto Ramos Quiroga

Jorge Hernández M

Firma: _____

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Ensayos a flexión en vigas de concreto reforzado con bambú (Especie Guadua Angustifolia).

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Hernández Murcia	Jorge Enrique
Ramos Quiroga	Carlos Alberto

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Duarte Toro	Mauricio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil.

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 101

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general X Grabados ___ Láminas ___
Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o
Cuadros X

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Bambú</u>	<u>Bamboo</u>	6. _____	_____
2. <u>Vigas</u>	<u>Beams</u>	7. _____	_____
3. <u>Flexión</u>	<u>Bending</u>	8. _____	_____
4. <u>Resistencia</u>	<u>Strength</u>	9. _____	_____
5. <u>Concreto</u>	<u>Concrete</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La presente investigación se centró en la determinación de la resistencia última a la flexión y la deformación máxima de vigas de concreto reforzado con bambú (Especie Guadua Angustifolia) mediante la elaboración de un diseño experimental multifactorial que consideró tres factores del refuerzo longitudinal en forma de tablillas: Rugosidad lisa (L) o acanalada (A), Posición vertical (V) u horizontal (H) y la Configuración o disposición en las zonas a tensión (BT), compresión (BC) o ambas (BTC) generando 12 tratamientos tras su combinación. Se ensayaron 36 probetas prismáticas de 15 centímetros de base y altura con una luz libre de 45 centímetros considerando 3 muestras por cada tratamiento, 3 muestras representativas del concreto reforzado con acero convencional y 3 en concreto simple bajo la prueba de flexión en cuatro puntos determinando la capacidad de carga última y su respectiva deformación máxima. El análisis de varianza comprobó que, si existen diferencias estadísticamente significativas entre la resistencia media a la flexión y la deformación en los tratamientos evaluados, además, mediante la prueba HSD de Tukey se determinó que la mayor resistencia a la flexión de las vigas de concreto reforzado con bambú simplemente apoyadas se obtiene cuando estas se construyen con tablillas de bambú lisas (L) en posición vertical (V) y recubiertas con Sikadur – 32. De las tres disposiciones del refuerzo longitudinal, las vigas con refuerzo de bambú a compresión y acero a tensión (BC) presentaron mayor resistencia media a la flexión.

Las vigas de concreto reforzado exclusivamente con bambú demostraron tener la capacidad de aumentar 1.83 veces la resistencia a la flexión y aumentar la ductilidad en comparación con vigas de concreto simple; sin embargo, su implementación aún es limitada debido a los costos en los que se incurre para realizar el pretratamiento del bambú y su proceso constructivo.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The present investigation focused on the determination of the ultimate flexural strength and maximum deformation of concrete beams reinforced with bamboo (*Guadua angustifolia* species) through the elaboration of a multifactorial experimental design that considered three factors of the longitudinal reinforcement in the form of slats: smooth (L) or ribbed (A) roughness, vertical (V) or horizontal (H) position and the configuration or arrangement in the tension (BT), compression (BC) or both (BTC) zones, generating 12 treatments after their combination. Thirty-six prismatic specimens of 15 centimeters base and height with a free span of 45 centimeters were tested considering 3 specimens for each treatment, 3 specimens representative of concrete reinforced with conventional steel and 3 in plain concrete under the four-point bending test, determining the ultimate load capacity and its respective maximum deformation. The analysis of variance proved that there are statistically significant differences between the mean flexural strength and the deformation in the evaluated treatments. Furthermore, by means of Tukey's HSD test, it was determined that the highest flexural strength of the simply supported bamboo reinforced concrete beams is obtained when they are constructed with smooth bamboo slats (L) in vertical position (V) and coated with Sikadur - 32. Of the three longitudinal reinforcement arrangements, the beams with bamboo compression reinforcement and tension steel (BC) had higher average flexural strength.

Bamboo-only reinforced concrete beams showed the ability to increase 1.83 times the flexural strength and increase ductility compared to plain concrete beams; however, their implementation is still limited due to the costs incurred for bamboo pretreatment and construction process.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Alvin Leonardo Tejada.

Firma: 

Nombre Jurado: Jackson Andrés Gil Hernández.

Firma: 



Ensayos a flexión en vigas de concreto reforzado con Bambú (Especie *Guadua Angustifolia*)

Jorge Enrique Hernández Murcia

Carlos Alberto Ramos Quiroga

Universidad Surcolombiana

Facultad de ingeniería

Neiva, Colombia

2023

Ensayos a flexión en vigas de concreto reforzado con Bambú (Especie *Guadua Angustifolia*)

Jorge Enrique Hernández Murcia

Carlos Alberto Ramos Quiroga

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero civil.

Director (a):

MSc. Mauricio Duarte Toro

Línea de Investigación:

Estructuras

Grupo de Investigación:

CONSTRU-USCO

Universidad Surcolombiana

Facultad de ingeniería

Neiva - Huila, Colombia

2023

Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.

Proverbios 2:6

Para la existencia de la ciencia es necesario cabezas que no acepten que la naturaleza debe seguir ciertas condiciones preconcebidas.

Richard Feynman

No siempre puedes conseguir lo que quieres, pero si lo intentas, alguna vez encontrarás lo que necesitas.

Mick Jagger & Keith Richards

Resumen

La presente investigación se centró en la determinación de la resistencia última a la flexión y la deformación máxima de vigas de concreto reforzado con bambú (Especie *Guadua Angustifolia*) mediante la elaboración de un diseño experimental multifactorial que consideró tres factores del refuerzo longitudinal en forma de tablillas: Rugosidad lisa (L) o acanalada (A), Posición vertical (V) u horizontal (H) y la Configuración o disposición en las zonas a tensión (BT), compresión (BC) o ambas (BTC) generando 12 tratamientos tras su combinación. Se ensayaron 36 probetas prismáticas de 15 centímetros de base y altura con una luz libre de 45 centímetros considerando 3 muestras por cada tratamiento, 3 muestras representativas del concreto reforzado con acero convencional y 3 en concreto simple bajo la prueba de flexión en cuatro puntos determinando la capacidad de carga ultima y su respectiva deformación máxima. El análisis de varianza comprobó que, si existen diferencias estadísticamente significativas entre la resistencia media a la flexión y la deformación en los tratamientos evaluados, además, mediante la prueba HSD de Tukey se determinó que la mayor resistencia a la flexión de las vigas de concreto reforzado con bambú simplemente apoyadas se obtiene cuando estas se construyen con tablillas de bambú lisas (L) en posición vertical (V) y recubiertas con Sikadur – 32. De las tres disposiciones del refuerzo longitudinal, las vigas con refuerzo de bambú a compresión y acero a tensión (BC) presentaron mayor resistencia media a la flexión.

Las vigas de concreto reforzado exclusivamente con bambú demostraron tener la capacidad de aumentar 1.83 veces la resistencia a la flexión y aumentar la ductilidad en comparación con vigas de concreto simple; sin embargo, su implementación aún es limitada debido a los costos en los que se incurre para realizar el pretratamiento del bambú y su proceso constructivo.

Palabras clave: Bambú, Vigas, Flexión, Resistencia, Concreto.

Abstract

The present investigation focused on the determination of the ultimate flexural strength and maximum deformation of concrete beams reinforced with bamboo (*Guadua angustifolia* species) through the elaboration of a multifactorial experimental design that considered three factors of the longitudinal reinforcement in the form of slats: smooth (L) or ribbed (A) roughness, vertical (V) or horizontal (H) position and the configuration or arrangement in the tension (BT), compression (BC) or both (BTC) zones, generating 12 treatments after their combination. Thirty-six prismatic specimens of 15 centimeters base and height with a free span of 45 centimeters were tested considering 3 specimens for each treatment, 3 specimens representative of concrete reinforced with conventional steel and 3 in plain concrete under the four-point bending test, determining the ultimate load capacity and its respective maximum deformation. The analysis of variance proved that there are statistically significant differences between the mean flexural strength and the deformation in the evaluated treatments. Furthermore, by means of Tukey's HSD test, it was determined that the highest flexural strength of the simply supported bamboo reinforced concrete beams is obtained when they are constructed with smooth bamboo slats (L) in vertical position (V) and coated with Sikadur - 32. Of the three longitudinal reinforcement arrangements, the beams with bamboo compression reinforcement and tension steel (BC) had higher average flexural strength.

Bamboo-only reinforced concrete beams showed the ability to increase 1.83 times the flexural strength and increase ductility compared to plain concrete beams; however, their implementation is still limited due to the costs incurred for bamboo pretreatment and construction process.

Keywords: Bamboo, Beams, Bending, Strength, Concrete.

Contenido

1. Introducción	17
1.1 Antecedentes	18
1.2 Justificación	22
1.3 Objetivos	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
1.4 Estructura del documento	24
2. Marco teórico	25
2.1 Bambú	25
2.1.1 Propiedades mecánicas del bambú (Especia <i>Guadua Angustifolia Kunth</i>).....	25
2.1.2 Morfología del bambú.....	26
2.2 Esfuerzos en Vigas - Flexión	27
2.2.1 Ley de Hooke.....	27
2.2.2 Flexión - Principio de Navier-Bernoulli.....	28
2.3 Propiedades mecánicas del concreto reforzado	29
2.4 Ensayos a los materiales	30
2.5 Cemento	30
2.6 Agregados pétreos	30
2.7 Agua	30
2.8 Almacenamiento de materiales	30
2.9 Análisis de varianza (ANOVA)	31
2.10 Test HSD de Tukey	31
3. Metodología	32
3.1 Primera fase	32
3.2 Segunda fase	33
3.2.1 Procedencia de los materiales.....	33
3.2.2 Agregado fino y grueso.....	33
3.2.3 Cemento.....	34
3.2.4 Acero.....	34
3.2.5 Bambú.....	34
3.2.6 Diseño de mezcla.....	34
3.2.7 Toma de muestras de agregados.....	35
3.2.8 Granulometría de los agregados.....	35
3.2.9 Determinación de la masa unitaria.....	35
3.2.1 Densidad y absorción de los agregados.....	36
3.2.2 Contenido de humedad de los agregados.....	36
3.3 Tercera fase	36
3.3.1 Pretratamiento al refuerzo de bambú y corte de acero.....	36

3.3.2	Amarre de las armaduras.....	38
3.3.3	Fundición.....	39
3.3.4	Desencofrado y curado.....	40
3.4	Cuarta fase.....	41
3.5	Quinta fase.....	42
4.	Análisis de resultados.....	44
4.1	Configuraciones.....	44
4.2	Diseño de mezcla.....	46
4.2.1	Caracterización de los materiales.....	47
4.2.2	Elaboración del diseño de mezcla.....	47
4.3	Análisis estadístico para momento último.....	48
4.3.1	Estadística descriptiva.....	48
4.3.2	Gráficos de caja por factores.....	51
4.3.3	Tabla ANOVA Multifactorial.....	53
4.3.4	Prueba de Tukey.....	53
4.3.5	Gráficos de interacción.....	56
4.3.6	Discusión de resultados.....	58
4.4	Análisis estadístico de la deformación.....	59
4.4.1	Estadística descriptiva.....	59
4.4.2	Gráficos de caja por factores.....	60
4.4.3	Tabla ANOVA multifactorial.....	62
4.4.4	Test HSD de Tukey.....	62
4.4.5	Gráficos de interacción.....	63
4.5	Resistencia a la flexión vs costos.....	65
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	69
5.1	Conclusiones.....	69
5.2	Recomendaciones.....	71
6.	Bibliografía.....	72

Lista de figuras y gráficas

	Pág.
Figura 2-1: La tacuara (Bambú) como material de construcción es utilizada en diferentes aplicaciones a través del aprovechamiento de sus diámetros y longitudes.....	26
Figura 2-2: Viga experimental y curva carga-desplazamiento.....	27
Figura 2-3: Principio de Superposición.....	28
Figura 2-4: Fibra neutra y comportamiento a flexión de un elemento.....	28
Figura 2-5: Principio generalizado de Navier-Bernoulli.....	29
Figura 3-1: Fases de la metodología.....	32
Figura 3-2: Apilamiento de bolsas, vaciado y mezclado de (a) agregado fino (arena) y (b) agregado grueso (grava).....	33
Figura 3-3: Ficha técnica cemento tipo uso general.....	34
Figura 3-4: Ficha técnica de producto Barras y Rollos corrugados. Tomado de Ficha Técnica de Producto Barras y Rollos Corrugados GG Diaco.....	34
Figura 3-5: Cuarteo de agregados finos y gruesos.....	35
Figura 3-6: Procedimiento de determinación de masa la masa unitaria.....	36
Figura 3-7: Corte de culmos de bambú.....	37
Figura 3-8: Perforaciones para inmunización del bambú.....	37
Figura 3-9: Inyección de Lorsban a los culmos de bambú.....	37
Figura 3-10: Realización de patrón de acanalado a los refuerzos de bambú.....	38
Figura 3-11: Diagrama general de las probetas de ensayo.....	38
Figura 3-12: Amarre de refuerzos longitudinales y transversales; en la imagen derecha se aprecia el armazón en acero convencional, acero a compresión y bambú a tensión (BT) y bambú a tensión y compresión (BTC) respectivamente.....	39
Figura 3-13: Aplicación de resina epóxica Sikadur – 32.....	40
Figura 3-14: Proceso de Compactación de las probetas.....	40
Figura 3-15: Culminación de proceso de fundición.....	40
Figura 3-16: Tanque utilizado para el proceso de curado.....	41
Figura 3-17: Montaje en la máquina universal de ensayos.....	41
Figura 3-18: Vista esquemática del aparato apropiado para la determinación de la resistencia del concreto a la flexión.....	42
Figura 4-1: (a) bambú en hormigón fresco, (b) bambú durante el curado del hormigón y (c) bambú después del curado del hormigón.....	44
Figura 4-2: Rugosidad del refuerzo de bambú.....	45
Figura 4-3: Configuraciones de refuerzo.....	45
Figura 4-4: Posición de los refuerzos de bambú.....	46

Figura 4-5: Procedimiento del diseño de mezcla propuesto por Sánchez de Guzmán (2001) que obedece las especificaciones del método del volumen absoluto recomendado por la A.C.I 211...	48
Figura A- 1: Requisitos de contenido total de aire para concretos con diferentes tamaños de agregados adaptado de la ACI 211.1.	80
Figura A- 2: Demanda de agua aproximada para varios revestimientos y tamaños de agregados triturados para concreto sin aire incluido adaptado de la tabla 9-5 de ACI 211.1	81
Figura A- 3: Procedimiento grafico para encontrar las proporciones en que deben mezclarse los agregados, eje de las ordenadas es el porcentaje que pasa de los agregados finos y gruesos, eje de las abscisas es el porcentaje de agregado para mezcla propuesto por Fuller & Thompson.	85
Gráfica 4-1: Diagrama de caja del factor configuración para momento último.....	51
Gráfica 4-2: Diagrama de caja del factor Rugosidad para momento último.	52
Gráfica 4-3: Diagrama de caja del factor Posición para momento último.	52
Gráfica 4-4: Grupos y rangos de test HSD de Tukey del factor configuración para momento último.	54
Gráfica 4-5: Grupos y rangos de test HSD de Tukey del factor Rugosidad para momento último.	54
Gráfica 4-6: Grupos y rangos de test HSD de Tukey del factor Posición para momento último.....	54
Gráfica 4-7: Grupos y rangos de test HSD de Tukey para todos los tratamientos del diseño experimental para momento último.....	55
Gráfica 4-8: Diagrama de interacción de configuración vs posición para media de momento último.	56
Gráfica 4-9: Diagrama de interacción de configuración vs rugosidad para media de momento último.	57
Gráfica 4-10: Diagrama de interacción de posición vs rugosidad para media de momento último.	57
Gráfica 4-11: Diagrama de interacción de rugosidad vs configuración para media de momento último.	58
Gráfica 4-12: Grafica de resistencia media a la flexión de los tratamientos elaborados.	59
Gráfica 4-13: Diagrama de caja del factor configuración para desplazamiento transformado.	61
Gráfica 4-14: Diagrama de caja del factor Posición para desplazamiento máximo.	61
Gráfica 4-15: Diagrama de caja del factor Rugosidad para desplazamiento máximo.	62
Gráfica 4-16: Grupos y rangos de test HSD de Tukey para todos los tratamientos del diseño experimental para momento último.....	63
Gráfica 4-17: Diagrama de interacción de configuración vs Posición para media de desplazamiento máximo.....	64
Gráfica 4-18: Diagrama de interacción de configuración vs rugosidad para media de desplazamiento máximo.....	65
Gráfica 4-19: Diagrama de interacción de posición vs rugosidad para media de desplazamiento máximo.....	65
Gráfica 4-20: Diagrama de barras ilustrativo de la relación resistencia vs. Costo por cada tratamiento.	67
Gráfica B- 1: Curva granulométrica del agregado grueso.....	90
Gráfica B- 2: Curva granulométrica del agregado fino.	90

Gráfica C- 1: Histograma, diagrama de caja y gráfico de probabilidad normal de los residuos del modelo de momento último.....	94
Gráfica C- 2: Residuales contra orden del modelo de momento último.	95
Gráfica D- 1: Histograma, diagrama de caja y gráfico de probabilidad normal de los residuos del modelo de desplazamiento máximo.....	96
Gráfica D- 2: Residuales contra orden del modelo de desplazamiento máximo.	97

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 4-1: Cuantía recomendada por diferentes autores con la empleada en esta investigación para los ensayos.	46
Tabla 4-2: Diseño experimental multifactorial.	46
Tabla 4-3: Caracterización de los materiales.	47
Tabla 4-4: Cantidad de material y proporciones del concreto por fundición.	48
Tabla 4-5: Resultados de ensayos a flexión.	49
Tabla 4-6: Estadística descriptiva de momento último.	51
Tabla 4-7: Tabla de ANOVA multifactorial para momento último.	53
Tabla 4-8: Medias y grupos del test HSD de Tukey para los 12 tratamientos del diseño experimental para momento último.	56
Tabla 4-9: Comparación con otros autores del aumento de carga empleando bambú como refuerzo longitudinal respecto a una viga en concreto simple.	58
Tabla 4-10: Estadística descriptiva de desplazamiento máximo.	60
Tabla 4-11: Tabla de ANOVA multifactorial para desplazamiento máximo.	62
Tabla 4-12: Medias y grupos del test HSD de Tukey para los 12 tratamientos del diseño experimental para desplazamiento máximo.	63
Tabla 4-13: Costo de los materiales generados mediante análisis de precios unitarios en ejecución.	66
Tabla 4-14: Cuadro comparativo de los costos incluyendo y descartando el adhesivo epoxico Sikadur 32 Gel con respecto al ítem 1.1 referente al concreto reforzado convencional.	66
Tabla 4-15: Tabla de resistencia a flexión vs. Costos por cada tratamiento.	67
Tabla A- 1: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.	77
Tabla A- 2: Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción adaptado de la ACI 211.1.	78
Tabla A- 3: Análisis del proceso constructivo para determinar asentamiento idóneo.	78
Tabla A- 4: Datos iniciales para selección del tamaño máximo y máximo nominal del agregado. .	78
Tabla A- 5: Tamaños máximos de agregados según tipo de construcción.	79
Tabla A- 6: Verificación del cumplimiento del tamaño máximo nominal del agregado.	79
Tabla A- 7: Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados.	79

Tabla A- 8: Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.....	80
Tabla A- 9: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay Datos disponibles para establecer la desviación estándar (a) en MPa (NSR 10 – Sección C.5.3.2.2), (b) en Kg/cm ³ proporcionado por Sánchez de Guzmán de ACI 318 (2001) y (c) en Psi (lb/plg ²).....	82
Tabla A- 10: Cálculo de F'cr por sistema de unidades.	82
Tabla A- 11: Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua-cemento para los cementos colombianos.	82
Tabla A- 12: Relación agua-material cementante máxima para varias condiciones de exposición	83
Tabla A- 13: Valores de b/bo para diferentes módulos de finura de la arena.	84
Tabla A- 14: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto adaptado del ACI 211.	84
Tabla A- 15: Resumen de métodos de proporción del agregado grueso.	85
Tabla A- 16: Cálculo de la proporción del agregado grueso para un metro cubico de concreto. ...	86
Tabla A- 17: Cantidades de materiales para un metro cubico de concreto.	86
Tabla A- 18: (a) Ajuste por humedad de la primera fundición y (b) requerimiento de agua.	86
Tabla A- 19: Resultados de las diez fundiciones ejecutadas.....	87
Tabla A- 20: Peso seco registrado en el paso 8, peso ajustado por humedad (húmedo) y proporción de la primera fundición.....	87
Tabla A- 21: Pesos finales por metro cubico de concreto y proporciones manejadas en campo de las diez fundiciones.	87
Tabla A- 22: Lista de cilindros testigos de las fundiciones ejecutadas.	88
Tabla A- 23: Valores de densidad para cemento Portland por autores y asumido.	88
Tabla B- 1: Análisis granulométrico del agregado grueso.....	89
Tabla B- 2: Análisis granulométrico del agregado fino.	89
Tabla B- 3: Tamaños mínimos de muestra para ensayo de gradación.	90
Tabla B- 4: Contenido total de humedad por cada fundición para corrección por humedad en diseño de mezcla – agregado fino.	91
Tabla B- 5: Contenido total de humedad por cada fundición para corrección por humedad en diseño de mezcla – agregado grueso.....	91
Tabla B- 6: Masa unitaria suelta del agregado fino.	91
Tabla B- 7: Masa unitaria compactada del agregado fino.	92
Tabla B- 8: Masa unitaria suelta del agregado grueso.	92
Tabla B- 9: Masa unitaria compactada del agregado grueso.	92
Tabla B- 10: Resultados masa unitaria de los agregados.....	92
Tabla B- 11: Tamaño mínimo de muestra para ensayo de densidad y absorción.....	92
Tabla B- 12: Calculo de densidad y absorción del agregado grueso (a) Datos iniciales, (b) cálculo de densidad aparente, (c) cálculo de densidad aparente saturada y seca), (d) cálculo de densidad nominal y (e) absorción.....	93
Tabla B- 13: Tamaño mínimo de muestra para ensayo de densidad y absorción.....	93

Tabla B- 14: Calculo de densidad y absorción del agregado fino (a) Datos iniciales, (b) cálculo de densidad aparente, (c) cálculo de densidad aparente saturada y seca), (d) cálculo de densidad nominal y (e) absorción.....	93
Tabla C- 1: Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk para los residuos de datos de momento último.....	94
Tabla C- 2: Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante para los residuos de los datos de momento último.....	95
Tabla C- 3: Resultados de la prueba de Durbin – Watson para los residuos de los datos de momento último.....	95
Tabla C- 4: Resultados de la prueba de t-student para los residuos de los datos de momento último.....	95
Tabla D- 1: Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk para los residuos de datos de desplazamiento máximo.....	96
Tabla D- 2: Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante para los residuos de los datos de desplazamiento máximo.....	97
Tabla D- 3: Resultados de la prueba de Durbin – Watson para los residuos de los datos de desplazamiento máximo.....	97
Tabla D- 4: Resultados de la prueba de Durbin – Watson para los residuos de los datos de desplazamiento máximo.....	97
Tabla E- 1: Análisis de precio unitario – concreto reforzado convencional.....	98
Tabla E- 2: Análisis de precio unitario – concreto reforzado con varas de bambú incluye sikadur.....	99
Tabla E- 3: Análisis de precio unitario – concreto reforzado mixto incluye sikadur.....	99
Tabla E- 4: Análisis de precio unitario – concreto simple.....	100
Tabla E- 5: Análisis de precio unitario – concreto reforzado con varas de bambú, no incluye sikadur.....	100
Tabla E- 6: Análisis de precio unitario – concreto reforzado con varas de bambú, no incluye sikadur.....	101

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Diseño de mezcla por el método ACI 211.1 – Volumen absoluto:.....	77
Anexo B. Caracterización de los materiales	89
Anexo C. Verificación de supuestos del modelo de momento último.....	94
Anexo D. Verificación de supuestos del modelo de deformación.....	96
Anexo E. Análisis de Precios Unitarios de los materiales por Ítem.....	98

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
E	Energía expresada en MJ	J	F * d
A_s	Área del refuerzo que trabaja a tracción	m ²	
A	Área total de la sección	m ²	
E/M	Contenido energético expresado en MJ	J/Kg	p. 30
K	Constante de proporcionalidad	Adim.	Ecuación 2.1
P	Fuerza indicada	N	Ecuación 2.1
$D_{S\text{ aparente}}$	Densidad Aparente	Kg/m ³	NTC 237-176
D_{SSS}	Densidad Aparente Saturada y seca	Kg/m ³	NTC 237
$D_{S\text{ nominal}}$	Densidad Nominal	Kg/m ³	NTC 237
D_{aparente}	Densidad Aparente	Kg/m ³	NTC 176
f'_c	Resistencia especificada a la compresión del concreto	MPa	Tabla A-9
f'_{cr}	Resistencia promedio a la compresión requerida del concreto empleado como base para la dosificación del concreto	Mpa	Tabla A-9
A/C	Relación agua material cementante		Tabla A-12
b/b_0	Volumen del agregado grueso varillado (Compactado) en seco por volumen unitario de concreto		Tabla B-6
P_g	Peso seco de agregados	Kg/m ³	Tabla A-16
V_g	Volumen absoluto de aregado	m ³ /m ³	Tabla A-16
Ph	Ajuste por humedad agregado	Kg/m ³	Tabla A-18
Ag	Cantidad de agua agregado grueso	L	Tabla A-18
Af	Cantidad de agua agregado fino	L	Tabla A-18
Ra	Requerimiento de agua	L	Tabla A-18
A	Absorción del agregado		Tabla B-11
F_y	Límite de fluencia	Mpa	

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
ρ	Cuantía del refuerzo a flexión (Porcentaje)		A_s/A
σ	Esfuerzo en Mpa	Pa	Fuerza/Area
Δ	Desplazamiento	m	Ecuación 2.1

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>HSD</i>	Test Honestly-Significant-Difference de Tukey
<i>FAO</i>	Food and Agriculture Organization
<i>ACI</i>	American Concrete Institute
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>NSR-10</i>	Norma Sismo Resistente 2010
<i>AASHTO</i>	American Association of State Highway and Transportation
<i>ICONTEC</i>	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
<i>NTC</i>	Norma Técnica Colombiana
<i>ANOVA</i>	Análisis de varianza
<i>TMN</i>	Tamaño Máximo Nominal
<i>PCA</i>	Portland Cement Association
<i>ACPM</i>	Aceite Combustible Para Motores
<i>BC</i>	Acero en zona a tensión y bambú en zona a compresión
<i>BT</i>	Acero en zona a compresión y bambú en zona a tensión
<i>BTC</i>	Bambú en zona a compresión y tensión
<i>L</i>	Liso
<i>A</i>	Acanalado
<i>V</i>	Vertical
<i>H</i>	Horizontal
<i>H₀</i>	Hipótesis nula
<i>H₁</i>	Hipótesis alterna
<i>P. U</i>	Peso Unitario o Masa Unitaria
<i>Abs</i>	Absorción
<i>Lb</i>	Libra – sistema ingles
<i>plg</i>	Pulgada – sistema ingles
<i>Psi</i>	Pounds-force per square inch

Capítulo 1

1. Introducción

Con el aumento exponencial de la población, aumenta de forma proporcional la demanda de bienes y servicios que utilizan energía para ser producidos como indica la (FAO, 2008) “Los incrementos mayores en la demanda de energía se registrarán en los países en desarrollo, donde se pronostica que la proporción mundial del consumo de energía habrá de aumentar del 46% al 58% entre 2004 y 2030” (p. 6).

A lo largo de la historia, la industria ha sido el consumidor predominante de energía en las sociedades, de acuerdo con (Petrecca, 2014) el consumo de energía en la industria para un país industrializado típico es del 30% del total. Para lograr minimizar los impactos de las actividades antrópicas en el medio ambiente y poder preservar los lugares que habitamos de forma óptima, es necesario, así como lo expresa (Mishra, Kumar, & Maity, 2019) “El uso de materiales alternativos respetuosos con el medio ambiente, como el bambú, se ha incrementado en las últimas décadas para construir infraestructuras civiles sostenibles con un impacto medioambiental mínimo” (p. 1).

La industria de la construcción consume gran parte del porcentaje de energía que se produce, y esto tiene que ver con la cantidad de materiales que se utiliza en la industria; uno de los materiales de mayor demanda es el concreto pero este material por sí solo presenta fallas frágiles, por ende, se crearon materiales compuestos para proporcionarle la ductilidad necesaria y de esta forma las estructuras puedan disipar energía de forma idónea en situaciones críticas como un evento sísmico. El concreto ha sido reforzado con materiales como acero, fibra de vidrio, entre otros, pero como plantean (Mali & Datta, 2020) “Aunque estos materiales convencionales proporcionan una mejora significativa en propiedades del hormigón, se obtienen de fuentes no renovables e insostenibles” (p. 2).

Las investigaciones en el campo de las vigas de concreto reforzado con bambú han revalidado su implementación no solo por su ventaja ecológica y económica, sino por su buena capacidad de carga última, así lo da a conocer la investigación de (Ghavami, 1995) donde se demostró que una viga de concreto reforzado con bambú puede resistir cuatro veces más que una viga de concreto simple o en el caso de La revisión bibliográfica de (Rodríguez Hernández,

2017) donde asegura que “las vigas de concreto con refuerzo longitudinal de bambú pueden emplearse para soportar con seguridad cargas de dos a tres veces mayores que las que pueden esperarse en vigas de las mismas dimensiones sin refuerzo” (p. 82).

Esta investigación está enfocada en determinar la resistencia a la flexión mediante el momento último con su respectiva deformación máxima en vigas de concreto reforzado con bambú especie *Guadua Angustifolia Kunth*, partiendo de un diseño experimental multifactorial que considera tres factores del refuerzo longitudinal en forma de tablillas. El primer factor es la rugosidad que presenta dos niveles, tomando en cuenta la recomendaciones de algunos autores tras una búsqueda sistemática de bibliografía: Lisa (L) o Acanalada (A), el segundo factor es la posición del refuerzo pues las tablillas presentan una sección aproximadamente rectangular variando la inercia Vertical (V) u Horizontalmente (H) y el tercer factor es la disposición respecto a la sección transversal de la viga en las zonas a tensión (BT), compresión (BC) o ambas (BTC) resultando un total de 12 tratamientos tras su combinación. Se fabricaron 3 muestras por cada tratamiento, 3 muestras representativas del concreto reforzado con acero y 3 en concreto simple para un total de 42 probetas en forma prismática de 15 centímetros de base y altura con una luz libre de 45 centímetros. Estas probetas fueron ensayadas bajo la prueba de flexión de cuatro puntos en condición simplemente apoyada con el fin de comparar la influencia de cada uno de los factores en la resistencia a la flexión y la deformación, así como encontrar la mejor forma de construir vigas de concreto reforzado con bambú y analizar los costos de material por unidad. Con el fin de evitar fallas por cortante en las probetas, se colocan estribos o flejes en acero cada 10 centímetros considerando el título E del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 y se comprueba a través de ensayos preliminares que se presente falla a flexión.

1.1 Antecedentes

Brink & Rush (1966). realizaron un informe con el fin de preparar al personal de campo en el diseño y construcción de concreto reforzado con bambú, los diseños son muy similares al diseño con acero convencional variando solamente las propiedades mecánicas del refuerzo por el de bambú, una cuantía recomendada del 3% al 4% y un diseño de mezcla con asentamiento bajo que evite la hinchazón; adicional a esto, según las investigaciones que soportan el informe y la experiencia en el uso constructivo del bambú tiene mayor eficiencia en tablillas que el culmo entero, demostrando una mejor adherencia en el concreto, además de proporcionar capas de refuerzo más compactas.

Ghavami (1995) realizó ensayos de laboratorio a flexión de cuatro puntos en dos vigas experimentales de concreto reforzado con bambú y dimensiones 12 por 30 centímetros de sección transversal (ancho y peralte) y 340 centímetros de longitud; de igual manera, también se probó una viga de las mismas dimensiones reforzada con acero a fin de comparar ambos tipos

de refuerzo. El objetivo de la investigación de (Ghavami, 1995) fue medir las cargas en línea con las deformaciones, deflexión, iniciación y propagación de grietas de cada viga experimental, llegando a la conclusión de que la carga última aplicada aumentó hasta un 400% en comparación con las vigas de hormigón sin refuerzo; incluso el autor da la recomendación de usar una cuantía de área de refuerzo en bambú de un 3% y proponer tratamientos al bambú como la impermeabilización con asfalto líquido para solucionar el problema de contracción y expansión del bambú en el concreto protegiendo el refuerzo del ambiente ácido en el que se encuentra.

Ghavami (2005) realizó ensayos de fuerza de adherencia entre el concreto y el bambú y demostró que el recubrimiento de una resina epóxica como el Sikadur 32 Gel aumenta 5.29 veces la fuerza de adherencia entre bambú-concreto.

Khare (2005) llevó a cabo ensayos a flexión a cuatro puntos en vigas de concreto reforzado con bambú para posteriormente compararlos con concreto reforzado con acero. Además, llevó a cabo pruebas a tracción con diferentes especies de bambú concluyendo que la presencia de nudos no afecta el comportamiento general del bambú en el concreto; así mismo, realizó 6 pruebas de flexión con especímenes de 20.3x50.8 centímetros de sección transversal (ancho-peralte) y 242 centímetros de longitud con tablillas de bambú en cuatro porcentajes diferentes de cuantía y bambú Tonkin en los estribos. Los resultados más relevantes de esta investigación señalaron que la capacidad de carga del concreto reforzado con bambú aumentó 250% con respecto a una viga en concreto simple y un 35% con respecto a una viga de concreto reforzado con acero, presentándose variaciones del comportamiento entre diferentes especies de bambú, siendo la especie *Phyllostachys edulis*, más dúctil.

Lima, Willrich, Barbosa, Rosa y Cunha (2008) analizó la durabilidad del bambú como refuerzo en el concreto mediante el sometimiento de 500 especímenes de probetas a varios ciclos de humectación y secado con agua del grifo adicionándole hidróxido de calcio; los resultados arrojaron que el bambú no disminuyó su módulo de young ni su resistencia a la tracción, además de la diferenciación de la resistencia del bambú cuando las probetas tenían nudo o no, encontrando que la resistencia disminuye a más de la mitad cuando en la probeta hay un nudo.

Rahman, Hasan, Hasan, Hossain, & Rashid (2011), realizaron ensayos de tracción en tablillas de bambú con tres a cinco nudos para concluir que la diferencia no era significativa teniendo en cuenta esta variable y situó la resistencia a la tracción media de 105MPa. El aporte más significativo de esta investigación corresponde a la realización de ensayos a flexión en vigas de concreto reforzado con bambú, encontrando que, en comparación con una viga de concreto simple, la capacidad de carga aumenta dos veces cuando se implementa refuerzo en la zona a tensión y aumenta 2.5 veces cuando se implementa refuerzo en la zona a tensión y en la zona a compresión, así mismo, las deflexiones aumentan 4.5 y 8 veces, respectivamente.

Yamaguchi, Murakami & Takeda (2013) llevando a cabo la elaboración de una viga tradicional sustituyeron el acero convencional por el bambú en el refuerzo longitudinal (varilla principal) y en el refuerzo transversal (estribos) a fin de ejecutar pruebas de carga a flexión a cuatro puntos. Estos investigadores llegaron a la conclusión de que se puede obtener una buena capacidad de carga y que este se puede determinar utilizando un análisis de sección basados en Bernoulli-Euler, además, en vigas de 150 y 250 de sección transversal (ancho-peralte) y dos metros de longitud entre apoyos se estimó el deslizamiento de la adherencia entre el bambú y el concreto utilizando un módulo de Young reducido.

Schneider (2014) realizó ensayos en vigas de concreto reforzado transversal y longitudinalmente con bambú encontrando que el refuerzo transversal incrementó hasta en un 259% la capacidad de resistencia al corte y de un 134% a un 242% la capacidad de carga última en comparación a las vigas de concreto simple; Además, propone un 3.9% como la cuantía de refuerzo óptima a flexión ya que con ésta, la viga presentó una falla dúctil; sin embargo, la viga con 3% tuvo el mayor desempeño en aumento de capacidad. Para evitar grietas de curado, el autor (Schneider, 2014) recomienda al menos 38 milímetros de recubrimiento de concreto.

Agarwal, Nanda & Maity (2014) del Instituto Indio de Tecnología en su investigación experimental revalidaron la utilización de bambú como refuerzo en el concreto, probando su desempeño en vigas y columnas, llegando a la conclusión de que su investigación indica que el bambú puede sustituir el acero como refuerzo en el concreto. Entre sus principales hallazgos, se encuentra el aumento de la adherencia bambú- concreto mediante el recubrimiento de sikadur 32 gel, en los ensayos realizados en vigas se encontró un aumento del 29.41% en la capacidad de carga última de las vigas reforzadas con bambú en comparación con las vigas de concreto simple.

Javadian, Wielopolski, Smith, & Hebel (2016) aplicaron “varios revestimientos para determinar el comportamiento de adherencia entre el hormigón y el refuerzo compuesto de bambú” (p. 110). Como resultado de esta investigación, lograron demostrar que el refuerzo compuesto de bambú sin revestimiento logra adherencia adecuada con la matriz de hormigón; sin embargo, de todos los revestimientos utilizados el que más fuerza de adherencia obtuvo fue de epoxico a base de agua con arena fina y recomiendan usar tanto arena fina como gruesa ya que no existen diferencias significativas en la variación de la fuerza de adherencia.

Adom-Asamoah, Osei, Obeng, & Boasiako (2017) realizaron ensayos a flexión en vigas de concreto autocompactante y recomendaron una cuantía de refuerzo del 2.6-3.1% para tener máxima ductilidad en las vigas. Con los resultados de laboratorio, revalidaron la posición de optar por el concreto reforzado con bambú como una alternativa viable en las zonas rurales mientras que los elementos estén sometidos exclusivamente a cargas gravitacionales, debido a que es probable que en zonas con una actividad sísmica alta estos elementos no tengan la capacidad de disipación de energía suficiente.

Mishra, Kumar, & Maity (2019) estudiaron el comportamiento de la unión viga-columna (nodo) de concreto reforzado con bambú. En primer lugar, hicieron ensayos de fuerza de adherencia del bambú, encontrando que el recubrimiento con sikadur (adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas) incrementa en más del doble la fuerza de adherencia bambú-concreto. Los ensayos principales consistieron en probar las uniones viga-columna con acero, bambú con recubrimiento de sikadur y bambú con recubrimiento de sikadur y anclajes de acero, para concluir que es viable la utilización del bambú como refuerzo en las uniones viga-columna de concreto implementando el recubrimiento de sikadur y haciendo especial mención a su gran aplicación en países con escasos recursos (Mishra, Kumar, & Maity, 2019).

Mali & Datta (2020) llevaron a cabo ensayos a flexión en vigas de concreto reforzadas con bambú que tenían una cuantía de refuerzo de 2.8% y 3.8% de varas bambú liso y acanalado, con y sin recubrimiento (tratamiento con resina epóxica, envoltura de acero y chorro de arena); los informes indican que la viga con 3.8% de refuerzo acanalado y tratado solo era de entre un 3% a un 17% menos resistente a la flexión que una viga de concreto reforzado con acero de 1.23% de cuantía de refuerzo. Sin embargo, los autores (Mali & Datta, 2020) plantean la necesidad de realizar ensayos teniendo en cuenta la variable del tiempo, para verificar la durabilidad del concreto reforzado con bambú.

Kaiser, Hameed, Alyousef, Aslam, & Alabduljabbar (2020) ejecutaron ensayos a flexión en vigas de concreto reforzado con bambú, aplicando dos tratamientos distintos a las tablillas de refuerzo que corresponden a acanalado y recubrimiento con alambre, manifestando de que la carga última de las vigas con refuerzos acanalados aumentó un 80% su capacidad de carga última y un 11% en el caso del recubrimiento con alambre con respecto al refuerzo liso. Estos autores resaltaron el potencial de utilización del uso de refuerzo de bambú en el concreto en países en vías de desarrollo o en comunidades que tienen acceso limitado al acero.

Kumar, Gautam, Kaur, Chaudhary, Afreen & Mehta (2021) mediante un artículo de revisión reúne investigaciones de varios autores donde evalúa las propiedades mecánicas y estructurales del bambú en el hormigón armado como alternativa al acero concluyendo que son bastantes extraordinarias. Por medio de la investigación de Terai & Minami en 2012 del artículo de revisión en cuestión, surgió el problema de la variación longitudinal del bambú gracias a los nudos; así mismo, recomienda asumir una sección transversal hueca esférica con diámetro externo e interno de 1.53 – 0.95 centímetros respectivamente y asumir uniformidad en toda su longitud. Al final, los autores (Kumar, y otros, 2021) recomendaron usar el bambú como refuerzo en estructuras de baja carga, en áreas de terremotos de baja magnitud con enfoque realista de diseño estructural, se puede utilizar donde el acero es limitado y que es conveniente determinar el comportamiento mecánico de los diferentes tipos de bambú.

Cabe destacar que en Colombia no se han realizado ensayos experimentales en elementos de concreto reforzado con bambú en su especie *Guadua Angustifolia Kunth*, y el material bibliográfico producido en el país se limita a las recopilaciones bibliográficas de Hidalgo López (1974) y González Salcedo (2001).

1.2 Justificación

En esta investigación se determinó el comportamiento y aporte a la resistencia a la flexión del bambú en vigas de concreto reforzado, cuantificando variables como la capacidad de carga última y la deformación, teniendo en cuenta factores relacionados con la rugosidad de la superficie del refuerzo, su posición relativa y la disposición de refuerzo de bambú en las zonas a compresión, tensión o ambas zonas de la viga mediante la realización de un diseño experimental multifactorial.

Las condiciones sociales, ecológicas y económicas que se presentan en las sociedades han llevado a la comunidad científica a desarrollar investigaciones centradas en la necesidad de construir con materiales asequibles y amigables con el medio ambiente. Si bien los materiales convencionales como el acero funcionan correctamente y están disponibles en la mayoría de los centros poblados es importante avanzar en la investigación de materiales no convencionales como el bambú, como indican (Javadian, Wielopolski, Smith, & Hebel, 2016) destacan el bambú como un material alternativo que crece principalmente en el trópico, que coincide sustancialmente con los países en vías de desarrollo. Así mismo subrayan la relevancia que está tomando el bambú como material de construcción y como sustituto del acero ya que dichas comunidades de los países subdesarrollados podrían beneficiarse económicamente, fortaleciendo la industria, generando empleo y satisfaciendo la demanda de materiales de construcción a nivel local desde una perspectiva técnica.

Además de la implementación del bambú como material de construcción, hay que tener en cuenta la necesidad de crear estructuras seguras, amigables con el medio ambiente y que sean económicamente viables, sobre todo en países en vía de desarrollo donde el aspecto económico cobra más protagonismo. En lo relacionado con el medio ambiente y desempeño mecánico (Janssen, 1981) recopiló datos sobre la cantidad de energía necesaria para producir la misma cantidad de material (MJ/kg) considerando los esfuerzos del bambú y el acero (Proporción de energía por unidad de esfuerzo), la diferencia se sitúa en torno a 15 y 50 veces más, respectivamente, de mayor cantidad de energía en el caso del acero. Esto indica que la implementación del bambú puede llegar a ser una alternativa mecánica, económica y medioambientalmente viable en la industria de la construcción.

El bambú es un buen candidato para sustituir el acero, pues (Awoyera & Ugwu, 2017) expresan que el bambú presenta mejor resistencia a la compresión que la madera, el concreto y

el ladrillo siendo su resistencia a la tracción comparable con la del acero; además, la investigación de concreto reforzado con fibras naturales representa la oportunidad de tener un material amigable con el medio ambiente, y con buena resistencia a esfuerzos tenso-compresivos, como en el caso de la flexión ya que estas fibras presentan un excelente comportamiento mecánico y densidades increíblemente bajas (Quintero-Dávila, Neves Monteiro, & A Colorado, 2018).

La construcción con bambú puede generar aún más beneficios como indica (Kumar, y otros, 2021) “Sustituir el acero por bambú es beneficioso al tiempo que crea una estructura liviana. Los países en desarrollo y subdesarrollo donde los recursos y los fondos son menores pueden utilizar esta tecnología para construir nuevos edificios ligeros” (p. 1). De allí la importancia de realizar estudios con la especie más común en el sur de Colombia (*Guadua Angustifolia Kunth*). Se destaca la opción de combinar refuerzos en los elementos estructurales, es decir, utilizar bambú y acero en el mismo elemento, como es el caso de la presente investigación, caso tal del que no se encontró antecedentes en la búsqueda de bibliografía realizada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la resistencia a flexión en vigas de concreto con diferentes configuraciones de refuerzo en bambú (*Guadua Angustifolia Kunth*).

1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar diferentes configuraciones de vigas en concreto reforzado con bambú
- Elaborar el diseño de la mezcla de concreto según el informe ACI-211.
- Determinar la resistencia a flexión de las probetas en la máquina de prueba universal
- Realizar un análisis estadístico para corroborar la influencia de los factores y comparar los distintos tratamientos.
- Relacionar resistencia a la flexión y los costos de los materiales necesarios para la elaboración de las vigas.

1.4 Estructura del documento

El primer capítulo presenta la introducción, que da a conocer de manera preliminar el propósito de este estudio, referente al comportamiento del concreto reforzado con bambú, específicamente en su resistencia a flexión. Los antecedentes tienen la función de sustentar la elección los factores que se tuvieron en cuenta para este estudio en consecuencia de las consideraciones de otros autores. Se presentan los objetivos de la investigación.

El segundo capítulo expone el marco teórico, que describe brevemente las propiedades mecánicas del bambú, la especie *Guadua Angustifolia Kunth*, la morfología del bambú, esfuerzos en vigas – flexión, deflexión, propiedades mecánicas del concreto reforzado y se definen algunos métodos estadísticos utilizados en la investigación.

El tercer capítulo muestra la metodología de la investigación, que se divide en cinco fases, correspondientes a búsqueda sistemática de bibliografía, caracterización de los materiales y elaboración del diseño de mezcla, fabricación de las probetas de ensayo, Ensayo a flexión de las probetas y análisis estadístico de las variables de respuesta.

El cuarto capítulo expone el análisis de resultados, que contiene consideraciones mecánicas en la selección de las configuraciones, diseño de mezcla del concreto, diseño experimental multifactorial, variables de respuesta (Capacidad de carga ultima, desplazamiento máximo) con su estadística descriptiva y se presenta el análisis de varianza para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos del diseño experimental y se verifican los mejores tratamientos mediante el test HSD de Tukey.

El quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones dadas a partir de los resultados de la investigación, allí se dan las principales recomendaciones para la construcción de vigas de concreto reforzado con bambú, sus principales limitaciones, ventajas y desventajas, además de recomendaciones para futuras investigaciones.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Bambú

De acuerdo con (Hidalgo Lopez, 1974) “estructuralmente el bambú está constituido por un sistema de ejes vegetativos segmentados, que forman alternamente nudos y entrenudos, que varían en su morfología según que correspondan al rizoma, al tallo o a las ramas” (p. 27).

2.1.1 Propiedades mecánicas del bambú (Especia *Guadua Angustifolia Kunth*)

Las propiedades mecánicas de la *Guadua Angustifolia* varían dependiendo de la especie y zona geográfica. (Takeushi Tam & González, 2007) encontraron que la resistencia a la compresión promedio paralela a la fibra y su módulo de elasticidad de la *Guadua Angustifolia Kunth* fue de 56 MPa y 17859 MPa respectivamente, además, recomiendan utilizar un valor de esfuerzo admisible de 11 MPa para cargas gravitacionales y de 13 MPa cuando se incluye viento en el análisis. De igual forma (Ciro Velásquez, Osorio Saraz, & Vélez Restrepo, 2005) determinaron los valores últimos de los esfuerzos a tensión y cizalladura con valores promedio de 190,70 MPa y 5,57 MPa respectivamente, indicando que el material como elemento de ingeniería presenta alta resistencia en dirección paralela a la orientación de las fibras.

Los investigadores (Sapuyes, Osorio, Takeushi, Duarte, & Erazo, 2018) cuantificaron el módulo de elasticidad promedio en análisis a flexión y mínimo de la *Guadua Angustifolia Kunth* proveniente del municipio de Pitalito igual a 15483 MPa y 10526 MPa. (Duarte Toro, López Rodríguez, & Salcedo Rojas, 2021) realizaron un análisis de resistencia a compresión perpendicular a las fibras y determinaron el módulo de elasticidad circunferencial de la especie *Guadua Angustifolia Kunth* del municipio de Pitalito - Huila donde el resultado fue 2,16 MPa para el primer lote y 3.81 MPa para el segundo.

2.1.2 Morfología del bambú

Los bambúes son miembros de la familia de las gramíneas con hábito arbóreo, sistema de rizomas bien desarrollado, tallos leñosos y huecos, patrón de ramificación, hojas pecioladas y órganos de revestimiento especializados. A diferencia de los árboles, no hay tronco central o eje principal en el marco básico de una planta de bambú (Lal Banik, Liese, & Köhl, 2015). La morfología de la planta de bambú consiste en ramas, vainas, culmos, flores, hojas, rizomas y raíces (Titilayo Akinlabi, Anane-Fenin, & Akwada, 2017). El culmo es la parte más notable y visible de la planta de bambú que se desarrolla a partir de los brotes que emergen de las yemas (Titilayo Akinlabi, Anane-Fenin, & Akwada, 2017). Aparecen como un tallo cilíndrico alargado con articulaciones intermitentes conocidas como nudos y en la Figura 2-1 se muestra la morfología del bambú y su uso según el diámetro del culmo.

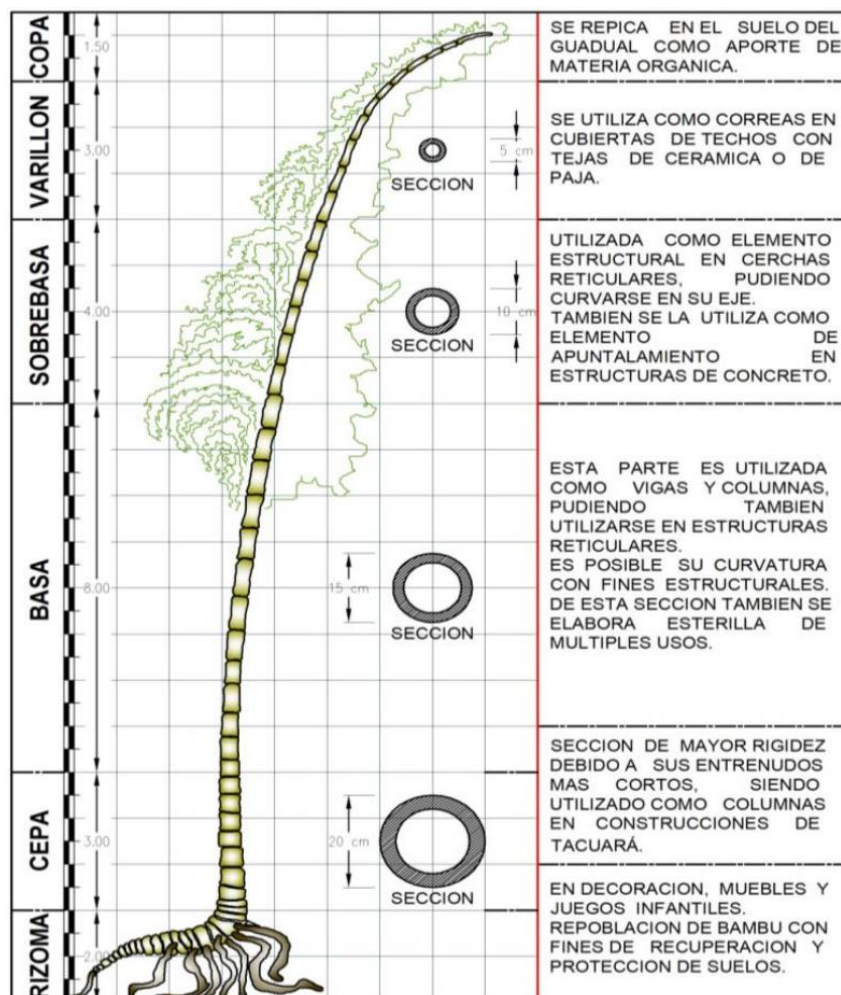


Figura 2-1: La tacuara (Bambú) como material de construcción es utilizada en diferentes aplicaciones a través del aprovechamiento de sus diámetros y longitudes. Tomado de Tecnología del bambú (p. 72), por (Gómez Castro & Acha Daza, 2010).

2.2 Esfuerzos en Vigas - Flexión

La flexión es un concepto muy importante, ya que se utiliza en el diseño de muchos componentes estructurales y de máquinas, tales como vigas y traveses (Beer, Johnston, Jr., DeWolf, & Mazurek, 2009). Todos los elementos de una estructura pueden estar sometidos a flexión en especial las vigas; para ello, se utilizan una serie de gráficas para poder analizar este comportamiento mecánico a partir de esfuerzos y deformaciones en cualquier sección del elemento.

2.2.1 Ley de Hooke

(Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015) En el análisis a flexión, encuentra dos principios fundamentales de la Elasticidad: Ley de Hooke y principio de superposición. El primero, comprende matemáticamente de la Ecuación 2.1.

$$P = K\delta \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde k es la constante de proporcionalidad entre la fuerza indicada P y el desplazamiento δ que esta produce (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015).

(Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015) Todo cuerpo sólido se deforma bajo la acción de fuerzas aplicadas, y al cesar éstas, el cuerpo tiende a recuperar su forma primitiva. Esta tendencia que, en mayor o menor grado, tienen todos los sólidos se denomina elasticidad. (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015) considera un experimento sencillo, se monta una viga bi apoyada como la de la Figura 2-2, y se mide el desplazamiento vertical δ de un cierto punto A producido por una fuerza P aplicada en otro punto B de dicha viga; la fuerza P se aumenta de forma gradual hasta un cierto valor y se dibuja la curva $P - \delta$ obtenida.

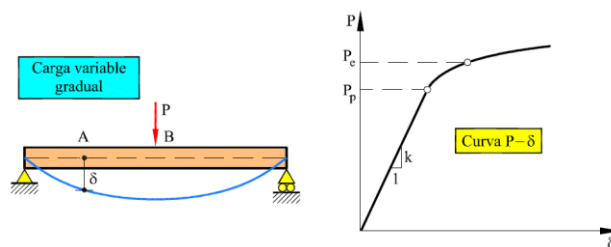


Figura 2-2: Viga experimental y curva carga-desplazamiento. Tomado de Resistencia de materiales (p. 38), por (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015).

(Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015) indican que si se cumple la ley de Hooke y el desplazamiento producido por las cargas se encuentra el principio de superposición estableciendo “que los efectos que un sistema de fuerzas aplicadas origina en un cuerpo son iguales a la suma de los efectos que originan esas mismas fuerzas actuando por separado” (p. 39) y así lo representa la Ecuación 2.2, Ecuación 2.3 y Ecuación 2.4.

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

$$P_1 = K_1 \delta_1 \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

$$P_2 = K_2 \delta_2 \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Si sobre un cuerpo actúa un sistema formado por dos fuerzas $P(1)$ y $P(2)$, el principio de Superposición establece que el desplazamiento vertical δ de un punto C puede ejecutarse como ilustra la Figura 2-3 (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015).

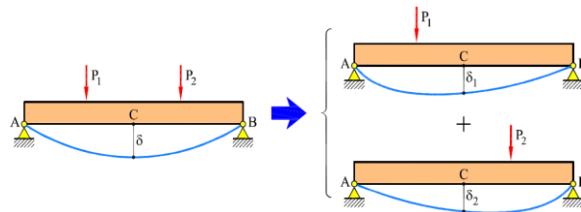


Figura 2-3: Principio de Superposición. Tomado de Resistencia de materiales (p. 39), por (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015).

2.2.2 Flexión - Principio de Navier-Bernoulli

Según (Ortiz Berrocal, 2007) cuando consideramos un prisma mecánico y lo sometemos a flexión pura observamos que varía la curvatura de su línea media acortándose unas fibras, mientras que otras se alargan. Las primeras estarán necesariamente sometidas a esfuerzos de compresión y las segundas a esfuerzos de tracción. Además, (Ortiz Berrocal, 2007) asegura que, si unas fibras se alargan y otras se acortan, por la continuidad de las deformaciones existirá una fibra neutra ilustrado en la Figura 2-4 que no experimente variación de longitud alguna.

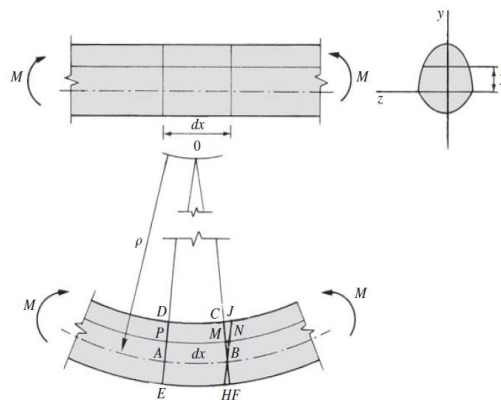


Figura 2-4: Fibra neutra y comportamiento a flexión de un elemento. Tomado de Resistencia de materiales (p. 259), por (Ortiz Berrocal, 2007).

Por consiguiente, (Ortiz Berrocal, 2007) indica que, para los casos de flexión simple, admitiremos el principio generalizado de Navier-Bernoulli: “Dos secciones planas

indefinidamente próximas experimentan un alabeo después de la deformación, pero cualquiera de ellas puede superponerse con la otra mediante una traslación y un giro” (p.266). Esto se puede apreciar mejor en la Figura 2-5.

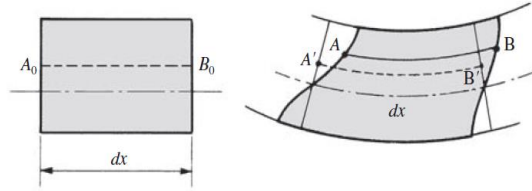


Figura 2-5: Principio generalizado de Navier-Bernoulli. Tomado de Resistencia de materiales (p. 266), por (Ortiz Berrocal, 2007).

2.3 Propiedades mecánicas del concreto reforzado

El concreto consiste en una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa por la pasta de concreto y agua, su combinación con el acero genera un concreto reforzado capaz de resistir tensiones por el acero y compresiones por el concreto (Brown & McCormac, 2011). La resistencia a la compresión del concreto se determina por medio de pruebas a la falla de cilindros de concreto de 28 días a una velocidad específica de carga. La mayoría de los concretos usados en la práctica tienen una resistencia de entre 3000 y 7000 lb/plg². Para aplicaciones más comunes se usan concretos de 3000 y 4000 lb/plg² (Brown & McCormac, 2011).

Debido a la baja resistencia a tensión del concreto, generalmente se desprecia dicha resistencia en los cálculos de los miembros en concreto reforzado (Park & Paulay, 1988). Estas propiedades dependen en gran medida de las proporciones de la mezcla, del cuidado con el cual se mezclan los diferentes materiales constitutivos, y de las condiciones de humedad y temperatura bajo las cuales se mantenga la mezcla en el momento en que se coloca en la formaleta hasta que se encuentra totalmente endurecida (Nilson & Darwin, 1999).

El concreto y el acero de refuerzo funcionan en conjunto de forma óptima en las estructuras de concreto reforzado. Las ventajas de cada material compensan las desventajas del otro. Por ejemplo, la gran desventaja del concreto es su falta de resistencia a la tensión; pero la resistencia a la tensión es una de las grandes ventajas del acero (Brown & McCormac, 2011). La resistencia útil tanto a tensión como a compresión de los aceros comunes, es decir, la resistencia a la fluencia es aproximadamente quince veces la resistencia a la compresión del concreto estructural común y más de 100 veces su resistencia a la tensión (Nilson & Darwin, 1999).

2.4 Ensayos a los materiales.

El título C de la NSR-10 (AIS, 2010) indica que en toda obra es importante garantizar que los materiales propuestos por el ingeniero diseñador sean empleados, ya que de esto depende en gran medida el comportamiento final que tendrá la estructura. Por esto, el numeral C.3.1 de la NSR-10 establece en primer lugar, que los materiales deben someterse a ensayos en muestras representativas de los materiales que se empleen en la construcción, así como la ley 400 de 1997 indica en qué circunstancias se debe realizar supervisión técnica y que dicha supervisión debe realizarse siguiendo los parámetros de la misma ley 400 de 1997, del título I de la NSR-10 y del numeral A.1.3.9 de la misma norma.

2.5 Cemento.

En general, el cemento es un material aglomerante que tiene la capacidad de unir fragmentos minerales entre sí, para formar una mezcla resistente y durable (Sanchez, 2001). El cemento Pórtland es un material que se produce mediante la pulverización del clinker, con la adición de sulfato de calcio.

2.6 Agregados pétreos

Los agregados son fragmentos de minerales o rocas que poseen las propiedades físicas y mecánicas idóneas para ser empleadas en la elaboración de una mezcla de concreto, según el título C de la NSR 10 (AIS, 2010) las Normas que deben cumplir los agregados para el concreto reforzado, corresponden a NTC 174 (ICONTEC, 2018) para agregado de peso normal y NTC 4045 (ICONTEC, 2019) para agregado de peso liviano.

2.7 Agua

En general, la NSR-10, en el título C (AIS, 2010) plantea que el agua que se utiliza para la elaboración de mezcla de concreto debe cumplir con la norma NTC 3459 (ICONTEC, 2001) o de la norma ASTM C1602M en el caso en que la primera sea menos exigente que la segunda. Siempre que el agua sea potable, no tenga olor o coloración indebida, podrá utilizarse en la elaboración de mezcla ya que un agua con impurezas excesivas como las sales genera graves problemas en el concreto.

2.8 Almacenamiento de materiales

En lo relacionado con este tema, el título C de la NSR-10 (AIS, 2010) estipula que el material cementante y agregados deben almacenarse de tal manera que se impida tanto su

deterioro como presencia de materia extraña. Cualquier material que se haya deteriorado o contaminado no debe utilizarse en el concreto.

2.9 Análisis de varianza (ANOVA).

El análisis de varianza (ANOVA) se emplea para comparar las medias poblacionales de un experimento, en su definición más general, las pruebas de hipótesis se deben plantear para dos posibles escenarios, una hipótesis nula que indica que todas las medias poblacionales son iguales, y una hipótesis alterna que indica que alguna de las medias poblacionales difiere, como indica (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2008) “la idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que se contribuye cada fuente de variación en el experimento” (p. 65).

Cuando existe más de un factor o variable independiente en el experimento, el procedimiento a realizar se denomina ANOVA Multifactorial, que emplea un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores de una variable dependiente.

2.10 Test HSD de Tukey.

El test HSD, (Diferencia Honestamente Significativa) de Tukey, desarrollado por John Tukey, es una prueba de rangos múltiples que permite hacer comparaciones múltiples entre las medias de los tratamientos de un experimento aleatorio y para este fin crea intervalos de confianza sobre las diferencias entre las medias de los tratamientos. Después de comprobar que existe diferencia entre las medias de los tratamientos en el ANOVA, conviene aplicar el test HSD de Tukey, cuando haya dudas sobre cuál es el tratamiento ganador (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2008)

Capítulo 3

3. Metodología

En la **Figura 3-1** se muestran las fases con las que se lograron los objetivos del proyecto:

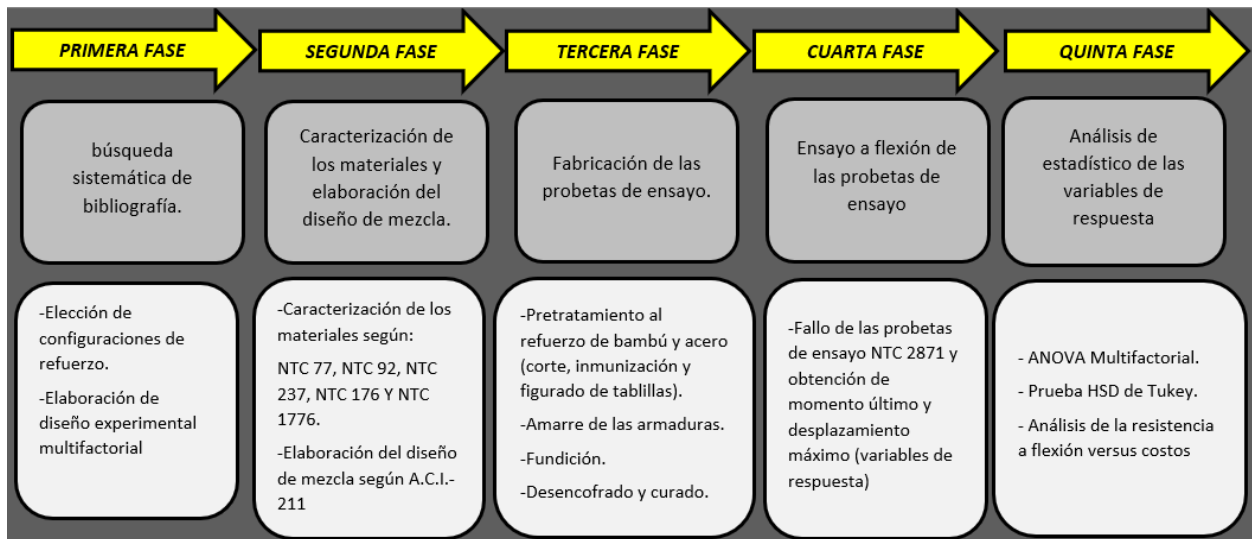


Figura 3-1: Fases de la metodología.

3.1 Primera fase.

Se realizó una búsqueda sistemática de bibliografía centrada en el uso del bambú en el sector de la construcción, principalmente investigaciones orientadas al uso del bambú como refuerzo en elementos estructurales, precisamente en vigas de concreto reforzado con bambú (tesis de grado, artículos de investigación y normativas). El resultado de la búsqueda arrojó las principales consideraciones a tener en cuenta cuando se va a construir una viga de concreto reforzado con bambú simplemente apoyada.

Como resultado de esta búsqueda de bibliografía se elaboró un diseño experimental multifactorial que cuenta con tres factores, un factor con tres niveles y los dos restantes con dos niveles.

3.2 Segunda fase.

Consiste en la caracterización de los materiales y elaboración del diseño de mezcla según el informe ACI-211.

3.2.1 Procedencia de los materiales.

Los materiales empleados para la elaboración de la mezcla y refuerzos de las probetas fueron comprados en el comercio local de la ciudad de Neiva-Huila.

3.2.2 Agregado fino y grueso.

Se compró en la empresa Arenas del Huila, arena gruesa y grava de $\frac{1}{2}$ plg - $\frac{3}{4}$ plg de tamaño máximo, en presentación de sacos de 15 kg y 20 kg, respectivamente. Como se trata de material triturado y seleccionado, se facilitó alcanzar la resistencia a la compresión del concreto deseada para la investigación.

Para conseguir la homogeneidad de los materiales, los agregados fueron desempacados y se mezcló el contenido de todos los sacos por cada tipo de agregado generando una pila mediana tal como se ilustra en la Figura 3-2. Por último, los materiales fueron reembolsados y almacenados.



Figura 3-2: Apilamiento de bolsas, vaciado y mezclado de (a) agregado fino (arena) y (b) agregado grueso (grava).

3.2.3 Cemento.

El cemento utilizado para la fabricación de las probetas de ensayo fue cemento hidráulico Uso general de CEMEX. El uso de un producto como este, que lleva muchos años en el mercado genera confianza para la realización de ensayos a concretos, teniendo beneficios como su excelente manejabilidad por su alta retención de agua y estabilidad en sus propiedades de resistencia y fraguado. En la Figura 3-3, se presenta la ficha técnica del producto.

Ficha Técnica **Cemento Hidráulico Uso General**

Resistencia a compresión (MPa)	Método de ensayo	Rango de resultados	Requisitos de norma	Otros parámetros físicos	Método de ensayo	Rango de resultados	Requisitos norma
1 día	NTC 220	8.0 – 13.0	No especificado	Cambio de longitud por autoclave (%)	NTC 107	0.01 - 0.15	Máximo 0.80
3 días	NTC 220	14.0 – 21.0	Mínimo 8.0	Tiempo de fraguado inicial (min)	NTC 118	100 - 150	Mínimo 45, Máximo 420
7 días	NTC 220	18.0 – 24.0	Mínimo 15.0	Contenido de aire en volumen de mortero (%)	NTC 224	4 - 8	Máximo 12
28 días	NTC 220	24.0 – 28.0	Mínimo 24.0	Expansión de barra de mortero 14 días (%)	NTC 4927	0.000 - 0.016	Máximo 0.020

Figura 3-3: Ficha técnica cemento tipo uso general. Tomado de Cemento tipo uso general (p. 2), por CEMEX (2022).

3.2.4 Acero.

Las barras corrugadas de acero utilizadas en la investigación cumplen con la normatividad NTC 2289 (ICONTEC, 2020), teniendo una resistencia a la fluencia mínima de 420 MPa. En la Figura 3-4 se presenta la ficha técnica de las barras de acero.

Propiedades Mecánicas				Elemento		NTC 2289		
Resistencia a la Fluencia (RF)		Resistencia a la Tracción (RT)		Relación RT/RF		Alargamiento Mínimo (en 200mm)		
Min.	Máx.	Min.		d56	7sd511	Composición de colada	Composición para verificación de producto	
420 MPa	540 MPa	550 MPa				Carbono	0.30	0.33
42 kg-f/mm ²	55 kg-f/mm ²	56 kg-f/mm ²	≥1.25	14%	12%	Manganeso	1.50	1.56
						Fósforo	0.035	0.043
						Azufre	0.045	0.053
						Silicio	0.50	0.55

Figura 3-4: Ficha técnica de producto Barras y Rollos corrugados. Tomado de Ficha Técnica de Producto Barras y Rollos Corrugados GG Diaco (p. 1), por (Gerdau Diaco, 2019).

3.2.5 Bambú.

El bambú utilizado en la investigación corresponde a la especie *Guadua angustifolia*, fue comprado en el comercio local de la ciudad de Neiva-Huila y su origen también corresponde al departamento del Huila.

3.2.6 Diseño de mezcla.

El objetivo principal de realizar el diseño de mezcla fue estandarizar las probetas de ensayo, de tal forma que todas las probetas estuvieran hechas de un concreto con aproximadamente la misma resistencia a la compresión y la diferencia de resistencia la flexión

estuviera afectada únicamente por los refuerzos de bambú o acero. El diseño de mezcla cobra aún más validez teniendo en cuenta que no se fundieron todas las probetas el mismo día, atendiendo a las limitaciones que presentaba factores como la disponibilidad de formaletas.

Existen varios métodos para diseñar y encontrar las proporciones apropiadas de los ingredientes del concreto, para obtener una resistencia y manejabilidad deseada, no obstante, según (Sanchez, 2001) el método más utilizado en países de todo el continente americano, incluyendo Colombia, es la práctica recomendable para dosificar concreto normal y concreto pesado A.C.I.-211.

3.2.7 Toma de muestras de agregados

La toma de muestra de lo agregados se realizó conforme a la NTC 129 (ICONTEC, 2019). El tamaño mínimo de muestra para agregado fino y agregado grueso es de 10kg y 15 kg. La toma y cuarteo de muestras se realizó conforme a la NTC 3674 (ICONTEC, 2022), como se muestra en la Figura 3-5.



Figura 3-5: Cuarteo de agregados finos y gruesos.

3.2.8 Granulometría de los agregados.

El diseño de mezcla requiere conocer el tamaño máximo del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino, para esto se requiere aplicar la norma NTC 77 (ICONTEC, 2018) con el fin de determinar la granulometría. Se considera que los tamices cumplan la norma NTC 32 (ICONTEC, 2018).

3.2.9 Determinación de la masa unitaria.

Este método de ensayo se encuentra definido en la NTC 92 (ICONTEC, 2019) y tiene como fin cuantificar la densidad de los agregados en condición compactada o suelta que no presenten un tamaño máximo nominal mayor a 150 milímetros. En la Figura 3-6 se muestra el procedimiento de laboratorio realizado.



Figura 3-6: Procedimiento de determinación de masa la masa unitaria.

3.2.1 Densidad y absorción de los agregados.

Este procedimiento de ensayo está definido en la NTC 237 (ICONTEC, 2020) y NTC 176 (ICONTEC, 2019) para el agregado fino y agregado grueso, respectivamente.

En el caso del agregado fino, la NTC 237, equivalente a ASTM C 128-93, tiene como objeto la cuantificación de la densidad aparente ($D_{s\text{ aparente}}$), Densidad aparente Saturada y seca (D_{SSS}) y nominal ($D_{s\text{ nominal}}$) a una temperatura de $23^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ y la absorción del agregado fino. La NTC 176 tiene como objeto determinar la densidad aparente (D_{aparente}), Densidad aparente Saturada y seca (D_{SSS}), densidad nominal (D) y la absorción del agregado grueso. La Figura 3-7 presenta algunas fotos de los ensayos realizados para esta investigación.

3.2.2 Contenido de humedad de los agregados.

La cuantificación de humedad de los agregados tiene el propósito de ajustar los pesos de los ingredientes para una batchada de concreto tal como indica la Norma Técnica Colombiana 1776 (ICONTEC, 2019). Según Kosmatka y otros investigadores del PCA (2004) la humedad superficial se debe determinar de acuerdo con la NTC 1776 para un control del agua total en el concreto y determinar las masas correctas de los materiales, pues así la relación agua-cemento no variará de una amasada a otra conservando la resistencia a la compresión de diseño y la trabajabilidad.

3.3 Tercera fase.

Corresponde a la etapa de fabricación de las probetas de ensayo (Vigas).

3.3.1 Pretratamiento al refuerzo de bambú y corte de acero.

Esta fase comenzó con el corte de los culmos de bambú de un tamaño de un metro, como se muestra en la Figura 3-7 para una mejor manipulación y facilitar el siguiente paso del procedimiento, correspondiente a la inmunización y figurado.



Figura 3-7: Corte de culmos de bambú.

Posteriormente, partiendo de que el bambú es un material orgánico y, por ende, que está expuesto al ataque biológico, se inmunizaron todos los culmos de bambú con los que se fabricaron los refuerzos. Para este fin, se perforaron los culmos con una broca de 1/4 plg de diámetro en la zona cercana al nudo, de forma alternada, como se muestra en la Figura 3-8.

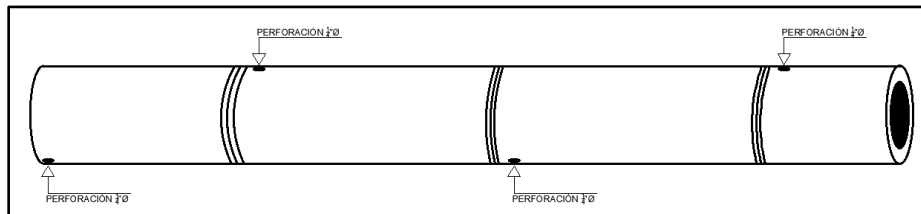


Figura 3-8: Perforaciones para inmunización del bambú.

Posteriormente, con la ayuda de una jeringa, se inyectó el insecticida organofosforado de amplio espectro Lorsban (Clorpirifos) mezclado con ACPM en una proporción 1:2, respectivamente, como se aprecia en la Figura 3-9.



Figura 3-9: Inyección de Lorsban a los culmos de bambú.

Por último, con la ayuda de una pulidora, se realizó el corte de las tablillas de las dimensiones finales, con su respectivo acanalado, según el tratamiento, como se muestra en la Figura 3-10.



Figura 3-10: Realización de patrón de acanalado a los refuerzos de bambú.

3.3.2 Amarre de las armaduras.

En esta etapa se realizó el amarre de los estribos y los refuerzos longitudinales, con alambre negro calibre 18, mediante el apoyo de los refuerzos longitudinales en dos puntos, para facilitar el amarre como se muestra en la Figura 3-11 y Figura 3-12. En todas las probetas, los estribos se colocaron a la misma distancia, según lo indicado en la fase del diseño experimental. En las muestras únicamente varía el tipo de refuerzo longitudinal, los refuerzos transversales son flejes en acero espaciados cada 10 cms según las recomendaciones mínimas del título E (Casas de uno y dos pisos) del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, específicamente en la sección E.4.4. Sin embargo, la finalidad del refuerzo transversal es evitar que se presente la falla por cortante antes que la falla por flexión, por lo tanto, se verifica que el refuerzo transversal resista la fuerza cortante máxima que se pueda registrar en los ensayos mediante muestras de ensayo preliminar elaboradas con acero convencional.

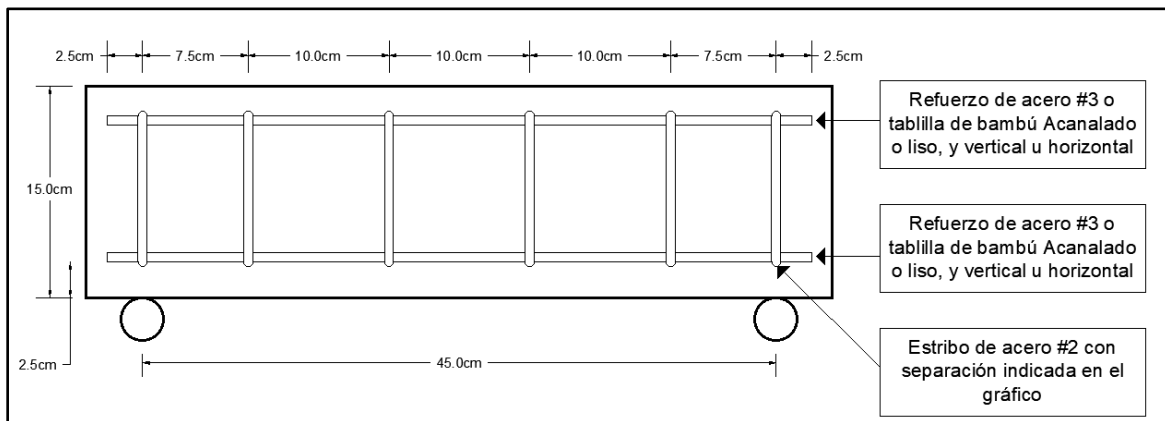


Figura 3-11: Diagrama general de las probetas de ensayo.



Figura 3-12: Amarre de refuerzos longitudinales y transversales; en la imagen derecha se aprecia el armazón en acero convencional, acero a compresión y bambú a tensión (BT) y bambú a tensión y compresión (BTC) respectivamente.

Este proceso se repitió para cada uno de los tratamientos, con tres muestras por tratamiento, para culminar con la fabricación de todas las armaduras de refuerzo.

3.3.3 Fundición.

Esta etapa consiste en la fabricación final de las probetas de ensayo, que comienza con la elaboración de la mezcla de concreto con la dosificación según el diseño de mezcla.

Para todos los tratamientos se aplicó Sikadur 32 Gel con el fin de aumentar la fuerza de adherencia entre bambú-concreto, esta recomendación lo establece (Ghavami, 2005).

Mientras se realizaba el mezclado, también se preparaba la resina epóxica sikadur – 32, la preparación consiste en el mezclado de los dos componentes del adhesivo (A y B) en proporción de peso o volumen A: B=2:1 hasta lograr la homogeneidad de la mezcla, para posteriormente impregnar toda la superficie de los refuerzos de bambú con dicha resina, como se muestra en la Figura 3-13.

Se llevaron a cabo diez fundiciones, cada una con su respectiva corrección por humedad con el objeto de garantizar la misma relación agua/cemento y así poder obtener valores de resistencia a la compresión ($F'c$) del concreto cercanos, adicionalmente, se realizaron cilindros testigos para cada fundición. Para asegurar la calidad de la mezcla de concreto y su asentamiento, en cada mezcla se realizó el ensayo de asentamiento según NTC 396 (ICONTEC, 2021), así como la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio según NTC 1377 (ICONTEC, 2021) para llevar a cabo el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto según NTC 673 (ICONTEC, 2021).



Figura 3-13: Aplicación de resina epóxica Sikadur – 32.

Cuando se culminó el mezclado del concreto, y se aplicó la resina epóxica a las tablillas de bambú, se procedió a realizar el vaciado de las probetas, como se muestra en la Figura 3-14. La compactación del concreto fue realizada conforme a ASTM C-31 (dos capas compactadas con 54 golpes de varilla de 5/8 de plg).



Figura 3-14: Proceso de Compactación de las probetas.

La Figura 3-15 muestra las formaletas utilizadas para la fabricación de las probetas, cuando ya se realizó la función y cuando aún no se había llevado a cabo dicho proceso.



Figura 3-15: Culminación de proceso de fundición.

3.3.4 Desencofrado y curado.

El desencofrado se realizó el día siguiente al día de la fundición, Así mismo, se desencofraron los cilindros para realizar el ensayo de resistencia a la compresión

Por último, se llevó a cabo el curado de las probetas por inmersión en tanques, durante 28 días para todas las muestras, como se observa en la Figura 3-16.



Figura 3-16: Tanque utilizado para el proceso de curado.

3.4 Cuarta fase.

Se realizaron los fallos de las vigas a los 28 días de curado en la máquina universal de ensayos (AGS-X) con capacidad de carga máxima de 100 kN y el respectivo montaje de ensayo a flexión a cuatro puntos como lo estipula la NTC 2871 “método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)” para realizar la toma de datos de la variable resultante (Momento último y el desplazamiento del pistón). Los ensayos se realizaron con una velocidad de carga de 0.98 N/mm²/min, acorde a lo estipulado en la NTC 2871. El montaje de ensayo se muestra en la Figura 3-17.



Figura 3-17: Montaje en la máquina universal de ensayos.

La norma la NTC 2871 (ICONTEC, 2018) (ASTM C78) indica el procedimiento para realizar el ensayo a flexión donde se usará una viga simple con doble carga en una distancia específica a los extremos encontrando la resistencia a la flexión del concreto. Para medir la resistencia, es necesario tener una máquina de ensayo sujeta a la ASTM E-4. En la Figura 3-18 se muestra el montaje típico de un ensayo a flexión en vigas.

Aunque el montaje establecido en la NTC 2871, utilizado en este trabajo de investigación específica que su aplicación se limita a vigas simples y no a vigas reforzadas, se optó por realizar todos los ensayos con este montaje a causa de la limitación en cuanto a disponibilidad de formaletas y a las dimensiones de la máquina universal de ensayos, además al disponer este montaje de ensayo se garantiza flexión pura en el tercio medio de las probetas de ensayo, lo que

cumple con el fin de la investigación, que es estimar la resistencia a la flexión de las vigas de concreto reforzado con bambú.

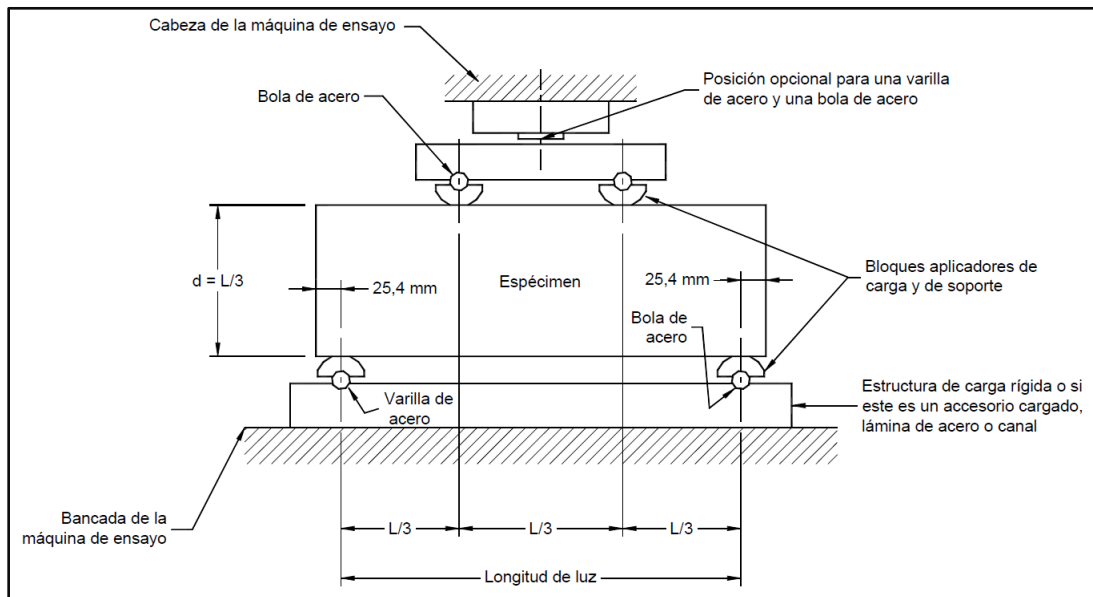


Figura 3-18: Vista esquemática del aparato apropiado para la determinación de la resistencia del concreto a la flexión. Tomado de la Norma Técnica Colombiana 2871 (p. 3), por (ICONTEC, 2018).

3.5 Quinta fase.

Con los datos experimentales obtenidos en los ensayos a flexión, se realizó el tratamiento estadístico para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos propuestos. Se utilizó RStudio para realizar los cálculos y análisis presentados a continuación. Para comparar los niveles de cada uno de los tres factores, se graficaron diagramas de caja para cada uno de los factores, puesto que si las cajas de los niveles se traslapan, en principio no habrá diferencia significativa entre dichos niveles, para este fin se utilizó el comando *ggboxplot()* del paquete *ggpubr*. Para realizar el análisis de varianza multifactorial (ANOVA), se calculó la tabla de análisis de varianza. Una vez se comprobó que existían diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos se optó por realizar prueba de rango *post hoc* para llevar a cabo comparaciones múltiples de los tratamientos, es decir, para identificar subgrupos homogéneos de medias que no difieren entre sí. Para llevar a cabo este análisis se utilizó el test HSD de Tukey, mediante el comando *HSD.test()* del paquete *agricolae*. El nivel de significancia establecido para la prueba de Tukey fue de $\alpha=0.05$. Se realizó la prueba para cada tratamiento por separado y pruebas por pares sobre los 12 posibles tratamientos del experimento.

Para verificar la validez del modelo analizado, se revisaron los residuales, que deben cumplir los supuestos estadísticos de normalidad, varianza constante e independencia. La

normalidad de los residuos se analizó con la prueba de Shapiro - Wilks. El supuesto de varianza constante se analizó mediante la prueba Breusch-Pagan (también conocida como prueba de puntuación de Cook-Weisberg), esta prueba se llevó a cabo con el comando *nvctest()* del paquete *car*. Por último, el supuesto de independencia de los residuos se estudió mediante la aplicación de la prueba de Durbin-Watson, que calcula la autocorrelación de los residuales, mediante el comando *dwt()* del paquete *car*. Para culminar con el análisis de los residuos se aplicó la prueba *t* de Student, para verificar el supuesto de media cero que indica que para cualquier valor del error no observable es siempre la mismo e igual a cero. Se utilizó el comando *t.test()*, del paquete *stats*.

Como no se logró medir a la deflexión máxima correspondiente a cada dato de momento último, se analizaron las deformaciones teniendo en cuenta el desplazamiento del pistón de la máquina universal correspondiente al dato de momento último registrado, ya que este valor da un estimado de la capacidad del concreto reforzado con bambú de disipar energía, experimentando mayores o menores deformaciones. Para este análisis se aplicaron los mismos métodos del análisis estadístico del momento último, con la diferencia de que se tuvo que aplicar transformación logarítmica de datos, debido a que el modelo ANOVA realizado con los datos de desplazamiento no cumplió la verificación de los supuestos estadísticos.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

4.1 Configuraciones.

El problema más grande del concreto reforzado con bambú yace en los cambios volumétricos del refuerzo cuando el mismo absorbe el agua de la mezcla de concreto en estado fresco, en esta fase el refuerzo se expande para posteriormente experimentar una disminución de su volumen debido a que las partículas de cemento reaccionan con el agua contenida en las tablillas de bambú (Ghavami, 2005), como se muestra en la Figura 4-1, perdiendo totalmente la adherencia bambú-concreto y disminuyendo el área de sección transversal de los elementos estructurales.

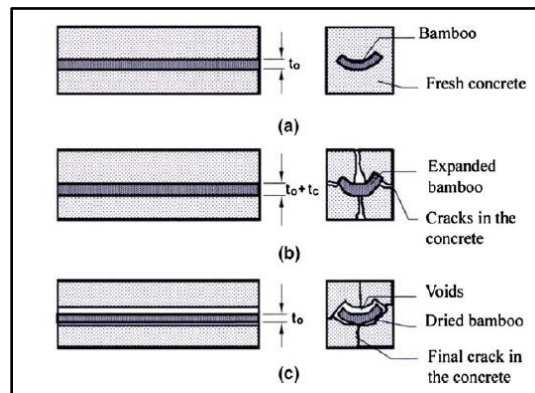


Figura 4-1: (a) bambú en hormigón fresco, (b) bambú durante el curado del hormigón y (c) bambú después del curado del hormigón. Tomado de Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, por (Ghavami, 2005).

La variación de la fuerza de adherencia es un factor del diseño experimental de la presente investigación, por lo que se evaluará la influencia de la implementación de tablillas acanaladas y lisas, recubiertas con Sikadur-32, ya que (Mali & Datta, 2020) demostraron que el aumento sustancial de la capacidad de carga última debe estar relacionado con la mejora de la fuerza de adherencia que imprime el tratamiento de las tablillas. El acanalado es uno de los tratamientos físicos a los que se pueden someter las tablillas de bambú para mejorar su adherencia con el

concreto, como se muestra en la Figura 4-2, adicionalmente, se procuró emplear tablillas con aproximadamente el mismo espesor, correspondiente a un centímetro. Aunque es complejo mantener las mismas dimensiones de tablillas para todas las probetas, también fundamental hacerlo debido a que de esta forma se mantiene la cuantía de refuerzo longitudinal de bambú recomendada.

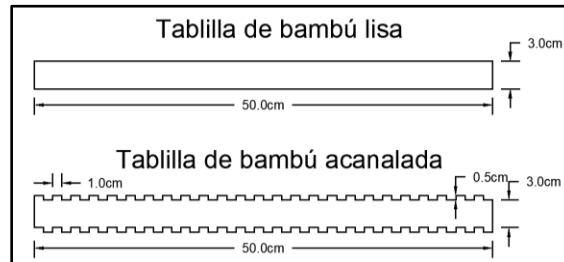


Figura 4-2: Rugosidad del refuerzo de bambú.

Como ya se había enunciado, no se encontró información acerca de la implementación de refuerzo longitudinal de acero y bambú en la misma viga y como plantean experimental (Quintero-Dávila, Neves Monteiro, & A Colorado, 2018) “Las fibras naturales están surgiendo como biomateriales de bajo costo. Son ligeros y ofrecen soluciones ecológicas en los materiales compuestos” (p. 1), es decir, la implementación parcial del bambú podría aligerar los elementos estructurales, sin llegar a afectar drásticamente la capacidad de carga última. Se escogió como otro factor del diseño la disposición del refuerzo longitudinal de acero y bambú en las zonas a tensión y compresión de la viga, respectivamente y viceversa, así como refuerzo de bambú en las zonas a tensión y compresión de la viga como se ilustra en la Figura 4-3.

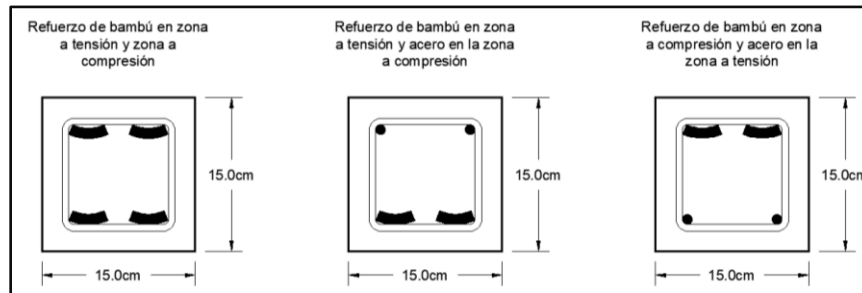


Figura 4-3: Configuraciones de refuerzo.

Por último, tampoco se encontró información acerca de la variación de la capacidad de carga última de la posición relativa de los refuerzos de bambú (vertical u horizontal). Ya que las tablillas son una sección perimetral de un teórico círculo, correspondiente a la sección transversal del culmo de bambú, como se muestra en la Figura 4-4 por ende, dicha posición relativa también fue tomada en cuenta como un factor del diseño experimental.

Teniendo en cuenta las dimensiones de las probetas y el tamaño de los refuerzos, las probetas con refuerzo longitudinal de tablillas de bambú a momento positivo tuvieron una cuantía de

refuerzo de 3.2% acatando las recomendaciones de la tabla 4-1 y las probetas con refuerzo longitudinal de acero a momento positivo tuvieron una cuantía de refuerzo de 0.65%.

Cuantía recomendada en diferentes investigaciones	
Autor	Cuantía (%)
Brink & Rush (1966)	3 - 4
Ghavami (1995)	3
Khare (2005)	< 4
Schneider (2014)	3 – 3.9
Adom-Asamoah, Osei, Obeng, & Boasiako (2017)	2.6 – 3.1
Mali & Datta (2020)	2.8 – 3.8
Cuantía utilizada – Hernández & Ramos (2023)	3.2

Tabla 4-1: Cuantía recomendada por diferentes autores con la empleada en esta investigación para los ensayos.

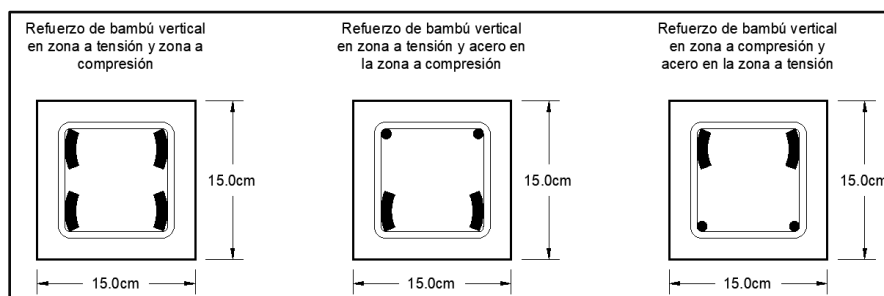


Figura 4-4: Posición de los refuerzos de bambú.

En ese orden de ideas, el diseño experimental multifactorial de la presente investigación tendrá tres factores y siete niveles como se presenta en la Tabla 4-2, dicha tabla contiene entre paréntesis, las abreviaturas para cada uno de los niveles del diseño experimental y de ahora en adelante, se nombrarán los tratamientos con dichas abreviaturas para el análisis estadístico.

Factor	Nivel	Variable de respuesta
Configuración	Acero en zona a tensión y bambú en zona a compresión (BC)	Capacidad de carga última y desplazamiento máximo.
	Acero en zona a compresión y bambú en zona a tensión (BT)	
	Bambú en zona a compresión y tensión (BTC)	
Rugosidad	Liso (L)	
	Acanalado (A)	
Posición	Vertical (V)	
	Horizontal (H)	

Tabla 4-2: Diseño experimental multifactorial.

4.2 Diseño de mezcla.

El diseño de mezcla se realizó conforme al comité ACI-211 (American Concrete Institute, 2002) el cual requiere la siguiente información para realizar el procedimiento de dosificación:

- Análisis de tamiz de agregados finos y gruesos.
- Peso unitario del agregado grueso.
- Pesos específicos a granel y absorciones de agregados.
- Requerimientos de agua de amasado del concreto desarrollados a partir de la experiencia con agregados disponibles.
- Relaciones entre resistencia y relación agua-cemento o relación.
- Peso específico del cemento Portland.
- Combinación óptima de agregados gruesos para cumplir con los grados máximos de densidad del concreto en masa.

4.2.1 Caracterización de los materiales.

Los resultados de la caracterización de materiales son presentados en la Tabla 4-3, los cálculos, gráficas y procedimientos de este apartado se encuentran en el Anexo B.

Agregado grueso (Grava)			Agregado Fino (Arena)		
Parámetro		Norma	Parámetro		Norma
Tamaño Máximo Nominal	½" (12.5 mm)	NTC 77	Tamaño Máximo Nominal	No.8 (2.5 mm)	NTC 77
Tamaño máximo	¾" (19.05mm)	NTC 77	Masa Unitaria Suelta	1582.329 Kg/m ³	NTC 77
Masa Unitaria Suelta	1402.923 Kg/m ³	NTC 92	Módulo de Finura	3.08	NTC 77
Masa Unitaria Compactada.	1537.237 Kg/m ³	NTC 92	Masa Unitaria Compactada.	1676.432 Kg/m ³	NTC 92
Densidad Ap. Seca	2644.38 Kg/m ³	NTC 176	Densidad Ap. Seca	2576.41 Kg/m ³	NTC 237
Absorción	1.36%	NTC 176	Absorción	1.72%	NTC 237
Humedad Natural	0.55 % (1F)	NTC 1776	Humedad Natural	2.27 % (1F)	NTC 1776

Tabla 4-3: Caracterización de los materiales.

4.2.2 Elaboración del diseño de mezcla

la Figura 4-5 presenta el procedimiento del diseño de mezcla recomendado por el ingeniero Sánchez de Guzmán (2001) basado en la "Practica recomendable para dosificar concreto normal y concreto pesado A.C.I. – 211" con algunas recomendaciones de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

La Figura 4-5 presenta el esquema del procedimiento de diseño de mezcla realizado en la presente investigación.

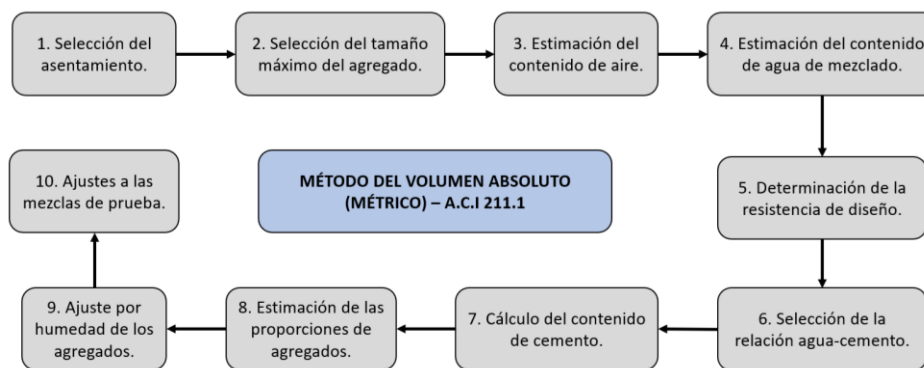


Figura 4-5: Procedimiento del diseño de mezcla propuesto por Sánchez de Guzmán (2001) que obedece las especificaciones del método del volumen absoluto recomendado por la A.C.I 211.1 (American Concrete Institute, 2002).

En el Anexo A se encuentra todo el procedimiento del diseño de mezcla. A continuación, en la Tabla 4-4 se presentan las proporciones del diseño de mezcla elaborado.

Cantidades finales de materiales por m ³ de concreto								
Fundición	Peso húmedo (Kg)				Proporción			
	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	460	894.782	744.579	208.206	1	1.95	1.62	0.45
2	460	890.393	744.103	213.070	1	1.94	1.62	0.46
3	460	900.660	744.772	202.134	1	1.96	1.62	0.44
4	460	913.692	746.653	187.221	1	1.99	1.62	0.41
5	460	898.606	744.628	204.333	1	1.95	1.62	0.44
6	460	901.688	745.348	200.530	1	1.96	1.62	0.44
7	460	903.161	745.733	198.672	1	1.96	1.62	0.43
8	460	890.720	743.820	213.027	1	1.94	1.62	0.46
9	460	893.887	744.010	209.670	1	1.94	1.62	0.46
10	460	895.126	744.177	208.263	1	1.95	1.62	0.45

Tabla 4-4: Cantidad de material y proporciones del concreto por fundición.

4.3 Análisis estadístico para momento último.

4.3.1 Estadística descriptiva.

En la Tabla 4-5 se presentan todos los resultados de los ensayos a flexión de las probetas. En total se realizaron 42 ensayos de los cuales 36 hacen parte del diseño experimental multifactorial y 6 que corresponden a 3 probetas de concreto reforzado con acero en las zonas a tensión y compresión, y 3 probetas de concreto simple que serán utilizadas como probetas testigo y de las cuales se pueden sacar algunas conclusiones respecto del aporte a la resistencia a la flexión que proporcionan los refuerzos de bambú.

Número	Configuración	Rugosidad	Posición	Momento último (N-m)	Desplazamiento (mm)
1	BTC	L	H	3893.9475	10.3888
2	BTC	L	H	3186.2325	4.62334
3	BTC	L	H	3584.325	13.6197
4	BTC	L	V	3401.01	3.91145
5	BTC	L	V	2993.07	3.11486
6	BTC	L	V	4342.74	4.50486
7	BTC	A	H	2225.34	2.07446
8	BTC	A	H	1613.3925	4.11159
9	BTC	A	H	2094.9075	1.85699
10	BTC	A	V	2085.855	3.95197
11	BTC	A	V	1778.5725	1.61311
12	BTC	A	V	3696.855	2.93338
13	BC	L	H	7350.03	7.29649
14	BC	L	H	7500.3	4.67514
15	BC	L	H	7500.375	4.86919
16	BC	L	V	7500.3	3.41325
17	BC	L	V	7500.3	3.18608
18	BC	L	V	7500.3	3.46239
19	BC	A	H	5797.7925	5.94953
20	BC	A	H	6646.1775	5.14562
21	BC	A	H	6819.9825	4.99153
22	BC	A	V	6436.9275	4.99054
23	BC	A	V	5941.8	4.21981
24	BC	A	V	5970.3975	4.63128
25	BT	L	H	5097.9825	5.47769
26	BT	L	H	4427.9175	6.77983
27	BT	L	H	4130.6775	3.09687
28	BT	L	V	4726.845	8.87609
29	BT	L	V	4726.8075	6.30395
30	BT	L	V	7134.3375	9.29019
31	BT	A	H	3598.515	5.44882
32	BT	A	H	2952.945	8.07681
33	BT	A	H	3374.5725	6.70878
34	BT	A	V	4055.2125	5.01925
35	BT	A	V	3025.0425	8.69564
36	BT	A	V	4776.0075	5.85056
37	Acero convencional			7413.225	3.95833
38	Acero convencional			7500.375	3.62927
39	Acero convencional			7500.225	3.16146
40	Concreto simple			1788.7875	1.411
41	Concreto simple			2160.12	2.20264
42	Concreto simple			1900.155	4.49069

Tabla 4-5: Resultados de ensayos a flexión.

Previo al análisis estadístico, se optó por convertir los datos de capacidad de carga última a valores de momento, pues como explica (Nilson & Darwin, 1999) en cualquier sección

transversal existen fuerzas internas que pueden descomponerse en fuerzas normales y tangenciales a la sección, las componentes normales a la sección son los esfuerzos de flexión donde su función es resistir el momento flector que actúa en la sección, mientras que los componentes tangenciales se conocen como esfuerzos cortantes que resisten las fuerzas transversales. Consecuentemente, (Brown & McCormac, 2011) en el concreto reforzado los refuerzos longitudinales a tensión y el concreto en la zona a compresión son los que resisten el momento flector, mientras que los estribos resisten las fuerzas cortantes.

A continuación, en la Tabla 4-6 se presenta la estadística descriptiva para los ensayos a flexión realizados. El dato más relevante de la estadística descriptiva corresponde a que el tratamiento BTC:L:V tuvo una resistencia media a la flexión 1.83 veces mayor a la resistencia media a la flexión de las vigas de concreto simple.

No fue posible cuantificar de forma óptima el aporte a la resistencia a la flexión cuando solo se implementa refuerzo de bambú en la zona a compresión de las vigas debido a que para los tratamientos que implementaban varilla de acero en la zona a tensión, la carga última fue mayor a la capacidad máxima de carga de la máquina universal, correspondiente a 100 kN. Sin embargo, los resultados obtenidos fueron tenidos en cuenta en el análisis de varianza porque dan luces del comportamiento de las vigas de concreto cuando son reforzadas con bambú. Un caso claro de este inconveniente presentado en la realización de los ensayos es el del tratamiento BC:L:V, en el que ninguna probeta falló con la capacidad máxima de la máquina universal.

Cabe resaltar que las desviaciones estándar y coeficientes de variación fueron bastante altos en los tratamientos con el factor BT y BTC, lo que era de esperarse, ya que las tablillas de bambú representan un material de refuerzo bastante heterogéneo. Esta dispersión de datos se podría corregir haciendo ensayos con un mayor número de muestras, no obstante, los datos obtenidos son útiles para determinar la mejor configuración para construir vigas de concreto reforzado con bambú, lo que concuerda con el objetivo de la investigación

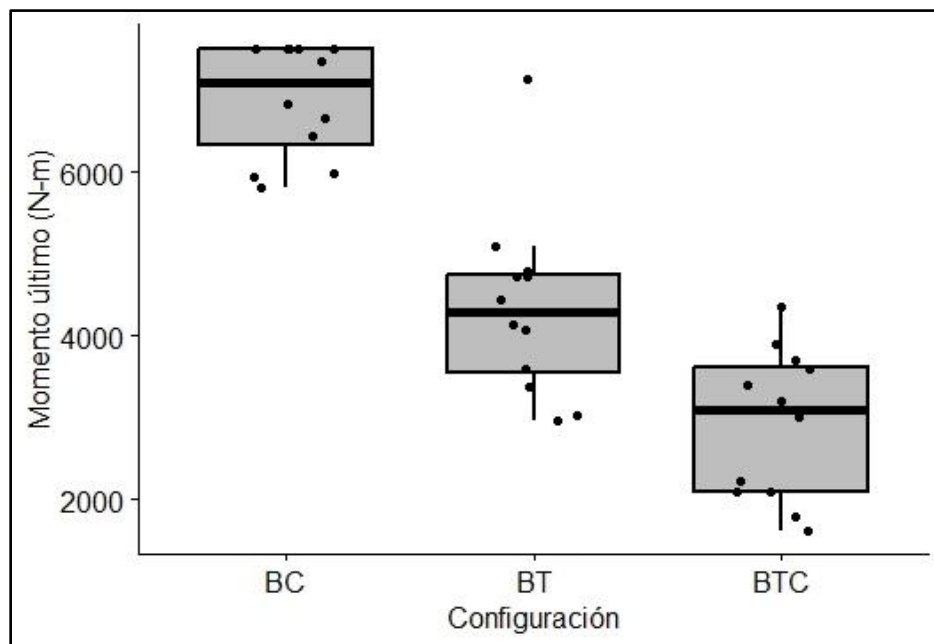
No se pudo realizar comparaciones de las vigas de concreto reforzado con bambú y las vigas reforzadas con acero debido a que dos de las tres probetas realizadas con esta disposición de refuerzos no fallaron con la capacidad de carga máxima de la máquina universal.

Número	Tratamiento	Media (N-m)	Error estándar	Mediana	Rango	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
1	BTC:L:H	3554.84	204.83	3584.33	707.72	354.78	9.98
2	BTC:L:V	3578.94	399.64	3401.01	1349.67	692.20	19.34
3	BTC:A:H	1977.88	186.09	2094.91	611.95	322.32	16.30
4	BTC:A:V	2520.43	594.86	2085.86	1918.28	1030.34	40.88
5	BC:L:H	7450.24	50.10	7500.30	150.35	86.78	1.16
6	BC:L:V	7500.30	0.00	7500.30	0.00	0.00	0.00
7	BC:A:H	6421.32	315.77	6646.18	1022.19	546.94	8.52
8	BC:A:V	6116.38	160.49	5970.40	495.13	277.97	4.54
9	BT:L:H	4552.19	286.07	4427.92	967.31	495.48	10.88
10	BT:L:V	5529.33	802.50	4726.85	2407.53	1389.98	25.14
11	BT:A:H	3308.68	189.25	3374.57	645.57	327.79	9.91
12	BT:A:V	3952.09	508.08	4055.21	1750.97	880.03	22.27
13	Acero convencional	7471.28	29.03	7500.23	87.15	50.27	0.67
14	Concreto simple	1949.69	110.02	1900.16	371.33	190.56	9.77

Tabla 4-6: Estadística descriptiva de momento último.

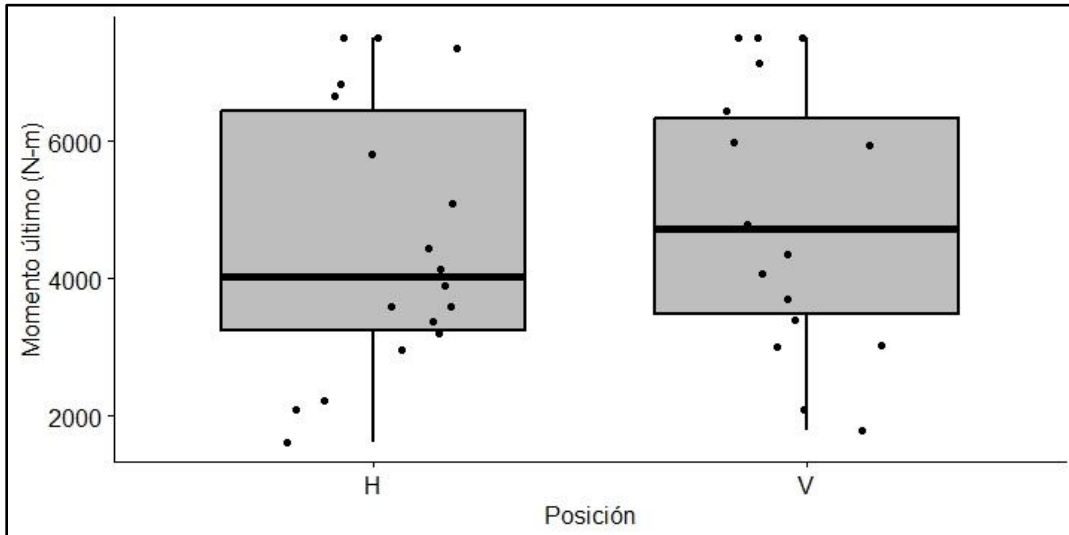
4.3.2 Gráficos de caja por factores.

Como se muestra en la Gráfica 4-1, para el factor de configuración, la mejor resistencia a la flexión se presentó en las probetas con refuerzo longitudinal de acero en la zona a tensión de la viga; Sin embargo, no es justo comparar directamente la sustitución de los refuerzos de acero por los de bambú, la comparación más justa sería comparar las probetas con refuerzos de bambú con probetas de concreto simple, solo allí se revalidará o no la validez de la implementación de estos refuerzos de naturaleza orgánica.



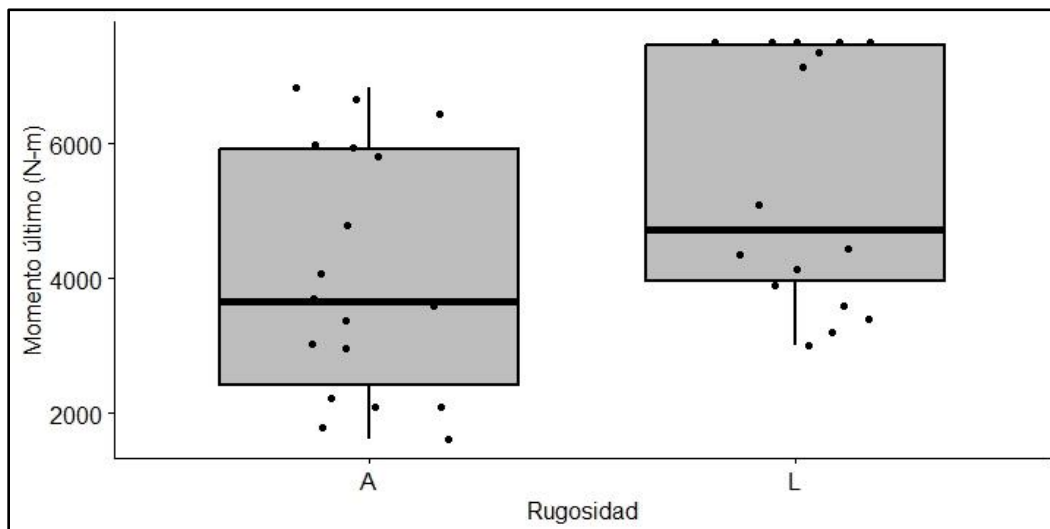
Gráfica 4-1: Diagrama de caja del factor configuración para momento último.

Como se puede observar en la Gráfica 4-2, existe un ligero aumento de la resistencia a la flexión en las probetas con refuerzos de bambú lisos, sin embargo, las cajas del diagrama se traslapan, por lo que hay que aplicar otros métodos estadísticos para determinar si el aporte a la flexión es estadísticamente significativo.



Gráfica 4-2: Diagrama de caja del factor Rugosidad para momento último.

La Gráfica 4-3 muestra el diagrama de caja para el factor de posición, en la cual las cajas del diagrama se traslapan completamente, lo que da un claro indicio de que no hay diferencia cuando se instalan refuerzos de bambú de forma horizontal o vertical; sin embargo, esta hipótesis se verificará más adelante en los en el test HSD de Tukey.



Gráfica 4-3: Diagrama de caja del factor Posición para momento último.

4.3.3 Tabla ANOVA Multifactorial.

La prueba de hipótesis para el ANOVA realizado, en su forma general, se presenta de la siguiente forma:

H_0 : Todas las medias de los tratamientos son iguales. H_1 : Al menos una media de los tratamientos difiere. La Tabla 4-7 presenta el cálculo ANOVA multifactorial para la variable de respuesta de momento último.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor-P (>F)
Configuración	2	96740968	48370484	111.32	7.20E-13
Posición	1	933468	933468	2.14	0.1557
Rugosidad	1	15480556	15480556	35.62	3.68E-06
Configuración: Posición	2	1325706	662853	1.52	0.2378
Configuración: Rugosidad	2	62572	31286	0.07	9.31E-01
Posición: Rugosidad	1	7250	7250	0.01	0.8983
Configuración: Posición: Rugosidad	2	372390	186195	0.42	6.56E-01
Residuos	24	10427740	434489		

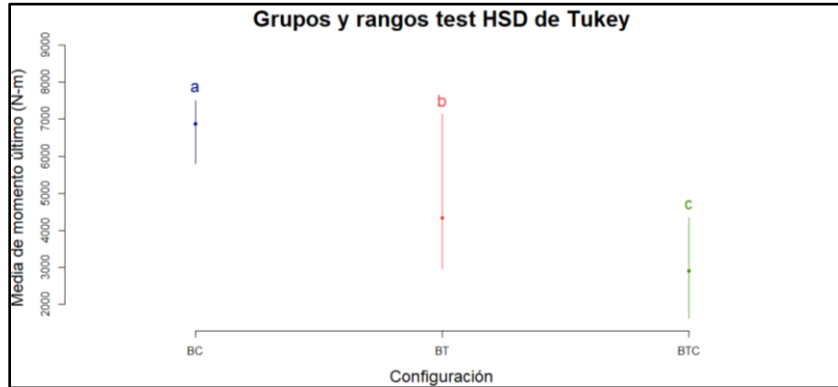
Tabla 4-7: Tabla de ANOVA multifactorial para momento último.

Según los cálculos realizados, como al menos uno de los tratamientos tiene un p-value menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, y como ya se había apreciado en los diagramas de cajas para cada tratamiento, con un nivel de confianza del 95%, al menos una de las medias de los tratamientos es diferente, como se aprecia en la Tabla 4-7, esta diferencia se encuentra específicamente en el tratamiento de configuración y rugosidad.

4.3.4 Prueba de Tukey.

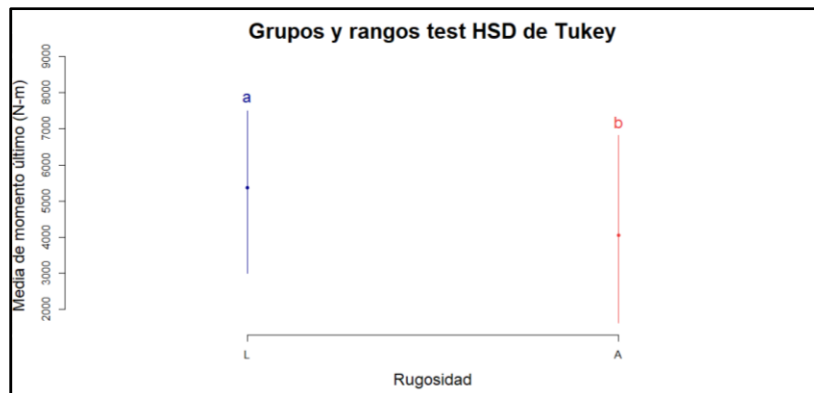
Después de comprobar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los factores, nace la necesidad de identificar cual es el mejor tratamiento del experimento, por lo que se realiza la prueba de Tukey.

La Gráfica 4-4 presenta los resultados del test HSD de Tukey para configuración y como ya se había enunciado en la tabla ANOVA, existe diferencia significativa en los tratamientos de configuración. En el caso de la configuración, el mejor desempeño corresponde a BC debido a que este presenta refuerzo de acero en la zona a tensión de las probetas, continua el nivel BT, y por último el nivel BTC, lo que tiene congruencia, ya que las medias van de mayor a menor, desde las probetas que tenían refuerzo de acero en la zona a tensión a las que solo tenían refuerzo longitudinal de bambú.



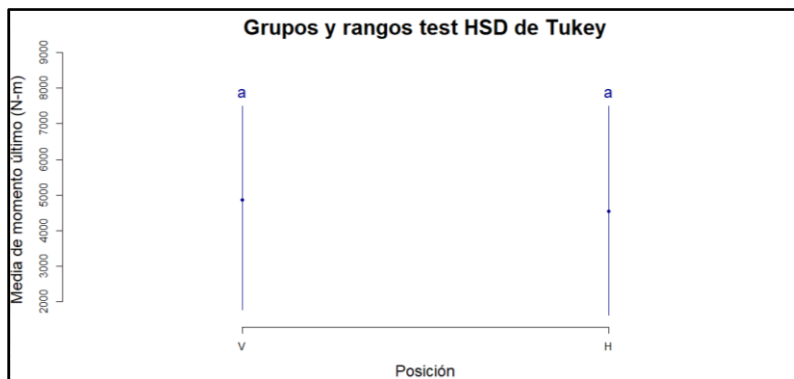
Gráfica 4-4: Grupos y rangos de test HSD de Tukey del factor configuración para momento último.

La Gráfica 4-5 presenta Los resultados del test HSD de Tukey en cuanto a rugosidad de las tablillas de bambú, que resultan sorprendentes, ya que se presumía un aumento de la resistencia a la flexión con los refuerzos acanalados debido al aumento de la fuerza de adherencia entre el concreto y el bambú, sin embargo, se presentó una mayor resistencia media para el caso de los refuerzos lisos.



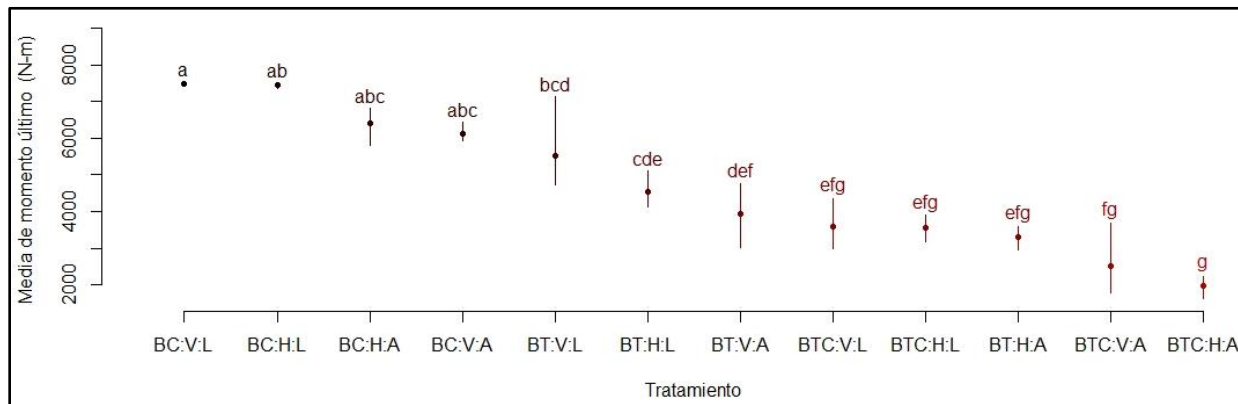
Gráfica 4-5: Grupos y rangos de test HSD de Tukey del factor Rugosidad para momento último.

Según la Gráfica 4-6 no se evidencia una diferencia significativa de la resistencia de las viguetas para el factor de posición.



Gráfica 4-6: Grupos y rangos de test HSD de Tukey del factor Posición para momento último.

Aunque el análisis presentado en este apartado da luces de los resultados obtenidos y sirve para sacar algunas conclusiones, Este abordaje es errado ya que olvida la existencia de la interacción entre los tres factores, en este caso se debe realizar las pruebas por pares sobre los 12 posibles tratamientos del experimento, que se presenta en la Gráfica 4-7 y allí se puede apreciar que el tratamiento BT:V:L comparte el grupo b con los tratamientos BC:H:L, BC:H:A y BC:V:A, lo cual indica que la resistencia media a la flexión de un tratamiento con refuerzo de longitudinal bambú a tensión fue comparable con tratamientos con refuerzo longitudinal de acero a tensión.



Gráfica 4-7: Grupos y rangos de test HSD de Tukey para todos los tratamientos del diseño experimental para momento último.

La Tabla 4-8 presenta las medias y rangos del test HSD de Tukey para momento último, de dicha tabla, partiendo de que los tratamientos BTC:V:L, BT:V:L y BC:V:L fueron los que presentaron mayor resistencia media la flexión de cada uno de los niveles del factor configuración, se puede inferir que, cuando se trata de obtener una mayor resistencia a la flexión en vigas de concreto reforzado con bambú en las zonas a tensión, compresión o ambas, las tablillas de bambú deben ser lisas, recubiertas con sikadur-32 o una resina epóxica con las mismas propiedades y se deben disponer de forma vertical.

Haciendo el análisis de esta forma también se comprueba que entre más refuerzos longitudinales de acero presentaba las probetas, mejor es su desempeño y, además, el mejor desempeño se presenta cuando el refuerzo de acero se dispone en la zona a tensión de la viga. Como ya se había presentado en los diagramas de caja y en la prueba de Tukey para cada factor, los tratamientos con refuerzos lisos presentaron una mayor resistencia media la flexión, independientemente de su combinación con los otros factores

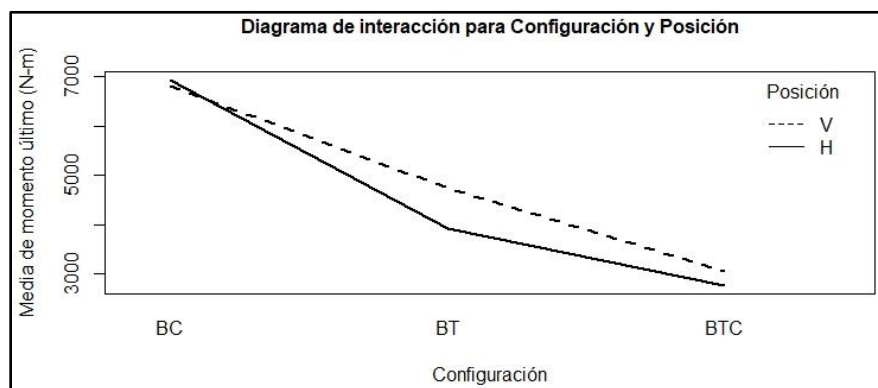
Tratamiento	Media de momento último(N-m)	Grupos
BC:V:L	7500.3	a
BC:H:L	7450.235	ab
BC:H:A	6421.318	abc
BC:V:A	6116.375	abc
BT:V:L	5529.33	bcd
BT:H:L	4552.193	cde
BT:V:A	3952.087	def
BTC:V:L	3578.94	efg
BTC:H:L	3554.835	efg
BT:H:A	3308.677	efg
BTC:V:A	2520.427	fg
BTC:H:A	1977.88	g

Tabla 4-8: Medias y grupos del test HSD de Tukey para los 12 tratamientos del diseño experimental para momento último.

4.3.5 Gráficos de interacción.

La Gráfica 4-8 presenta la interacción entre los factores configuración y posición, el cual demuestra que las probetas con refuerzos de bambú en posición vertical tuvieron una mayor resistencia en los niveles BT y BTC, este comportamiento puede obedecer a errores humanos en la ejecución de los experimentos, Sin embargo, Es importante señalar la tendencia decreciente para los niveles V y H, con mayor resistencia la flexión en el nivel BC, seguido de BT y BTC.

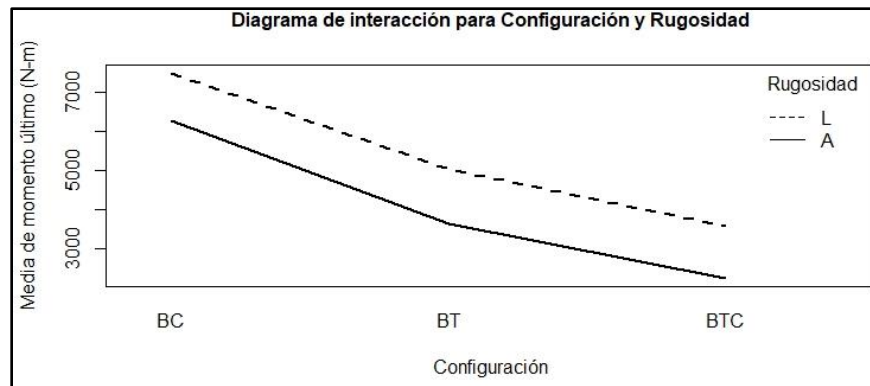
A pesar de que en el análisis de varianza se comprobó que la posición de los refuerzos no tiene una incidencia estadísticamente significativa en la resistencia a la flexión, hay que resaltar que, las probetas con refuerzos de bambú verticales tuvieron una mayor resistencia media a la flexión.



Gráfica 4-8: Diagrama de interacción de configuración vs posición para media de momento último.

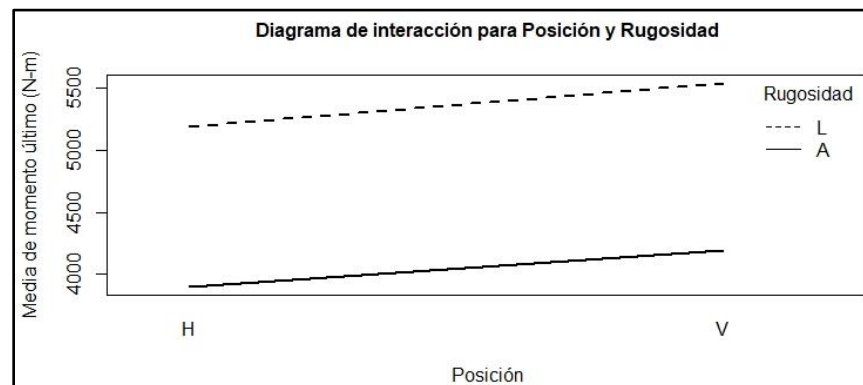
Como ya se había comprobado en el ANOVA, el factor rugosidad si influye en la resistencia de las vigas reforzadas con bambú, esta diferencia se ve representada en que las probetas con tablillas lisas tuvieron una mayor resistencia a la flexión y como se observa en la Gráfica 4-9, éste

desempeño se mantiene con los tres niveles del factor de configuración, lo cual genera confianza en los resultados obtenidos. En este caso, la tendencia de los niveles de rugosidad L y A es muy parecida y se mantiene en los tres niveles de configuración BC, BT y BTC.



Gráfica 4-9: Diagrama de interacción de configuración vs rugosidad para media de momento último.

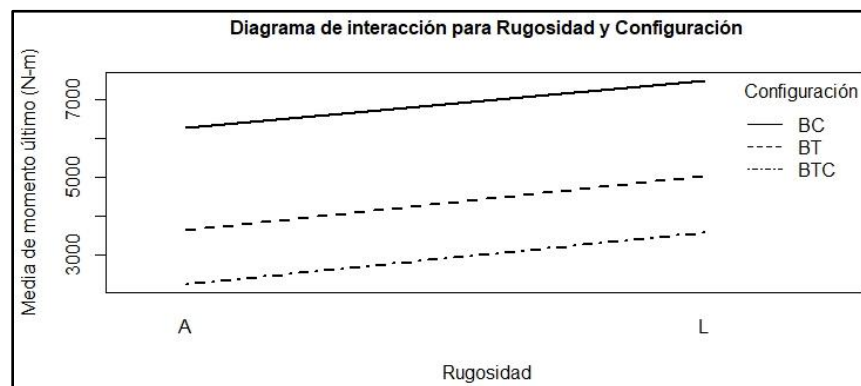
Según lo presentado en la Gráfica 4-10, también se mantiene la resistencia a la flexión mayor con los refuerzos de bambú liso en los dos niveles del factor posición, H y V, siendo un poco mayor para las tablillas en posición vertical, en este caso la diferencia entre la resistencia a la flexión de los tratamientos con tablillas lisas y los tratamientos con tablillas acanaladas es bastante grande, lo que revalida el mejor desempeño de las probetas con tablillas lisas. La tendencia de los niveles es c L y A es creciente y se mantiene en los dos niveles del factor rugosidad, dicha tendencia genera confianza en los resultados obtenidos.



Gráfica 4-10: Diagrama de interacción de posición vs rugosidad para media de momento último.

Como se aprecia en la Gráfica 4-11, la resistencia a la flexión fue mayor en las probetas con tablillas lisas, independientemente de si éstas estaban dispuestas en la zona a tensión, compresión o ambas, ya que hay una marcada tendencia creciente en la resistencia a la flexión en los tres niveles del factor configuración cuando se utilizaron tablillas de refuerzo lisas en comparación con tablillas acanaladas. La información obtenida con los diagramas de interacción es concordante con el ANOVA y el test HSD de Tukey en lo concerniente a la mayor resistencia a la flexión de las probetas con tablillas lisas y a pesar de que según el ANOVA, la posición de los

refuerzos no influye en la resistencia a la flexión del concreto reforzado con bambú, la prueba de Tukey indicó que las probetas con tablas verticales tuvieron un mejor desempeño, lo cual también es concordante con los diagramas de interacción elaborados.



Gráfica 4-11: Diagrama de interacción de rugosidad vs configuración para media de momento último.

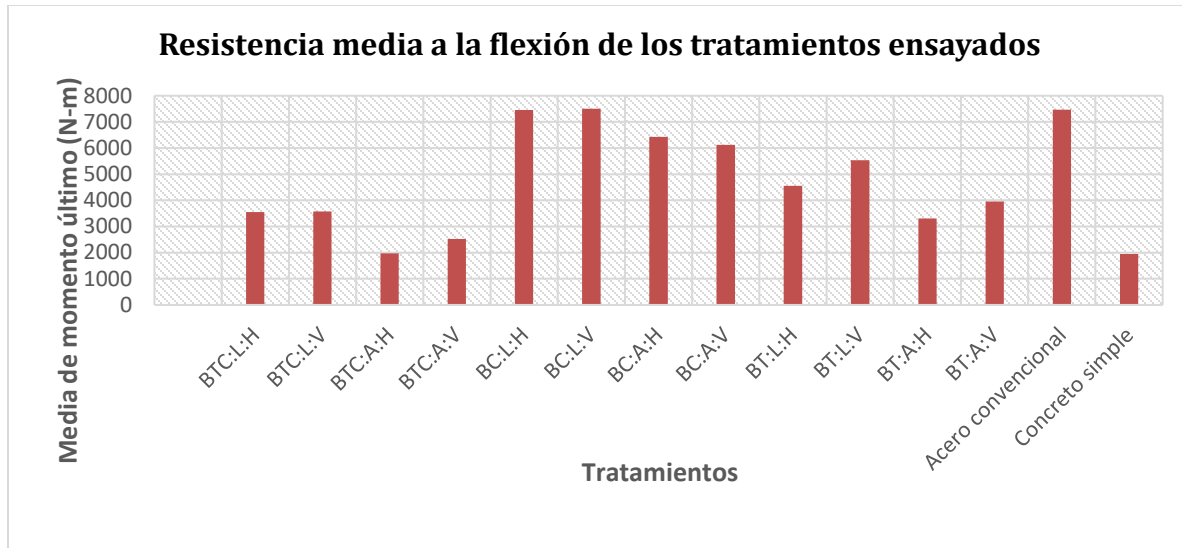
4.3.6 Discusión de resultados

Se realiza la comparación del aumento de la capacidad de carga con respecto a una viga de concreto simple y se relaciona con los resultados obtenidos de otras investigaciones en la Tabla 4-9. El aumento de carga con respecto a una viga de concreto simple para el mejor tratamiento empleando solamente bambú como refuerzo (BTC) es de 183% y concuerda solamente con los resultados de Schneider (2014).

Aumento de capacidad de carga con respecto a una viga en concreto simple	
Autor	Aumento de carga (%)
Rodríguez (2017)	200 a 300
Ghavami (1995)	400
Khare (2005)	250
Rahman, Hasan, Hasan, Hossain, & Rashid (2011)	250
Schneider (2014)	134 a 242
Agarwal, Nanda & Maity (2014)	29.41
Hernandez & Ramos (2023)	183

Tabla 4-9: Comparación con otros autores del aumento de carga empleando bambú como refuerzo longitudinal respecto a una viga en concreto simple.

Se destaca que los tratamientos BC:L:H, BC:L:V y dos de las tres muestras en acero convencional superaron el límite de carga máxima de 100 kN que registra la máquina universal. La gráfica 4-12 relaciona la resistencia media a la flexión de todos los tratamientos ejecutados, todos los tratamientos superan la resistencia media del concreto simple y la resistencia más alta es cuando se emplea el bambú a compresión (BC).



Gráfica 4-12: Grafica de resistencia media a la flexión de los tratamientos elaborados.

4.4 Análisis estadístico de la deformación.

4.4.1 Estadística descriptiva.

En la Tabla 4-10 se presenta la estadística descriptiva de la variable de respuesta de desplazamiento máximo, en dicha tabla se puede apreciar que el tratamiento con deformación media más alta corresponde a BTC:L:H, lo que puede generar inconvenientes, teniendo en cuenta que este tratamiento no demostró una resistencia a la flexión buena, en contraste, en el tratamiento BTC:L:V hubo una disminución del 60% en las deformaciones, es decir, la implementación de tablillas verticales lisas, disminuye un 60% las deformaciones medias en vigas de concreto reforzado con bambú en las zonas a tensión y compresión, en comparación con las probetas con tablillas horizontales lisas. Este resultado es bastante importante, debido a que en el apartado de análisis de momento último también se concluyó que las probetas con tablillas lisas y verticales poseen una mayor resistencia media a la flexión.

En el caso de los tratamientos con el factor con refuerzo de varillas de acero en la zona a compresión y refuerzo de bambú en la zona a tensión, BT, basados exclusivamente en la deformación media, no existe un indicio claro de que las deformaciones sean mayores o menores cuando se implementa alguno de los niveles de los factores rugosidad y posición; Sin embargo, en el análisis de momento último se concluyó que la mayor resistencia a la flexión se presenta en los tratamientos con las tablillas lisas y verticales y la deformación en el tratamiento BT:L:V fue bastante alta, lo que puede ser un obstáculo en la implementación de vigas de concreto reforzado con bambú.

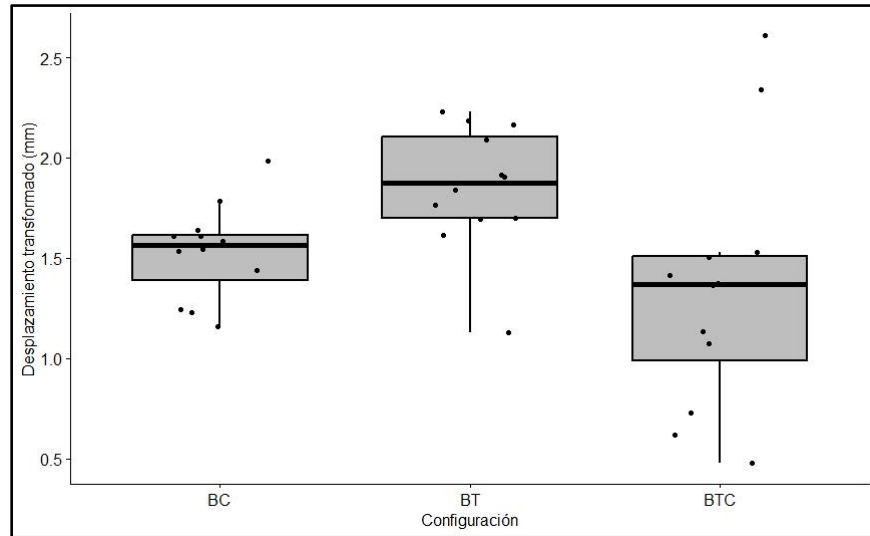
El único tratamiento que tuvo menor deformación media que las vigas de concreto simple corresponde a BTC:A:H y este dato es bastante negativo, ya que la falla a flexión del concreto simple se efectúa de forma súbita o frágil, se puede decir que el refuerzo de bambú en el tratamiento BTC:A:H anuló la ductilidad esperada en un material reforzado con fibras como es el concreto reforzado con bambú, puesto que también fue el tratamiento que presentó menor resistencia media a la flexión .

Número	Tratamiento	Media (mm)	Error estándar	Mediana	Rango	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)
1	BTC:L:H	9.54	2.63	10.39	9.00	4.56	47.75
2	BTC:L:V	3.84	0.40	3.91	1.39	0.70	18.15
3	BTC:A:H	2.68	0.72	2.07	2.25	1.24	46.39
4	BTC:A:V	2.83	0.68	2.93	2.34	1.17	41.40
5	BC:L:H	5.61	0.84	4.87	2.62	1.46	26.02
6	BC:L:V	3.35	0.09	3.41	0.28	0.15	4.40
7	BC:A:H	5.36	0.30	5.15	0.96	0.51	9.59
8	BC:A:V	4.61	0.22	4.63	0.77	0.39	8.36
9	BT:L:H	5.12	1.08	5.48	3.68	1.87	36.49
10	BT:L:V	8.16	0.93	8.88	2.99	1.62	19.83
11	BT:A:H	6.74	0.76	6.71	2.63	1.31	19.49
12	BT:A:V	6.52	1.11	5.85	3.68	1.93	29.56
13	Acero convencional	3.58	0.23	3.63	0.80	0.40	11.18
14	Concreto simple	2.70	0.92	2.20	3.08	1.60	59.20

Tabla 4-10: Estadística descriptiva de desplazamiento máximo.

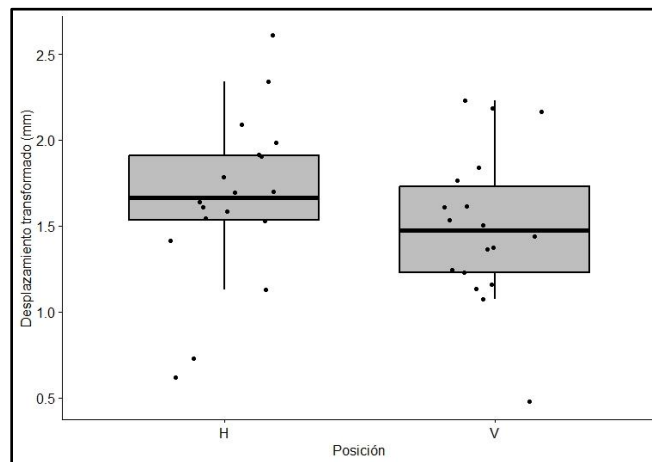
4.4.2 Gráficos de caja por factores.

El diagrama de caja del factor configuración de la Gráfica 4-13 muestra una mayor deformación o desplazamiento máximo cuando se refuerzan las vigas con tablillas de bambú en la zona a tensión y refuerzo de acero en la zona a compresión, lo que da fe de la buena ductilidad del concreto reforzado con bambú; sin embargo, para los tratamientos que disponían de refuerzo de bambú en las zonas a tensión y compresión, disminuyó drásticamente dicha deformación y como punto medio se encuentran los tratamientos que presentaban refuerzo de bambú en la zona a compresión y refuerzo de acero en la zona a tensión.



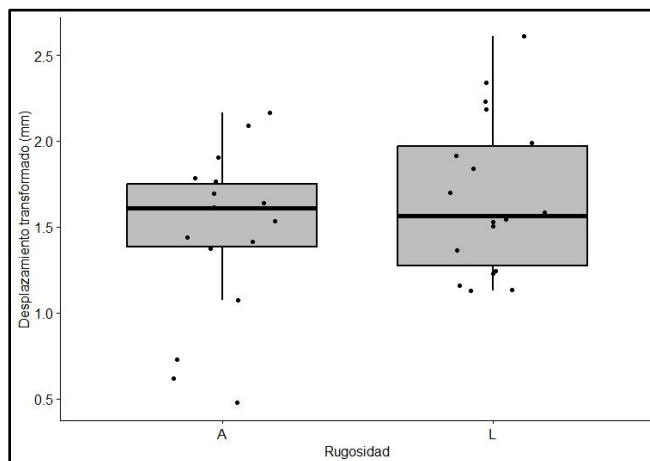
Gráfica 4-13: Diagrama de caja del factor configuración para desplazamiento transformado.

En el diagrama de caja del factor posición de la Gráfica 4-14 se puede apreciar que las cajas se traslapan, por lo que, en principio, no existe diferencia estadísticamente significativa en la deformación de las vigas de concreto reforzado cuando se implementan tablillas de bambú de forma horizontal o vertical; sin embargo, las cajas no están completamente traslapadas, por lo que resulta útil corroborar este postulado en el ANOVA.



Gráfica 4-14: Diagrama de caja del factor Posición para desplazamiento máximo.

En el diagrama de caja del factor rugosidad de la Gráfica 4-15 se aprecian dos cajas completamente traslapadas por lo que lo más probable es que no exista diferencia estadísticamente significativa en la deformación de las vigas de concreto reforzado con bambú cuando se implementan tablillas de bambú lisas o acanaladas.



Gráfica 4-15: Diagrama de caja del factor Rugosidad para desplazamiento máximo.

4.4.3 Tabla ANOVA multifactorial.

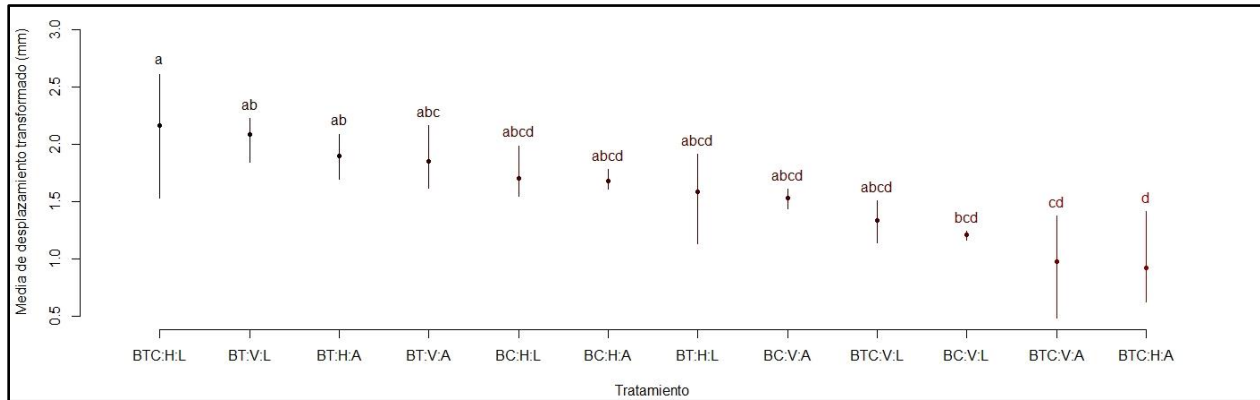
La Tabla 4-11 presenta el ANOVA del diseño experimental, teniendo en cuenta exclusivamente el desplazamiento máximo como variable de respuesta y se confirma que con un nivel de confianza del 95%, si existe diferencia estadísticamente significativa en las deformaciones de vigas de concreto reforzado con bambú considerando los factores del diseño experimental de esta investigación, específicamente la diferencia se presenta en el factor configuración.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor P (>F)
Configuración	2	1.56529	0.78265	8.1605	0.00197
Posición	1	0.23071	0.23071	2.4056	0.13399
Rugosidad	1	0.37972	0.37972	3.9593	0.05812
Configuración: Posición	2	0.68107	0.34054	3.5507	0.04458
Configuración: Rugosidad	2	1.60569	0.80284	8.3711	0.00174
Posición: Rugosidad	1	0.11398	0.11398	1.1885	0.28646
Configuración: Posición: Rugosidad	2	0.78583	0.39291	4.0969	0.02946
Residuos	24	2.30175	0.09591		

Tabla 4-11: Tabla de ANOVA multifactorial para desplazamiento máximo.

4.4.4 Test HSD de Tukey.

En la Gráfica 4-16 se presentan los grupos y rangos del test HSD de Tukey, en esta se puede apreciar que el tratamiento con mayor desplazamiento fue BTC:H:L, por lo que con este resultado se ratifica la capacidad del concreto reforzado con bambú de presentar fallas dúctiles, sin embargo esta deformación es bastante elevada, lo que puede dificultar la implementación de este tipo de elementos estructurales.



Gráfica 4-16: Grupos y rangos de test HSD de Tukey para todos los tratamientos del diseño experimental para momento último.

A continuación, en la Tabla 4-12 se presentan los desplazamientos medios para cada uno de los tratamientos, junto a su respectivo grupo, obtenidos mediante el test HSD de Tukey. Se destaca que los cuatro primeros tratamientos con mayor deformación poseen refuerzo de tablillas de bambú en la zona a tensión, lo que corrobora la capacidad de presentar fallas dúctiles que posee el concreto reforzado con bambú; no obstante, estas deformaciones se traducen en altas deflexiones, lo que podría ser un inconveniente al momento de cumplir con normatividad vigente que estipula deflexiones máximas en elementos estructurales.

Tratamiento	Media de desplazamiento transformado	Grupos
BTC:H:L	2.161121	a
BT:V:L	2.0844989	ab
BT:H:A	1.8959377	ab
BT:V:A	1.8475466	abc
BC:H:L	1.7041934	abcd
BC:H:A	1.6764002	abcd
BT:H:L	1.5816758	abcd
BC:V:A	1.5267225	abcd
BTC:V:L	1.3350831	abcd
BC:V:L	1.2094718	bcd
BTC:V:A	0.9761778	cd
BTC:H:A	0.9208225	d

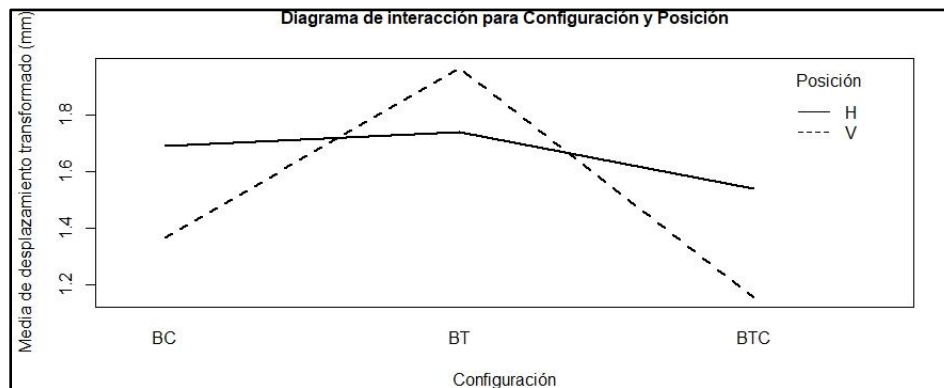
Tabla 4-12: Medias y grupos del test HSD de Tukey para los 12 tratamientos del diseño experimental para desplazamiento máximo.

4.4.5 Gráficos de interacción.

La Gráfica 4-17 presenta el diagrama de interacción de configuración versus posición para desplazamiento máximo; en él, se puede observar un comportamiento bastante atípico, puesto que los dos niveles se cruzan, además se puede advertir acerca de un menor desplazamiento

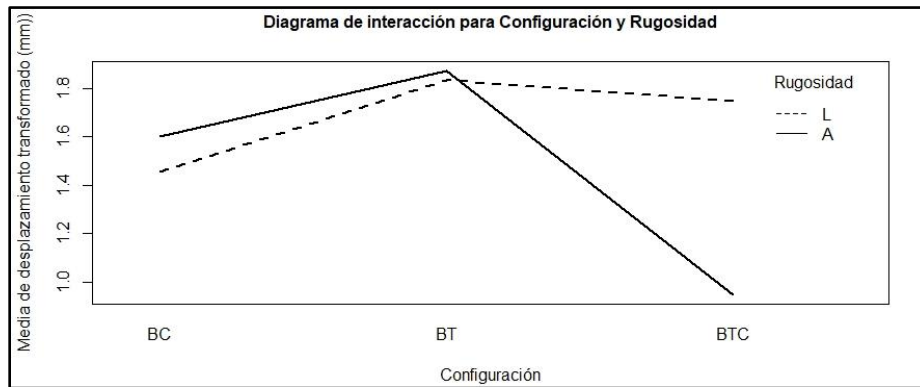
cuando se implementan refuerzos de bambú verticales en las zonas a tensión y compresión, y como los tratamientos con refuerzos verticales también demostraron tener una mayor resistencia a la flexión, se revalida el postulado de que según la presente investigación, la mejor forma de construir vigas de concreto reforzado con bambú en las zonas a tensión y compresión es con tablillas en posición vertical.

Según lo ilustrado en la Gráfica 4-17, si solo se va a disponer refuerzo de bambú en la zona a tensión de la viga, con el fin de obtener menores deformaciones, lo ideal es instalar las tablillas de forma horizontal, sin embargo, estas deformaciones siguen siendo bastante altas y se deberá evaluar si dichas deformaciones no afectarán de alguna forma la integridad de los elementos no estructurales que reposen sobre las vigas. La tendencia de los niveles H y V se mantiene en los niveles BC y BTC, ya que en el factor BT los graficas se cruzan.



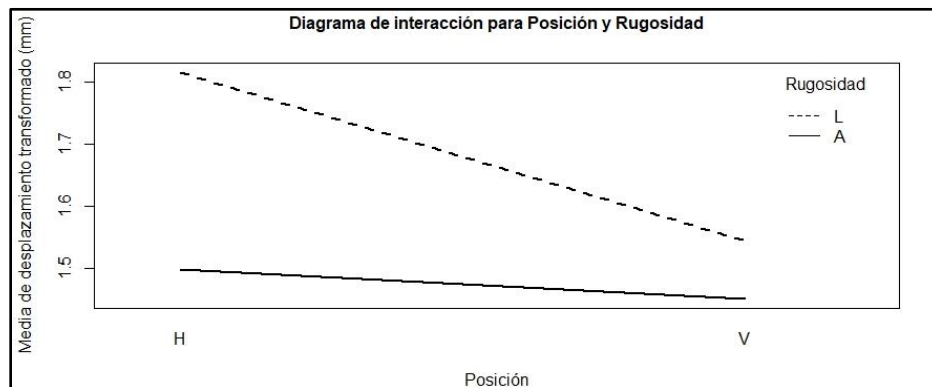
Gráfica 4-17: Diagrama de interacción de configuración vs Posición para media de desplazamiento máximo.

Continuando con el análisis de los diagramas de interacción, la Gráfica 4-18 presenta el diagrama de interacción de configuración versus rugosidad, en este se puede distinguir un comportamiento bastante parecido para los niveles BC y BT, presentando desplazamientos un poco mayores en el caso de las tablillas lisas. Por otra parte ya se había enunciado que el tratamiento BTC:V:L tuvo la mejor resistencia a la flexión de todos los tratamientos con el factor BTC, con deformaciones relativamente bajas. Si se trata exclusivamente de mantener bajas las deformaciones de las vigas, implementar tablillas acanaladas podría ser una mejor opción, no obstante, la resistencia a la flexión disminuiría en gran medida.



Gráfica 4-18: Diagrama de interacción de configuración vs rugosidad para media de desplazamiento máximo.

Por último, la Gráfica 4-19 presenta el diagrama de interacción de posición vs rugosidad para la media de desplazamiento, en ella se observa que, como ya se había enunciado en el diagrama de interacción de la Gráfica 4-18, las probetas con refuerzos de bambú acanalados experimentan menores deformaciones, y este comportamiento se acentúa aún más cuando las tablillas se disponen de forma vertical, no obstante las probetas con refuerzos de bambú lisos y verticales son la mejor opción, debido a que las probetas con éstos refuerzos presentaron una mejora sustancial en la resistencia a la flexión. En este caso la tendencia se mantiene en los dos niveles de rugosidad L y A, lo cual genera confianza en los resultados obtenidos.



Gráfica 4-19: Diagrama de interacción de posición vs rugosidad para media de desplazamiento máximo.

4.5 Resistencia a la flexión vs costos.

Esta sección busca relacionar la resistencia evaluada en los especímenes con los costos de los materiales por unidad, es necesario resaltar que los costos en la construcción varían según el análisis geométrico, estratégico y del entorno. Para evaluar los costos de los materiales por espécimen es necesario realizar parcialmente un análisis de precios unitarios caracterizando únicamente los costos directos sin contemplar el transporte, mano de obra y herramientas. El arquitecto Juan Guillermo Consuegra (2002) plantea un presupuesto como una herramienta de

control que es aproximado, singular y temporal puesto que los valores presentados en este documento corresponden a la elaboración de 42 probetas en forma de prisma rectangular recto representativos de una viga de concreto reforzado realizado en Junio del 2022 con precios comerciales en la ciudad de Neiva – Huila. En la Tabla 4-13 se ilustra los costos de los materiales por tratamiento mediante el uso de análisis de precios unitarios parciales; se puede deducir de esta información que el mayor costo es el concreto reforzado con acero convencional, sin embargo, el costo por unidad de los ítems 1.2 y 1.3 no varían considerablemente.

Item	Descripción	Tratamientos	Costo (\$ COP)
1.1	Concreto reforzado convencional	Acero convencional	\$21,690.68
1.2	Concreto reforzado mixto incluye sikadur	BC:L:H, BC:L:V, BC:A:H, BC:A:V, BT:L:H, BT:L:V, BT:A:H, BT:A:V	\$21,323.50
1.3	Concreto reforzado con varas de bambú incluye sikadur	BTC:L:H, BTC:L:V, BTC:A:H, BTC:A:V	\$20,956.32
1.4	Concreto simple	Concreto simple	\$8,806.68

Tabla 4-13: Costo de los materiales generados mediante análisis de precios unitarios en ejecución.

La escasa diferencia de los costos entre el ítem 1.1 y los ítems 1.2-1.3 se debe especialmente a la implementación del adhesivo epoxico Sikadur 32 Gel necesario en la adherencia del refuerzo en el concreto; en la Tabla 4-14 se puede una simulación de los costos de los materiales descartando el adhesivo epóxico en los ítems 1.5 y 1.6 llegando a reducir un 25.1% del costo en acero convencional. En el anexo E se encuentra los análisis de precios unitarios parciales que sustenta los ítems mencionados.

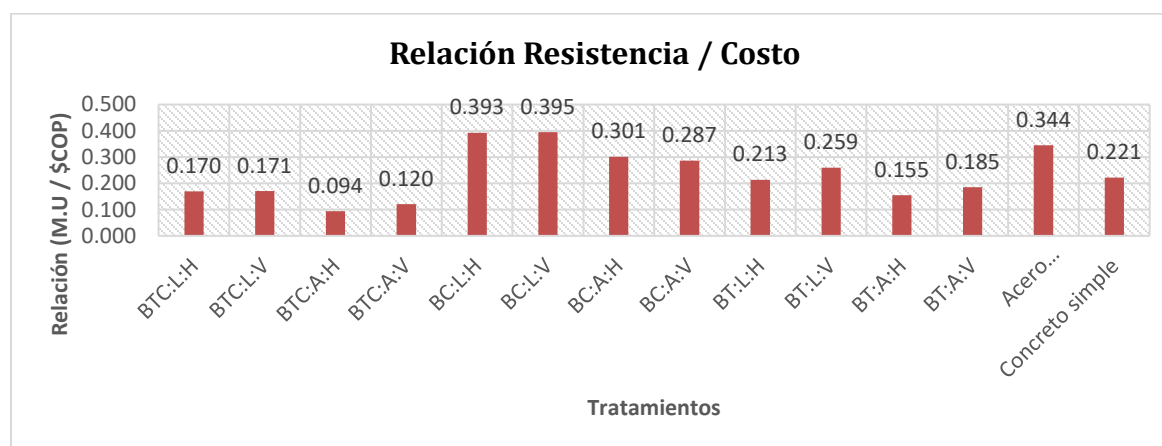
Ítem	Descripción	Costo (\$ COP)	Diferencia ítem 1.1
1.2	Concreto reforzado con varas de bambú incluye sikadur.	\$ 20,956.32	- \$ 734.36 (3.4%)
1.3	Concreto reforzado mixto incluye sikadur.	\$ 21,323.50	- \$ 367.18 (1.7%)
1.5	Concreto reforzado con varas de bambú, no incluye sikadur.	\$ 16,246.68	- \$ 5,444.00 (25.1%)
1.6	Concreto reforzado mixto, no incluye sikadur.	\$ 18,968.68	- \$ 2722.00 (12.6%)

Tabla 4-14: Cuadro comparativo de los costos incluyendo y descartando el adhesivo epoxico Sikadur 32 Gel con respecto al ítem 1.1 referente al concreto reforzado convencional.

En la Tabla 4-15 se observan los valores de la relación resistencia a flexión vs. Costo por cada tratamiento, la mayor relación lo presenta el tratamiento mixto en bambú a compresión con refuerzo vertical liso seguido del tratamiento mixto en bambú a compresión con refuerzo horizontal liso. De igual manera, la relación del acero convencional se encuentra muy cerca, pero anulando el costo del adhesivo epoxico los tratamientos BC:L:H y BC:L:V aumentaría a 0.393 y 0.395 respectivamente. La Gráfica 4-20 ilustra las relaciones, destacando la diferencia de la menor relación con respecto a los demás tratamientos (BTC:A:V y BTC:A:H).

Relación resistencia a flexión vs. Costos.				
Número	Tratamiento	Momento último promedio (N-m)	Costo material	Relación
			(\$ COP)	(M.U / \$COP)
1	BTC:L:H	3554.84	\$20,956.32	0.17
2	BTC:L:V	3578.94	\$20,956.32	0.171
3	BTC:A:H	1977.88	\$20,956.32	0.094
4	BTC:A:V	2520.43	\$20,956.32	0.12
5	BC:L:H	7450.24	\$18,968.68	0.393
6	BC:L:V	7500.3	\$18,968.68	0.395
7	BC:A:H	6421.32	\$21,323.50	0.301
8	BC:A:V	6116.38	\$21,323.50	0.287
9	BT:L:H	4552.19	\$21,323.50	0.213
10	BT:L:V	5529.33	\$21,323.50	0.259
11	BT:A:H	3308.68	\$21,323.50	0.155
12	BT:A:V	3952.09	\$21,323.50	0.185
13	Acero convencional	7471.28	\$21,690.68	0.344
14	Concreto simple	1949.69	\$8,806.68	0.221

Tabla 4-15: Tabla de resistencia a flexión vs. Costos por cada tratamiento.



Gráfica 4-20: Diagrama de barras ilustrativo de la relación resistencia vs. Costo por cada tratamiento.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las vigas de concreto reforzado con bambú, en concordancia con lo comprobado en investigaciones realizadas en varios continentes, demostraron tener la capacidad de incrementar la resistencia a la flexión de vigas de concreto simple, además de proporcionar una falla dúctil, incluso teniendo en cuenta que no se hizo ningún tipo de prueba de resistencia al bambú y, como en el caso de las vigas de concreto reforzado con acero, si aumenta la calidad de los refuerzos de bambú, se espera que también aumente la resistencia a la flexión de las probetas de ensayo.

El desempeño mecánico de las vigas de concreto reforzado con bambú, no es equiparable en ninguno de los tratamientos ensayados, con las vigas de concreto reforzadas con acero y esto era de esperarse, no obstante, con los resultados de la presente investigación se dieron las principales consideraciones constructivas para lograr el máximo desempeño posible, en cuanto a resistencia a la flexión y deformación del concreto reforzado con bambú, aspecto que no se había tratado en ninguna otra investigación de las consultadas en la búsqueda sistemática de bibliografía realizada, ya que dichas investigaciones se centraron en encontrar simplemente la capacidad de carga máxima sin tener en cuenta varios factores.

Cuando se trata de obtener una mayor resistencia a la flexión en vigas de concreto reforzado con bambú en las zonas a tensión, compresión o ambas, las tablillas de bambú deben ser lisas, recubiertas con sikadur-32 o una resina epóxica con las mismas propiedades y se deben disponer de forma vertical.

La resistencia a la flexión y el costo del concreto reforzado con bambú está muy condicionado al pretratamiento que se realice a los refuerzos de bambú, como es que caso del recubrimiento con resina epóxica para lograr una mayor fuerza de adherencia e impermeabilizar las tablillas de refuerzo. Lo enunciado no significa que el concreto reforzado con bambú no tenga ninguna aplicación, al contrario, los resultados de esta investigación son una razón más para que se realicen investigaciones que encuentren un mejor desempeño del concreto reforzado con

bambú, utilizando pretratamientos de refuerzo que no condicionen en gran medida la aplicación de este material.

La esperada contribución al medio ambiente mediante la sustitución del acero por el bambú en vigas de concreto reforzado se ve entorpecida por la utilización de la resina epóxica en el pretratamiento de las tablillas de bambú; no obstante, en este trabajo de investigación no se cuantificó de forma detallada el impacto ambiental de la fabricación de vigas de concreto reforzado con acero, bambú o ambas.

El tratamiento BTC:V:L, que fue el de mayor desempeño en cuanto a momento último para los tratamientos que tuvieron refuerzo de tablillas en bambú en las zonas a tensión y compresión, puesto que resistió 1.83 veces más que una viga de concreto simple, también presentó deformación incluso más baja que algunos tratamientos con refuerzo de acero en la zona a tensión, por ende, este tratamiento si es una opción viable puesto que tiene una resistencia a la flexión que puede llegar a ser considerable en algunos casos, presenta una falla dúctil y, además las deformaciones pueden llegar a estar por debajo de las máximas permitidas por la normatividad vigente, sobre todo cargas inferiores a la máxima resistida por este tratamiento.

Aunque mediante los datos experimentales se encontró que los tratamientos con refuerzos de bambú lisos tuvieron una mayor resistencia a la flexión, esta aseveración resulta contradictoria con algunos antecedentes que estipularon que la mayor fuerza de adherencia entre el concreto y el bambú se lograba mediante la implementación de tablillas acanaladas, no obstante, dichas investigaciones se centraban en la realización de ensayos de adherencia para concluir el mejor pretratamiento y realizar los ensayos a flexión de esa forma. En la presente investigación se realizaron ensayos a flexión en vigas de concreto reforzado con bambú teniendo en cuenta distintos pretratamientos, lo que llevó a resultados un poco más confiables. Por otra parte, también hay que tener presente que no se encontraron antecedentes de investigaciones de vigas de concreto reforzado con bambú, Especie *Guadua Angustifolia*, lo que puede variar en gran medida los resultados obtenidos en otras investigaciones ya realizadas.

Comparando la resistencia a la flexión con los costos de los materiales por tratamiento fabricado, el concreto reforzado con los dos tipos de refuerzo (bambú superior y acero inferior) por una mínima diferencia es más eficiente que el acero convencional aplicando el Sikadur 32, incluso, teniendo en cuenta que el valor de mercado de este producto es bastante alto. Tras el análisis de este producto con el costo total de los materiales, suprimiendo este valor manteniendo la resistencia a flexión pasa de un 1.7% a un 12.6% de diferencia con respecto al precio unitario del acero convencional. Sin embargo, solamente los tratamientos donde se sustituye el acero a compresión por varas de bambú se asemejan al acero convencional en relación resistencia - costo de los materiales.

5.2 Recomendaciones

Se aconseja avanzar en la investigación para encontrar un pretratamiento, ya sea en cuanto al recubrimiento o forma de las tablillas de bambú, que no incremente en gran medida los costos de la fabricación de concreto reforzado con bambú y de igual forma, dicho pretratamiento tenga un impacto ambiental mínimo.

Con el fin de poder observar la influencia del refuerzo longitudinal en el concreto y la adherencia, se recomienda realizar ensayos a flexión a especímenes de prueba con luces de mayor longitud considerando los esfuerzos internos, con el fin de garantizar una falla a flexión pura evitando posibles fallas a cortante o torsión.

Para futuras investigaciones, se sugiere variar la cuantía del refuerzo, empleando la especie *Guadua Angustifolia Kunth* y ampliar la investigación del concreto reforzado con bambú, pues tal como expresan algunos autores plasmados en los antecedentes de este estudio existe un rango de porcentaje de cuantía de refuerzo óptima, donde el concreto no actuará sobre esforzado ni con refuerzo nulo. Así mismo, se recomienda investigar acerca del bambú cuando es utilizado como refuerzo transversal (empleando estribos), con el fin de encontrar ventajas y desventajas estructurales, económicas y ambientales.

Una de las principales incógnitas del concreto reforzado con bambú es su durabilidad, por ende, se recomienda realizar investigaciones que contemple variables como la realización de ensayos a mediano o largo plazo, la exposición severa del concreto y resistencia a altas temperaturas.

La variabilidad de la resistencia a la compresión del concreto se debe a factores climáticos y de proceso constructivo, en próximas investigaciones se recomienda en lo posible realizar una sola fundición para todos los especímenes para tener mayor precisión en los resultados esperados.

Para próximas investigaciones, con el fin de estandarizar los ensayos realizados, se recomienda realizar caracterización de los refuerzos de bambú, cuantificando variables como resistencia a la tensión, compresión, humedad y todos los parámetros que se requieran.

6. Bibliografía

- Adom-Asamoah, M., Osei, J., Obeng, J., & Boasiako, E. A. (Diciembre de 2017). Bamboo-reinforced self-compacting concrete beams for sustainable construction in rural areas. *Structural concrete journal*, 18(6), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1002/suco.201600205>
- Agarwal, A., Nanda, B., & Maity, D. (4 de Septiembre de 2014). Experimental investigation on chemically treated bamboo reinforced concrete beams and columns. *Construction and Building Materials*, 71(1), Pp. 610-617. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.011>
- AIS. (2010). *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo resistente, NSR-10*. Bogotá: AIS.
- American Concrete Institute. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) [Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y en masa]*. American Concrete Institute, Department of Defense - USA. ACI. Recuperado el 30 de 01 de 2022, de https://kashanu.ac.ir/Files/aci%20211_1_91.pdf
- Awoyera, P. O., & Ugwu, E. I. (2017). Sustainability and Recycling of Bamboo for Engineering Applications. (S. Hashmi, & I. A. Choudhury, Edits.) *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 2, Pps. 337-346. Recuperado el 01 de 12 de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818103674>
- Beer, F. P., Johnston, Jr., E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2009). *Mecánica de materiales* (Quinta ed., Vol. 1). (P. E. Roig Vázquez, Ed., & J. E. Murrieta Murrieta, Trad.) México, D.F., México: McGraw Hill. Recuperado el 10 de 09 de 2021, de https://www.academia.edu/34453780/Mecanica_de_Materiales_5ta_Ed_Beer_Johnston_DeWolf_Mazurek_McGraw_Hill
- Brink, F. E., & Rush, P. J. (1966). *Bamboo reinforced concrete construction*. U.S. Naval civil engineering laboratory, Hueneme, California, Hueneme. Recuperado el 05 de 11 de 2022, de <https://nccabs.org/Docs/BAMBOO%20REINFORCED%20CONCRETE%201966.pdf>
- Brown, R. H., & McCormac, J. C. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado* (Octava Edición con el Código ACI 318-08 ed., Vol. 1). México: Alfaomega Grupo Editor. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de https://www.academia.edu/33322001/Diseno_de_Concreto_Reforzado_8a_Ed_Mc_Cormac
- CEMEX. (01 de 03 de 2022). *Ficha técnica: Cemento hidraulico uso general*. Obtenido de Cemento tipo uso general: <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757355/cemento-gris-uso-general.pdf/807460c9-4ace-e73f-a643-e62454d22887>
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2015). *Resistencia de Materiales* (1 ed., Vol. 1). Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE). Recuperado

- el 10 de 09 de 2021, de <http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>
- Ciro Velásquez, H. J., Osorio Saraz, J. A., & Vélez Restrepo, J. M. (2005). Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la Guadua Angustifolia Kunth. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), Págs. 2709-2715. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472005000100010&script=sci_abstract&tlng=en
- Consuegra, J. G. (2002). *Presupuesto de construcción* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: Bhandar editores. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- Duarte Toro, M., López Rodríguez, G. A., & Salcedo Rojas, J. L. (20 de Junio de 2021). Analysis of perpendicular compression resistance and determination of the circumferential elasticity modulus of Guadua Angustifolia Kunth from the Municipality of Pitalito. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(12), Págs. 1225-1234. Recuperado el 10 de 09 de 2021, de http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0621_8609.pdf
- FAO. (2008). *Bosques y Energía - Cuestiones clave*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de <http://www.fao.org/3/i0139s/i0139s00.htm>
- Gerdau Diaco. (2019). *Ficha técnica de producto*. Recuperado el 01 de 03 de 2022, de Barras y Rollos corrugados GG Diaco: https://www.gerdaudiaco.com/wp-content/uploads/2019/12/A_FICHA-TECNICA-BARRAS-Y-ROLLOS-CORRUGADOS.pdf
- Ghavami, K. (10 de Mayo de 1995). Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced lightweight concrete beams. *Cement and concrete composites*, 17(4), 281-288. Recuperado el 21 de Junio de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946595000188?via%3Dihub#!>
- Ghavami, K. (Julio de 2005). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and concrete composites*, 27(6), 637-649. Recuperado el 19 de Junio de 2021, de [https://www.sciencedirect-com.usco.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S0958946504001337](https://www.sciencedirect.com.usco.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S0958946504001337)
- Gómez Castro, R. C., & Acha Daza, N. V. (2010). *Tecnología del bambú* (Primer ed.). (M. Ramos Escamilla, & J. Serrudo Gonzales, Edits.) La Páz, Bolivia: ECORFAN. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=573073>
- González Salcedo, L. O. (2001). *Uso del bambú en el concreto reforzado: recopilación bibliográfica*. Palmira, Valle del Cauca, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51955>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México, D.F.: McGraw-Hill.

- Hidalgo Lopez, O. (1974). *Bambu - Su cultivo y aplicaciones*. (Primera ed., Vol. 1). Cali, Valle del Cauca, Colombia: Estudios Tecnicos Colombianos Limitada. Recuperado el 10 de 09 de 2021, de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/33244>
- ICONTEC. (2001). *Norma Técnica Colombiana 3459: Agua para la elaboración de concreto*. Bogotá: ICONTEC. Recuperado el 01 de 06 de 2022
- ICONTEC. (2018). *Norma Técnica Colombiana 174: Especificaciones de los agregados para concreto*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2018). *Norma Técnica Colombiana 2871: Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2018). *Norma Técnica Colombiana 32: Tejido de alambre y tamices para propósitos de ensayo*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2018). *Norma Técnica Colombiana 77: Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 11 de 02 de 2022
- ICONTEC. (2019). *Norma Técnica Colombiana 129: Práctica para la toma de muestras de agregados*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2019). *Norma Técnica Colombiana 176: Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado grueso*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2019). *Norma Técnica Colombiana 1776: Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2019). *Norma Técnica Colombiana 4045: Agregados livianos para concreto estructural*. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC. (2019). *Norma Técnica Colombiana 92: Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2020). *Norma Técnica Colombiana 2289: Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto*. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC. (2020). *Norma Técnica Colombiana 237: Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- ICONTEC. (2021). *Norma Técnica Colombiana 1377: Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 06 de 2022
- ICONTEC. (2021). *Norma Técnica Colombiana 396: Concretos. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. Bogota D.C: ICONTEC. Recuperado el 01 de 06 de 2022
- ICONTEC. (2021). *Norma Técnica Colombiana 673: Concretos. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogotá D.C. Recuperado el 01 de 06 de 2022

- ICONTEC. (2022). *Norma Técnica Colombiana 3674: Práctica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados*. Bogotá D.C.: ICONTEC. Recuperado el 01 de 03 de 2022
- Janssen, J. J. (1981). *Bamboo in building structures*. PhD thesis, Eindhoven University of Technology, North Brabant province, Eindhoven. doi:10.6100/IR11834
- Javadian, A., Wielopolski, M., Smith, I. F., & Hebel, D. E. (30 de Septiembre de 2016). Bond-behavior study of newly developed bamboo-composite reinforcement in concrete. *Construction and building materials*, 122(1), 110-117. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.084
- Khare, L. (2005). *Performance evaluation of bamboo reinforced concrete beams*. University of Texas at Arlington. Arlington, Texas: University of Texas at Arlington. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de <http://hdl.handle.net/10106/210>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (Primera ed.). Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association. Recuperado el 01 de 06 de 2022
- Kumar, P., Gautam, P., Kaur, S., Chaudhary, M., Afreen, A., & Mehta, T. (21 de Abril de 2021). Bamboo as reinforcement in structural concrete. *Materials today: proceedings*, In press. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.342
- Lal Banik, R., Liese, W., & Köhl, M. (2015). *Bamboo - the plant and its uses - Chapter 3* (Vol. 1). (W. Liese, & M. Köhl, Edits.) New Delhi, India: Springer International. doi:DOI 10.1007/978-3-319-14133-6
- Lima, H. C., Willrich, F. L., Barbosa, N. P., Rosa, M. A., & Cunha, B. S. (Junio de 2008). Durability analysis of bamboo as concrete reinforcement. *Materials and Structures*, 41(5), 981-989. doi:10.1617/s11527-007-9299-9
- Mali, P. R., & Datta, D. (Marzo de 2020). Experimental evaluation of bamboo reinforced concrete beams. *Journal of Building Engineering*, 28(1), Art. 101071 with 11 pages. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101071
- Mishra, M., Kumar, M. K., & Maity, D. (Diciembre de 2019). Experimental evaluation of the behaviour of bamboo-reinforced beam-column joints. *Innovative Infrastructure Solutions*, 4(1), Art. 47 with 13 pages. doi:https://doi.org/10.1007/s41062-019-0237-9
- Nilson, A. H., & Darwin, D. (1999). *Diseño de estructuras de concreto* (Duodécima ed., Vol. 1). (E. Ariza H., Ed.) Santafé de Bogotá, Cundinamarca, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, Inc. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de <https://es.slideshare.net/jasonlamarc3008/32988036-nilsondisenodeestructurasdeconcreto-1>
- Ortiz Berrocal, L. (2007). *Resistencia de materiales* (3 ed., Vol. 1). (C. Sánchez González, Ed.) Madrid, España: McGraw Hill. Recuperado el 10 de 09 de 2021, de https://www.academia.edu/40898660/Resistencia_de_materiales_Resistencia_de_materiales

- Park, R., & Paulay, T. (1988). *Estructuras de Concreto Reforzado* (Vol. 1). (N. Editores, Ed.) México. D.F: Limusa. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de https://www.academia.edu/38337323/Estructuras_de_concreto_reforzado_r_park_t_paulay
- Petrecca, G. (2014). *Energy Conversion and Management* (Vol. 1). Pavia, Italy: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-06560-1_3
- Kaiser, S., Hameed, A., Alyousef, R., Aslam, F., & Alabduljabbar, H. (15 de Febrero de 2020). Flexural strength improvement in bamboo reinforced concrete beams subjected to pure bending. *Journal of Building Engineering*, 31(1), Pp. 1-11. Recuperado el 23 de Agosto de 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101289>
- Quintero-Dávila, M., Neves Monteiro, S., & A Colorado, H. (02 de Agosto de 2018). Composites of Portland cement and fibers of *Guadua Angustifolia* Kunth. *Journal of Composite Materials*, 53(7), Págs. 883-892. doi:<https://doi.org/10.1177/0021998318792297>
- Rahman, M. M., Hasan, M. T., Hasan, M. K., Hossain, M. A., & Rashid, M. H. (Agosto de 2011). Performance evaluation of bamboo reinforced concrete beam. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 11(4), 113-118. Recuperado el 24 de Junio de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/285022767_Performance_evaluation_of_bamboo_reinforced_concrete_beam
- Rodríguez Hernández, R. (2017). *El bambú como refuerzo en materiales compuestos para la construcción*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Recuperado el 23 de Agosto de 2021, de <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/8894>
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. (B. editores., Ed.) Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Bhandar editores. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Sapuyes, E., Osorio, J., Takeushi, C., Duarte, M., & Erazo, W. (20 de 06 de 2018). Resistencia y elasticidad a la flexión de la *guadua angustifolia* Kunth de Pitalito, Huila. *Revista de investigación*, 11(1), Págs. 97-111. doi:<https://doi.org/10.29097/2011-639X.182>
- Schneider, N. (2014). *Application of bamboo for flexural and shear reinforcement in concrete beams*. Clemson University, South Carolina. Clemson: All theses. Recuperado el 25 de Junio de 2021, de https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/1907/
- Takeushi Tam, C. P., & González, C. E. (2007). Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua Angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. *Ingeniería y universidad*, 11(1), Págs. 89-104. Recuperado el 04 de 09 de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2343080>
- Titilayo Akinlabi, E., Anane-Fenin, K., & Akwada, D. R. (2017). *Bamboo - the multipurpose plant*. Johannesburg, Sudafrica : Springer International. doi:DOI 10.1007/978-3-319-56808-9
- Yamaguchi, M., Murakami, K., & Takeda, K. (2013). Flexural performance of bamboo-reinforced-concrete beams using bamboo as main rebars and stirrups. *Third international conference on sustainable construction materials and technologies*, (pág. 7 Págs.). Kyoto-Japan. Recuperado el 2021 de Junio de 24, de <http://www.claisse.info/2013%20papers/data/e273.pdf>

Anexo A. Diseño de mezcla por el método ACI 211.1 – Volumen absoluto:

A continuación, se desglosa todo el procedimiento del diseño de mezcla de la Figura 4-5.

- **Selección del asentamiento.**

En esta sección se toma en cuenta la Tabla A-1 y la Tabla A-2 referente a asentamientos (también dicho revenimiento) recomendados por los autores y se realiza un análisis del proceso constructivo para determinar el asentamiento de diseño en la Tabla A-3.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0 – 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20 – 35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35 – 50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas, con vibración.
Media	50 – 100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas.	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración.
Húmeda	100 – 150	Elementos estructurales esbeltos.	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración.
Muy Húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos “in situ”	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración. (Normalmente no adecuados para vibrarse).

Tabla A- 1: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación propuesto por Sánchez de Guzmán (2001).

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (plg)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatatas y muros de cimentación reforzado.	75 (3)	25 (1)
Zapatatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo.	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados.	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios.	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas.	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo.	75 (3)	25 (1)

Tabla A- 2: Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción adaptado de la ACI 211.1 por Kosmatka, Kerkhoff y otros (2004).

Criterio	Condición	Consistencia	Asentamiento (mm)
Elemento	vigas	Media	75
Transporte	Carretilla	Media	75
Colocado	manual	Media	75
Compactado	Varillado	Húmeda	125
Densidad Refuerzo	Alta (bambú)	Húmeda	125
Clima	Neiva (Alto)	Húmeda	125
Asentamiento promedio (mm)			100

Tabla A- 3: Análisis del proceso constructivo para determinar asentamiento idóneo.

Sin embargo, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanesi (2004) del PCA (Portland Cement Association) expresan que generalmente, se indica el revenimiento en la especificación de la obra como un rango o como un valor máximo que no se debe exceder. Dado que el asentamiento esta entre una consistencia media a húmeda, se encuentra en un rango entre 50 mm a 150 mm, pero no debe exceder los 150 mm de asentamiento.

- **Selección del tamaño máximo del agregado.**

La Tabla A-4 resume la información necesaria para este paso, se debe tener en cuenta la Tabla A-5 para la selección del tamaño máximo del agregado y se verifica que el tamaño máximo cumpla con los requerimientos. Así mismo, en **la Tabla A-6 se** verifica el cumplimiento del tamaño máximo nominal del agregado grueso con el apartado C.3.3.2 de la Norma Sismorresistente NSR 10 Titulo C (AIS, 2010).

Datos iniciales para selección del tamaño máximo del agregado	
Dimensión mínima de la sección (cm)	15
Elemento de construcción	Viga
Tamaño máximo en plg (mm)	$\frac{3}{4}$ " (19 mm)
Tamaño máximo nominal en plg (mm)	$\frac{1}{2}$ " (12.5 mm)
Espaciamiento entre barras paralelas bambú (mm)	25
Recubrimiento del elemento estructural (mm)	25

Tabla A- 4: Datos iniciales para selección del tamaño máximo y máximo nominal del agregado.

Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en plg. (mm)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 – 15	½" (12) – ¾" (19)	¾"(19)	¾"(19) - 1"(25)	¾"(19) – 1¼"(38)
19 – 29	¾"(19) – 1 ½" (38)	1 ½" (38)	1 ½" (38)	1 ½"(38) – 3"(76)
30 – 74	1 ½"(38) – 3"(76)	3"(76)	1½"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 ½"(38) – 3"(76)	6"(152)	1½"(38) - 3"(76)	3"(76) – 6" (152)

Tabla A- 5: Tamaños máximos de agregados según tipo de construcción propuesto por Sánchez de Guzmán (2001).

Verificación del tamaño máximo nominal según apartado C.3.3.2.			
Tamaño máximo nominal no puede ser mayor a:			
1. 1/5 de la dimensión mínima del elemento. (mm)			
30	>	12.5000	Cumple
2. 3/4 del espaciamiento libre entre barras. (mm)			
18.75	>	12.5000	Cumple
3. 1/3 de la altura de la losa. (mm)			
50	>	12.5000	Cumple

Tabla A- 6: Verificación del cumplimiento del tamaño máximo nominal del agregado según la NSR 10 Titulo C (AIS, 2010).

- **Estimación del contenido de aire.**

El contenido de aire se estima considerando la **Tabla A-7** y la **Figura A-1** coincidiendo en un valor porcentual de 2.5 naturalmente atrapado con un TMN de 0.5 plg (12.5 mm).

Tamaño Máximo nominal del agregado		Contenido de aire en porcentaje (por volumen) *			
mm	plg.	Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9.51	3/8	3.0	4.5	6.0	7.5
12.7	½	2.5	4.0	5.5	7.0
19	¾	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	1 ½	1.0	2.5	4.5	5.5
50.8	2	0.5	2.0	4.0	5.0
76.1	3	0.3	1.5	3.5	4.5
152	6	0.2	1.0	3.0	4.0

Tabla A- 7: Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregados propuesto por Sánchez de Guzmán (2001).

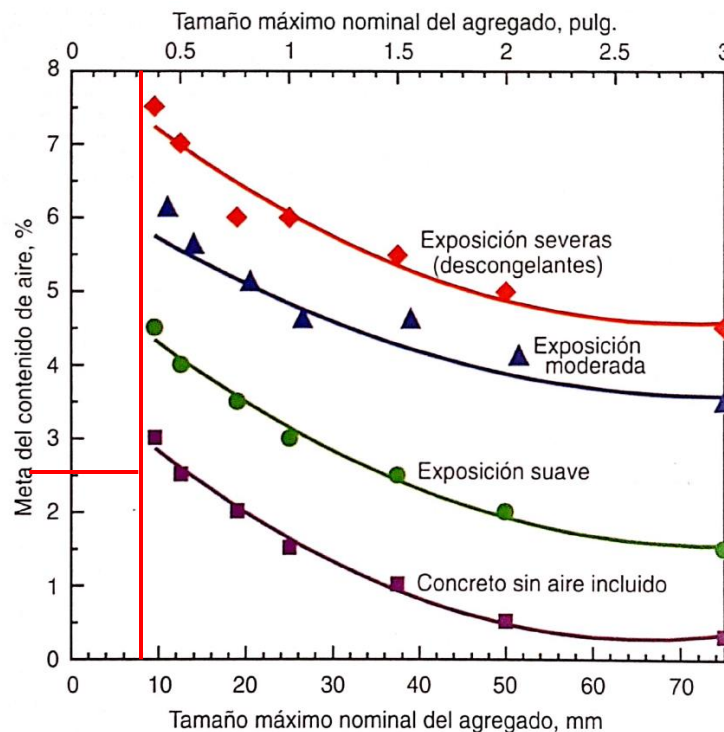


Figura A- 1: Requisitos de contenido total de aire para concretos con diferentes tamaños de agregados adaptado de la ACI 211.1 y Hover por por Kosmatka, Kerkhoff y otros (2004).

▪ **Estimación del contenido de agua de mezclado.**

El agregado grueso (grava) a utilizar contiene partículas de forma angular y textura rugosa provenientes de una trituradora, el concreto no tiene aire incluido y el tamaño máximo del agregado es de 3/4" (19 mm).

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (plg.)							
		9.51 3/8"	12.7 1/2"	19.0 3/4"	25.4 1"	38.1 1 1/2"	50.8 2"	64.0 2 1/2"	76.1 3"
mm	plg	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Tabla A- 8: Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido tomado de Sánchez de Guzmán (2001).

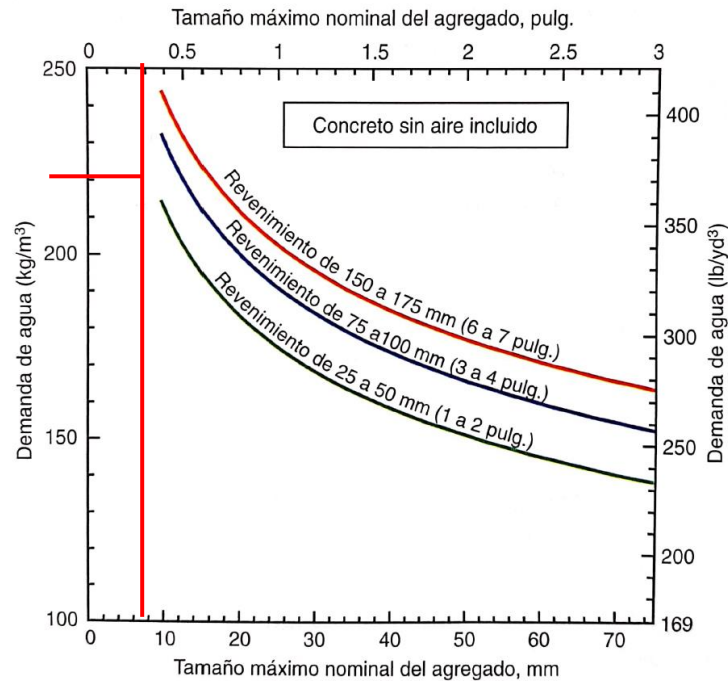


Figura A- 2: Demanda de agua aproximada para varios revestimientos y tamaños de agregados triturados para concreto sin aire incluido adaptado de la tabla 9-5 de ACI 211.1 por Kosmatka, Kerkhoff y otros (2004).

Dicho lo anterior, en la Tabla A-8 proporcionado por Sanchez de Guzman (2001) determina el requerimiento aproximado de agua de mezclado igual a 207 Kg/m³, sin embargo, (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004) en la Figura A-2 recomienda agua de mezclado aproximado de 220 Kg/m³ optando por la primer estimación con el fin de considerar la forma de las partículas en el diseño.

- **Determinación de la resistencia de diseño.**

Brown & McCormac (2011) en su libro “Diseño de concreto Reforzado” afirman para aplicaciones comunes se usan concretos de 3000 a 4000 PSI (lb/plg²). En Colombia, la norma sismorresistente NSR-10 (AIS, 2010) en el apartado C.1.1 expresa que para concreto estructural el F’c no debe ser menor de 17 MPa, sin embargo, en construcción de viviendas unifamiliares de uno y dos niveles es popular el F’c = 3000 Psi.

Utilizando un F’c = 3000 Psi = 20.68 MPa ≈ 21 MPa = 210.92 Kg/cm² ≈ 211 Kg/cm² se utilizan la Tabla A-9 cuando no hay registros de pruebas de resistencia en donde se usaron materiales que serán empleadas.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$F'c < 21$	$F'cr = F'c + 7.0$
$21 \leq F'c \leq 35$	$F'cr = F'c + 8.3$
$F'c > 35$	$F'cr = 1.10 * F'c + 5.0$

(a)

Resistencia especificada a la compresión, Kg/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión, Kg/cm ²
$F'c < 210$	$F'cr = F'c + 70$
$210 \leq F'c \leq 350$	$F'cr = F'c + 85$
$F'c > 350$	$F'cr = F'c + 100$

(b)

Resistencia especificada a la compresión, lb/plg ²	Resistencia promedio requerida a la compresión, lb/plg ²
$F'c < 3000$	$F'cr = F'c + 1000$
$3000 \leq F'c \leq 5000$	$F'cr = F'c + 1200$
$F'c > 5000$	$F'cr = 1.1 * F'c + 700$

(c)

Tabla A- 9: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay Datos disponibles para establecer la desviación estándar **(a)** en MPa (NSR 10 – Sección C.5.3.2.2), **(b)** en Kg/cm³ proporcionado por Sánchez de Guzmán de ACI 318 (2001) y **(c)** en Psi (lb/plg²) proporcionado por Kosmatka, Kerkhoff y otros de ACI 318 (2004).

Dadas las ecuaciones de $F'cr$ para el cálculo de diseño de mezcla, se determina el valor en cada sistema de unidad en la Tabla A-10.

Sistema Métrico	MPa	Kg/cm ²	Psi
$F'c$	21	211	3000
$F'cr$	29.3	296	4200

Tabla A- 10: Cálculo de $F'cr$ por sistema de unidades.

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

Teniendo en cuenta un $F'cr = 296 \text{ Kg/cm}^2$, la Tabla A-11 da valores de relación agua-cemento en peso para cementos colombianos Portland Tipo 1: uso general sin aire incluido.

Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.70	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
296 (Interpolación)	0.57	0.46	0.44
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Tabla A- 11: Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación agua-cemento para los cementos colombianos proporcionado por Sánchez de Guzmán (2001).

Sin embargo, se tiene otras consideraciones como la exposición al agua dulce, protección contra el congelamiento y deshielo y exposición a sulfatos en la Tabla A-12.

Tomando en cuenta las condiciones de exposición se aproxima la relación agua-cemento de 0.46 a $A/C = 0.45$ con el fin de garantizar protección al refuerzo en bambú.

Requisitos de relación A/C para concretos		
Máxima relación Agua - Cemento para condiciones de humedecimiento - secado		
Expuesto a agua dulce	0.5	Cumple
Expuesto a agua salina o de mar	0.45	Cumple
Máxima relación Agua - Cemento para exposición a congelamiento - deshielo		
Sección delgado y recubrimiento menor	0.45	Cumple
Todas las demás estructuras	0.5	Cumple
Máxima relación Agua - Cemento para exposición a sulfatos		
Exposición moderada	0.5	Cumple
Exposición severa	0.45	Cumple

Tabla A- 12: Relación agua-material cementante máxima para varias condiciones de exposición tomado de Kosmatka, Kerkhoff y otros (2004).

▪ **Cálculo del contenido de cemento.**

El contenido se determina con la Ecuación A.1, se calcula el valor requerido en la Ecuación A.2 para un metro cúbico de concreto.

$$C = \frac{A}{(A/C)} \quad \text{(Ecuación A.1)}$$

Donde:

- C = contenido de cemento, en Kg/m^3 .
- A = Requerimiento de agua de mezclado, en Kg/m^3 .
- A/C = Relación agua-cemento, por peso.

$$C = \frac{207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.45} \rightarrow C = 460 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{(Ecuación A.2)}$$

▪ **Estimación de las proporciones de agregados.**

Se plantea dos métodos descritos por Sánchez de Guzmán (2001):

▪ **Método A.C.I 211.1**

En la Tabla A-13 y la Tabla A-14 se presenta los valores de b/b_0 para diferentes módulos de finura de la arena con el fin de estimar el porcentaje de agregado grueso en un metro cubico de volumen de concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Volumen del agregado grueso seco y apisonado por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena											
	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1
9.5	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39
12.5	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48
19.0	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
25.0	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63
38.0	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69
50.0	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
75.0	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77
150.0	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83

Tabla A- 13: Valores de b/b_0 para diferentes módulos de finura de la arena propuesto por Sánchez de Guzmán primera edición (1995).

Tamaño máximo nominal del agregado mm (plg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

*Los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.

Tabla A- 14: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto adaptado del ACI 211 propuesto por Kosmatka, Kerkhoff y otros (2004).

- **Método gráfico – porcentaje óptimo de agregados.**

En la Figura A-3 se encuentra el método gráfico, de esta forma tiene en cuenta todo el agregado del concreto desde las partículas más finas de la arena hasta las partículas más grandes del agregado grueso, ya que según Sánchez de Guzmán (2001) expresa que en Colombia es frecuente que ni la arena ni el agregado grueso cumplan con las especificaciones granulométricas de la norma NTC 174 (Agregados no controlados o desconocidos).

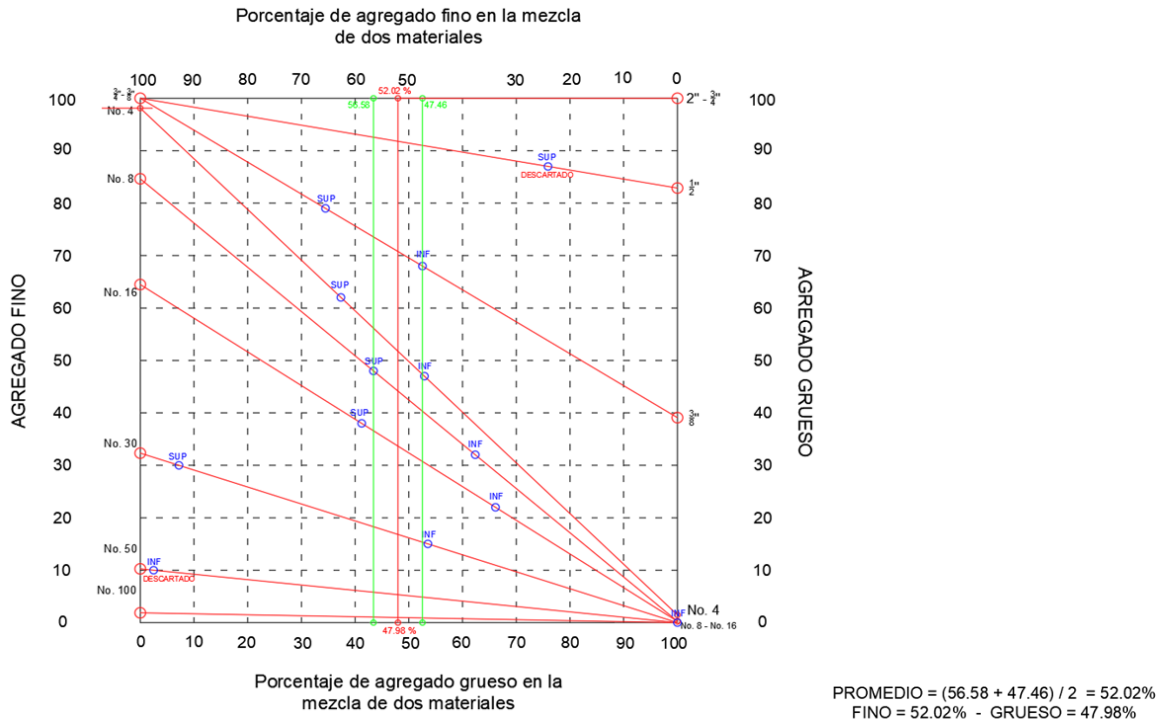


Figura A- 3: Procedimiento grafico para encontrar las proporciones en que deben mezclarse los agregados, eje de las ordenadas es el porcentaje que pasa de los agregados finos y gruesos, eje de las abscisas es el porcentaje de agregado para mezcla propuesto por Fuller & Thompson y adaptado por Sánchez de Guzmán (2001).

- Resumen de métodos y criterio.

En la Tabla A-15 se ilustra las proporciones de los dos métodos, ya que el agregado grueso no alcanza a cumplir el rango de porcentaje de dos tamices (1/2” por 8% y 3/8” por 1% fuera del rango) se opta por elegir el A.C.I 211 propuesto por Sánchez de Guzmán en su segunda edición que concuerda con el método gráfico.

Método	Valor Ag. grueso
A.C.I 211 – Sánchez de Guzmán	0.482*
A.C.I 211 - Kosmatka, Kerkhoff y otros.	0.522*
Gráfico - Fuller & Thompson	0.48

*Valor por interpolación lineal.

Tabla A- 15: Resumen de métodos de proporción del agregado grueso.

Se procede a realizar los cálculos plasmados en la Tabla A-16 con el fin de encontrar las proporciones de los materiales para un metro cubico de concreto registrado en la Tabla A-17.

Cálculo de proporción de agregado grueso por m ³			
b/b ₀ (Ag. Grueso por volumen unitario de concreto)	0.482		
Peso seco agregado grueso (Pg)	Volumen absoluto ag. Grueso (Vg)		
$P_g = \left(\frac{b}{b_0}\right) * Masa\ unit.\ compactada$	$V_g = \frac{P_g}{D_a\ (aparente\ seca)}$		
Pg (Kg/m ³)	740.481	Vg (L/m ³)	280.021

Tabla A- 16: Cálculo de la proporción del agregado grueso para un metro cubico de concreto.

Cantidades de materiales por m ³ de concreto			
Material	Peso seco (kg)	Densidad (g/cc)	Volumen (Pg/Da) lit.
Cemento	460	3.1	148.387
Ag. Fino	874.929	2.58	339.592
Ag. Grueso	740.481	2.64	280.021
Agua	207	1	207
Aire (%)	0	0	25
Total	2282.410	--	1000

Tabla A- 17: Cantidades de materiales para un metro cubico de concreto.

▪ **Ajuste por humedad de los agregados.**

En la Tabla A-18 se ilustra el ajuste por humedad de la primera fundición con el fin de explicar el cálculo realizado siguiendo las instrucciones de Sánchez de Guzmán (2001) basado en el método ACI 211. En la Tabla A-19 se resume los resultados de las diez fundiciones ejecutadas.

Paso 9. Ajuste por humedad de los agregados			
Humedad del agregado fino (%)		2.27%	
Humedad del agregado grueso (%)		0.55%	
Absorción del agregado fino (%)		1.72%	
Absorción del agregado grueso (%)		1.36%	
Ajuste agregado grueso (Ph)		Ajuste agregado fino (Ph)	
$P_h = P_s * (1 + H)$		$P_h = P_s * (1 + H)$	
Ph (Kg/m ³)	744.579	Ph (Kg/m ³)	894.782
Cant. Agua agregado grueso (Ag)		Cant. Agua agregado fino (Af)	
$A = -P_s * (H - a)$		$A = -P_s * (H - a)$	
Ag (Kg = L)	5.982	Af (Kg = L)	-4.776

(a)

Requerimiento de agua (Ra)		
$A_t = A_{grueso} + A_{fino}$	1.206	Litros
Ra	208.206	Litros

(b)

Tabla A- 18: (a) Ajuste por humedad de la primera fundición y (b) requerimiento de agua.

Resultados ajuste por humedad - fundiciones realizadas.						
Fundición	Ph (Kg/m ³) Grueso	Ph (Kg/m ³) Fino	Ag (Kg = L) Grueso	Ag (Kg = L) Fino	At (L)	Ra (L)
1	744.579	894.782	5.982	-4.776	1.206	208.206
2	744.103	890.393	6.457	-0.387	6.070	213.070
3	744.772	900.660	5.789	-10.654	-4.866	202.134
4	746.653	913.692	3.908	-23.686	-19.779	187.221
5	744.628	898.606	5.933	-8.600	-2.667	204.333
6	745.348	901.688	5.213	-11.682	-6.470	200.530
7	745.733	903.161	4.828	-13.155	-8.328	198.672
8	743.820	890.720	6.741	-0.714	6.027	213.027
9	744.010	893.887	6.550	-3.881	2.670	209.670
10	744.177	895.126	6.383	-5.120	1.263	208.263

Tabla A- 19: Resultados de las diez fundiciones ejecutadas.

▪ **Ajustes a las mezclas de prueba.**

La Tabla A-20 especifica la proporción de los ingredientes por metro cubico de concreto ajustado con la humedad de los agregados y en la Tabla A-21 se presentan las cantidades y la proporción utilizada en cada fundición.

Cantidades finales de materiales por m ³ de concreto			
Material	Peso seco (kg)	Peso humedo (kg)	Proporción
Cemento	460	460	1
Ag. Fino	874.929	894.782	1.95
Ag. Grueso	740.481	744.579	1.62
Agua	207	208.206	0.45
Total	2282.410	2307.567	--

Tabla A- 20: Peso seco registrado en el paso 8, peso ajustado por humedad (húmedo) y proporción de la primera fundición.

Cantidades finales de materiales por m ³ de concreto								
Fundición	Peso húmedo (Kg)				Proporción			
	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
1	460	894.782	744.579	208.206	1	1.95	1.62	0.45
2	460	890.393	744.103	213.070	1	1.94	1.62	0.46
3	460	900.660	744.772	202.134	1	1.96	1.62	0.44
4	460	913.692	746.653	187.221	1	1.99	1.62	0.41
5	460	898.606	744.628	204.333	1	1.95	1.62	0.44
6	460	901.688	745.348	200.530	1	1.96	1.62	0.44
7	460	903.161	745.733	198.672	1	1.96	1.62	0.43
8	460	890.720	743.820	213.027	1	1.94	1.62	0.46
9	460	893.887	744.010	209.670	1	1.94	1.62	0.46
10	460	895.126	744.177	208.263	1	1.95	1.62	0.45

Tabla A- 21: Pesos finales por metro cubico de concreto y proporciones manejadas en campo de las diez fundiciones.

Con el fin de corroborar el diseño de mezcla se tomaron 10 cilindros de prueba de 100 x 200 mm, uno en cada proceso de fundición llegando a los resultados proporcionados por la Tabla A-22.

LISTA DE CILINDROS TESTIGOS				
FECHA	FUNDICIÓN	T - CURADO	CARGA (kN)	F'c (MPa)
13-jul	1	10-ago	243.55	31.01
13-jul	2	10-ago	250.74	31.92
15-jul	3	12-ago	254.75	32.44
20-jul	4	17-ago	238.59	30.38
26-jul	5	23-ago	246.28	31.36
2-ago	6	30-ago	251.56	32.03
4-ago	7	1-sep	234.59	29.87
6-ago	8	3-sep	247.79	31.55
9-ago	9	6-sep	273.08	34.77
11-ago	10	8-sep	252.66	32.17

Tabla A- 22: Lista de cilindros testigos de las fundiciones ejecutadas.

Según los datos estipulados en la Tabla A-22, el promedio de la resistencia a la compresión $F'c$ es de 31.75 MPa con una desviación estándar de 1.33 MPa.

La Tabla A-23 expresa densidades de cemento recomendadas por dos autores para la elaboración del diseño de mezclas.

Autor	Densidad del cemento Portland (g/cm^3)
(Sanchez de Guzman, 2001)	3.1 a 3.15
(Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)	3.1 a 3.25
Valor asumido	3.1

Tabla A- 23: Valores de densidad para cemento Portland por autores y asumido.

Anexo B. Caracterización de los materiales

- **Análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos tamiz de agregados finos y gruesos– NTC 77**

Para determinar la información requerida de los agregados gruesos y finos, se ejecutó los siguientes métodos de ensayos teniendo en cuenta la normativa vigente: A continuación, en la Tabla B-1 y la Tabla B-2 se presenta la distribución de los tamaños de las partículas y se compara con los requisitos que estipula la NTC 174 (ICONTEC, 2018)(Especificaciones de los agregados para concreto).

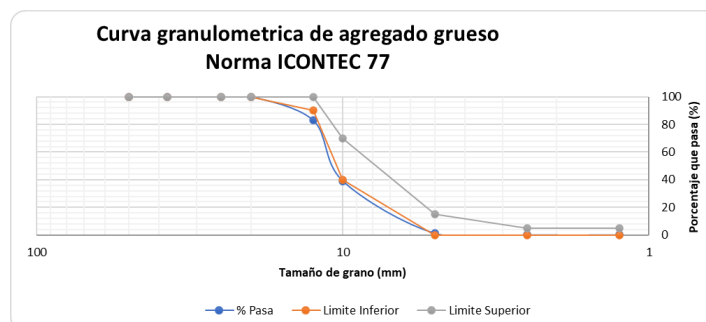
Determinación de la granulometría de agregado grueso						
Abertura (mm)	Tamiz (plg)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa	% Pasa Icontec 174
50	2	0	0	0	100	100
37.5	1 1/2	0	0	0	100	100
25	1	0	0	0	100	100
20	3/4	0	0	0	100	100
12.5	1/2	512.57	17.12	17.12	82.88	90 a 100
10	3/8	1310.52	43.78	60.91	39.09	40 a 70
5	No. 4	1126.05	37.62	98.52	1.48	0 a 15
2.5	No. 8	36.36	1.21	99.74	0.26	0 a 5
1.25	No. 16	0.28	0.01	99.75	0.25	0 a 5
FONDO		7.52	0.25	100	0	0
Peso total: (g)		2993.3	100	--	--	--
Muestra inicial: (g)		3000.1		Tamaño máximo:		3/4
% Error < 0.3 / Limite NTC 77		0.23%	Aceptable	Tamaño máximo nominal:		1/2

Tabla B- 1: Análisis granulométrico del agregado grueso.

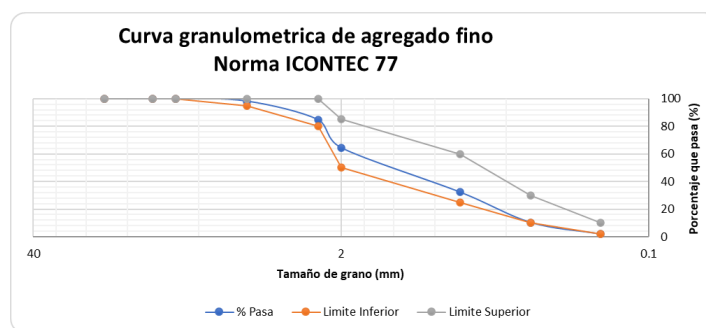
Determinación de la granulometría de agregado fino						
Abertura (mm)	Tamiz (plg)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa	% Pasa Icontec 174
20	3/4	0	0	0	100	100
12.5	1/2	0	0	0	100	100
10	3/8	0	0	0	100	100
5	No. 4	53	1.88	1.88	98.12	95 a 100
2.5	No. 8	380	13.48	15.37	84.63	80 a 100
2	No. 16	568	20.16	35.52	64.48	50 a 85
0.63	No. 30	906	32.15	67.67	32.33	25 a 60
0.315	No. 50	622	22.07	89.74	10.26	10 a 30
0.16	No. 100	236	8.37	98.12	1.88	2 a 10
FONDO		82.6	53	1.88	100	0
PESO TOTAL: (g)		2232.4	2818	100	--	--
MUESTRA INICIAL: (g)		2233.5		MODULO DE FINURA:		3.08
% Error < 0.3 / Limite NTC 77		0.049%	ACEPTABLE			

Tabla B- 2: Análisis granulométrico del agregado fino.

En la Gráfica B-1 y Gráfica B-2 se presenta las curvas granulométricas de los agregados con la finalidad de ilustrar la distribución de los tamaños de las partículas con los requisitos de gradación que especifica la NTC 174 (ICONTEC, 2018).



Gráfica B- 1: Curva granulométrica del agregado grueso.



Gráfica B- 2: Curva granulométrica del agregado fino.

- **Ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados - NTC 1776.**

En esta investigación se realizaron un total de diez fundiciones, en el cual se realizó la corrección por humedad en cada bachada o amasada de concreto, en la Tabla B-3 se ilustra la muestra mínima requerida.

Tipo de agregado	Tamaño de muestra mínimo (g)
Grueso (TMN = 12.5mm)	2000
Fino (TMN = 2.5 mm)	500 a 250

Tabla B- 3: Tamaños mínimos de muestra para ensayo de gradación.

En la Tablas B-4 y Tabla B-5 se puede apreciar el contenido de humedad de los agregados en cada actividad de fundición, se realizó ajuste por humedad en el diseño de mezcla.

Contenido total de humedad - agregado fino			
Fundición	Peso seco ambiente "W" (g)	Peso seco Horno "D" (g)	Humedad (%)
1	513.8	502.4	2.27%
2	510.13	501.27	1.77%
3	516.28	501.53	2.94%
4	502.06	480.76	4.43%
5	500.97	487.77	2.71%
6	507.46	492.4	3.06%
7	512.16	496.15	3.23%
8	511.6	502.53	1.80%
9	509.7	498.89	2.17%
10	514.98	503.36	2.31%

Tabla B- 4: Contenido total de humedad por cada fundición para corrección por humedad en diseño de mezcla – agregado fino.

Contenido total de humedad - agregado grueso			
Muestra	Peso seco ambiente "W" (g)	Peso seco Horno "D" (g)	Humedad (%)
1	2193.5	2181.43	0.55%
2	2097.56	2087.35	0.49%
3	2011.73	2000.14	0.58%
4	2000.97	1984.43	0.83%
5	2110.15	2098.4	0.56%
6	2078.27	2064.7	0.66%
7	2034.87	2020.54	0.71%
8	2005.3	1996.3	0.45%
9	2150.5	2140.3	0.48%
10	2100.1	2089.67	0.50%

Tabla B- 5: Contenido total de humedad por cada fundición para corrección por humedad en diseño de mezcla – agregado grueso.

- **Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados – NTC 92.**

Se realiza el procedimiento estipulado en la NTC 92 (ICONTEC, 2019) y se presentan los resultados en las Tablas B-6 y B-7 para agregado fino, las Tablas B-8 y B-9 para agregado grueso.

Masa unitaria suelta agregado fino				
Muestra	Peso muestra + recipiente	Peso muestra	Volumen del recipiente	Peso Unitario (2/3)
1	7.294	2.082	0.0013	1577.529
2	7.303	2.091	0.0013	1584.729
3	7.303	2.091	0.0013	1584.729
Promedio	7.300	2.088	P.U (kg/m ³)	1582.329

Tabla B- 6: Masa unitaria suelta del agregado fino.

Masa unitaria compactado agregado fino				
Muestra	Peso muestra + recipiente	Peso muestra	Volumen del recipiente	Peso Unitario (2/3)
1	7.465	2.253	0.0013	1707.505
2	7.403	2.191	0.0013	1660.517
3	7.404	2.192	0.0013	1661.274
Promedio	7.424	2.212	P.U (kg/m ³)	1676.432

Tabla B- 7: Masa unitaria compactada del agregado fino.

Masa unitaria suelta agregado grueso				
Muestra	Peso muestra + recipiente	Peso muestra	Volumen del recipiente	Peso Unitario (2/3)
1	14.545	5.726	0.0041	1408.581
2	14.518	5.699	0.0041	1401.939
3	14.503	5.684	0.0041	1398.249
Promedio	14.522	5.703	P.U (kg/m ³)	1402.923

Tabla B- 8: Masa unitaria suelta del agregado grueso.

Masa unitaria compactado agregado grueso				
Muestra	Peso muestra + recipiente	Peso muestra	Volumen del recipiente	Peso Unitario (2/3)
1	15.102	6.283	0.0041	1545.601
2	15.020	6.201	0.0041	1525.429
3	15.082	6.263	0.0041	1540.681
Promedio	15.068	6.249	P.U (kg/m ³)	1537.237

Tabla B- 9: Masa unitaria compactada del agregado grueso.

La Tabla B-10 presenta los resultados en resumen producto de la masa unitaria de los agregados.

Cuadro resumen - Masa unitaria - NTC 92				
Agregado	Masa unitaria suelta (kg/m ³)	Masa unitaria suelta (g/cm ³)	Masa unitaria compactada (kg/m ³)	Masa unitaria compactada (g/cm ³)
Fino	1582.329	1.582	1676.432	1.676
Grueso	1402.923	1.403	1537.237	1.537

Tabla B- 10: Resultados masa unitaria de los agregados.

- **Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado grueso – NTC 176.**

La densidad y absorción del agregado grueso se determina por medio de la Norma Técnica Colombiana 176 (ICONTEC, 2019), la masa mínima de la muestra utilizada en el ensayo se contempla en la Tabla B-11.

Tipo de agregado	Tamaño de muestra mínimo (g)
Grueso (TMN = ½")	2000

Tabla B- 11: Tamaño mínimo de muestra para ensayo de densidad y absorción.

El cálculo del procedimiento se resume en la Tabla B-12, especificando la fórmula establecida en la NTC 176 (ICONTEC, 2019) con su respectiva respuesta.

Calculo de densidad y absorción del agregado grueso		Datos iniciales (a)	
		B (g)	2610
		C (g)	1623
A (g)	2574.95		
Densidad Aparente (Dap.) (b)		Densidad Nominal (d)	
$D_{aparente} = \frac{A}{[B - C]}$		$D = \frac{A}{[A - C]}$	
D aparente (g/cm³)	2.61	D Nominal (g/cm³)	2.70
Densidad Aparente (Saturada y seca) (c)		Absorción (%) (e)	
$D_{SSS} = \frac{B}{[B - C]}$		$A (\%) = \left(\frac{[B-A]}{A}\right) * 100$	
D aparente (g/cm³)	2.64	Abs (%)	1.36%

Tabla B- 12: Calculo de densidad y absorción del agregado grueso (a) Datos iniciales, (b) cálculo de densidad aparente, (c) cálculo de densidad aparente saturada y seca), (d) cálculo de densidad nominal y (e) absorción.

- **Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado fino – NTC 237.**

La densidad y absorción del agregado fino se determina por medio de la Norma Técnica Colombiana 237 (ICONTEC, 2020), la masa mínima de la muestra utilizada en el ensayo se contempla en la Tabla B-13.

Muestra	Tamaño de muestra mínimo (g)
NTC 129	1000
NTC 3674 (Cuarteo)	500

Tabla B- 13: Tamaño mínimo de muestra para ensayo de densidad y absorción.

El cálculo del procedimiento se resume en la Tabla B-14, especificando la fórmula establecida en la NTC 237 (ICONTEC, 2019) con su respectiva respuesta.

Calculo de densidad y absorción del agregado fino		Datos iniciales (a)	
		B (g)	561.62
		C (g)	684.06
		A (g)	196.72
S (g)	200.11		
Densidad Aparente (Dap.) (b)		Densidad Nominal (d)	
$D_{aparente} = \frac{A}{[B + S - C]}$		$D = \frac{A}{[B + A - C]}$	
D aparente (g/cm³)	2.53	D Nominal (g/cm³)	2.65
Densidad Aparente (Saturada y seca) (C)		Absorción (%) (e)	
$D_{SSS} = \frac{S}{[B + S - C]}$		$A (\%) = \left(\frac{[S-A]}{A}\right) * 100$	
D aparente (g/cm³)	2.58	Abs (%)	1.72%

Tabla B- 14: Calculo de densidad y absorción del agregado fino (a) Datos iniciales, (b) cálculo de densidad aparente, (c) cálculo de densidad aparente saturada y seca), (d) cálculo de densidad nominal y (e) absorción.

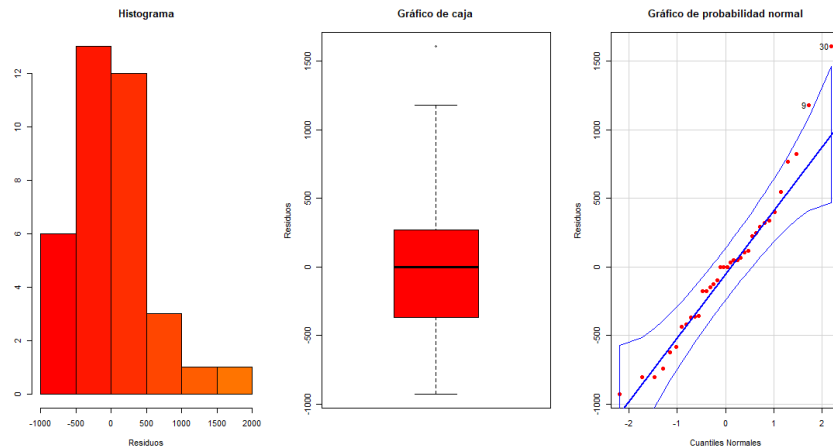
Anexo C. Verificación de supuestos del modelo de momento último.

▪ Supuesto de normalidad.

Observando el histograma y el gráfico de probabilidad normal de la Figura C-1 para los residuales se percibe un comportamiento de normalidad en los residuos, no obstante, mediante el test de Shapiro Wilk, se ratifica esta afirmación. La Tabla C-1 presenta el p-value de la prueba, como es mayor que Alpha, los residuos se ajustan una distribución normal.

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk	
W	0.95515
P-Value	0.1519
Alpha	0.05

Tabla C- 1: Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk para los residuos de datos de momento último.



Gráfica C- 1: Histograma, diagrama de caja y gráfico de probabilidad normal de los residuos del modelo de momento último.

▪ Supuesto de varianza constante.

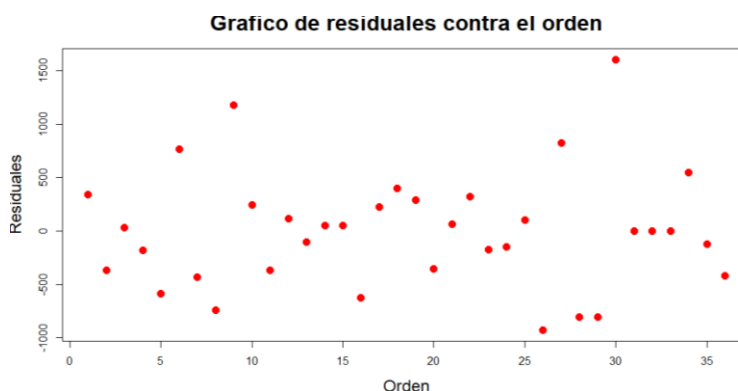
El supuesto de varianza constante se analiza mediante la prueba Breusch-Pagan y se comprueba la homogeneidad de varianza, la Tabla C-2 muestra los resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante, como el p-value es mayor a 0.05, los residuos cumplen el supuesto de varianza constante.

Prueba de puntuación de varianza no constante	
Chisquare	0.6891268
Df	1
p-value	0.40646

Tabla C- 2: Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante para los residuos de los datos de momento último

- **Supuesto de independencia.**

El gráfico de la Figura C-2 muestra una aleatoriedad en los residuales, mostrando independencia en los residuales. Con Durbin Watson test se demuestra la independencia de los residuos, cuyo resultado se muestra en la Tabla C-3.



Gráfica C- 2: Residuales contra orden del modelo de momento último.

Prueba estadística Durbin – Watson			
Lag	Autocorrelation	D-W Statistic	P-value
1	-0.3375528	2.647039	0.91

Tabla C- 3: Resultados de la prueba de Durbin – Watson para los residuos de los datos de momento último.

- **Supuesto de media cero.**

Aplicando la prueba t-student, presentada en la Tabla C-4 se comprueba el supuesto de media cero de los residuos.

Prueba t-student de una muestra	
t	-7.2715e-17
df	35
p-value	1

Tabla C- 4: Resultados de la prueba de t-student para los residuos de los datos de momento último.

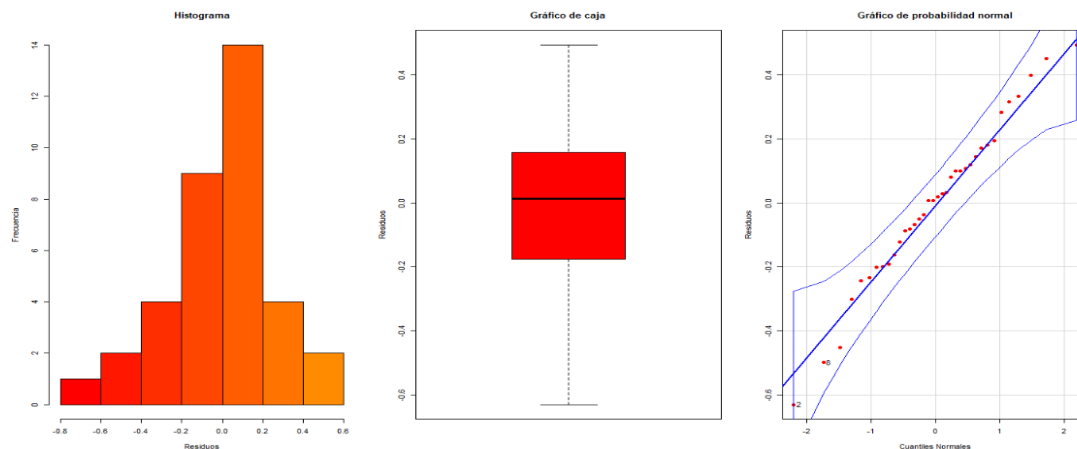
Anexo D. Verificación de supuestos del modelo de deformación.

▪ Supuesto de normalidad.

Observando el histograma y el gráfico de probabilidad normal de la Figura D-1 para los residuales se percibe un comportamiento de normalidad en los residuos, no obstante, mediante el test de Shapiro Wilk, se ratifica esta afirmación. La Tabla D-1 presenta el p-value de la prueba, como es mayor que Alpha, los residuos se ajustan una distribución normal.

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk	
W	0.98472
P-Value	0.8892
Alpha	0.05

Tabla D- 1: Resultados de la prueba de normalidad Shapiro -Wilk para los residuos de datos de desplazamiento máximo.



Gráfica D- 1: Histograma, diagrama de caja y gráfico de probabilidad normal de los residuos del modelo de desplazamiento máximo.

▪ Supuesto de varianza constante.

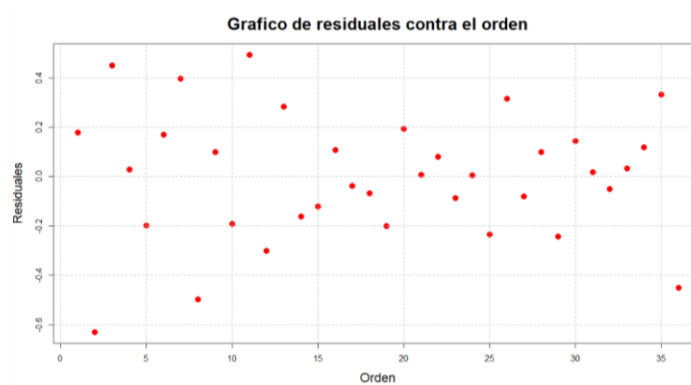
El supuesto de varianza constante se analiza mediante la prueba Breusch-Pagan y se comprueba la homogeneidad de varianza, la Tabla D-2 muestra los resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante, como el p-value es mayor a 0.05, los residuos cumplen el supuesto de varianza constante.

Prueba de puntuación de varianza no constante	
Chisquare	0.002205038
Df	1
p-value	0.96255

Tabla D- 2: Resultados de la prueba de puntuación de varianza no constante para los residuos de los datos de desplazamiento máximo.

- **Supuesto de independencia.**

El gráfico de la Figura D-2 muestra una aleatoriedad en los residuales, mostrando independencia en los residuales. Con Durbin Watson test se demuestra la independencia de los residuos, cuyo resultado se muestra en la Tabla C-3.



Gráfica D- 2: Residuales contra orden del modelo de desplazamiento máximo.

Prueba estadística Durbin – Watson			
Lag	Autocorrelation	D-W Statistic	P-value
1	-0.5635149	3.024536	0.118

Tabla D- 3: Resultados de la prueba de Durbin – Watson para los residuos de los datos de desplazamiento máximo.

- **Supuesto de media cero.**



Aplicando la prueba t-student, presentada en la Tabla D-4 se comprueba el supuesto de media cero de los residuos.

Prueba t-student de una muestra	
t	-3.6024e-17
df	35
p-value	1

Tabla D- 4: Resultados de la prueba de Durbin – Watson para los residuos de los datos de desplazamiento máximo

Anexo E. Análisis de Precios Unitarios de los materiales por Ítem.

En este anexo se encuentra el análisis de precios unitarios por ítem considerando precios comerciales de la ciudad de Neiva – Huila en Junio del 2022. Los primeros cuatro materiales de la lista corresponden a los ingredientes del concreto con proporciones producto del diseño de mezcla para un F'c de 3000 Psi, el quinto ingrediente es el fleje para garantizar resistencia a cortante en el ensayo a flexión y los demás varían según el tratamiento implementado.

 Municipio de Neiva	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS		Código		 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
			Versión: 1	Página	
			Vigente desde:	14/5/2022	
Objeto de Contrato:	PROYECTO ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO CON BAMBU				
Elaborado por:	CARLOS ALBERTO RAMOS QUIROGA	NIT / C.C.:	1.075.322.224		
	JORGE ENRIQUE HERNANDEZ MURCIA	NIT / C.C.:	1.007.778.787		

DATOS ESPECIFICOS				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	CAPÍTULO
1.1	CONCRETO REFORZADO CONVENCIONAL	und.	1	ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

I. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad requerida	Cantidad comercial	Tarifa o Precio Unitario	Vr. UNITARIO	
Bulto de Cemento Gris ARGOS de uso general de 50 KG	UND	0.121	1	\$ 26,500.00	\$ 3,198.05	
ARENA x bolsa 20 kg	UND	0.587	1	\$ 3,000.00	\$ 1,760.59	
Grava 1/2" - 3/4" bolsa x 20 kg triturado	UND	0.488	1	\$ 6,000.00	\$ 2,930.10	
Agua	m ³	0.003	0.003	\$ 1,000.00	\$ 2.73	
Estribo (Fleje) 10 x 10 cm #2 Fy = 420 MPa	Und	6	6	\$ 1,000.00	\$ 6,000.00	
Barra de acero #3 x 6 m Fy = 420 MPa Varilla 3/8	Und	0.32	1	\$ 18,700.00	\$ 5,984.00	
Alambre Negro recocido N. 18	KG	0.1	1	\$ 9,000.00	\$ 900.00	
ACPM	GAL	0.1	1	\$ 9,152.00	\$ 915.20	
SUBTOTAL					\$ 21,690.68	

Tabla E- 1: Análisis de precio unitario – concreto reforzado convencional.

DATOS ESPECIFICOS				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	CAPÍTULO
1.2	CONCRETO REFORZADO CON VARAS DE BAMBÚ INCLUYE SIKADUR.	und.	1	ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

I. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad requerida	Cantidad comercial	Tarifa o Precio Unitario	Vr. UNITARIO
Bulto de Cemento Gris ARGOS de uso general de 50 KG	UND	0.121	1	\$ 26,500.00	\$ 3,198.05
ARENA x bolsa 20 kg	UND	0.587	1	\$ 3,000.00	\$ 1,760.59
Grava 1/2" - 3/4" bolsa x 20 kg triturado	UND	0.488	1	\$ 6,000.00	\$ 2,930.10
Agua	m ³	0.003	0.003	\$ 1,000.00	\$ 2.73
Estribo (Fleje) 10 x 10 cm #2 Fy = 420 MPa	Und	6	6	\$ 1,000.00	\$ 6,000.00
Culmo de guadua 6 m x 10 cm Ø	Und	0.04	1	\$ 13,500.00	\$ 540.00
Alambre Negro recocido N. 18	KG	0.1	1	\$ 9,000.00	\$ 900.00
Adhesivo epóxico Sikadur - 32 x 3 kg	UND	0.02	1	\$ 301,900.00	\$ 4,709.64
ACPM	GAL	0.1	1	\$ 9,152.00	\$ 915.20
SUBTOTAL					\$ 20,956.32

Tabla E- 2: Análisis de precio unitario – concreto reforzado con varas de bambú incluye sikadur.

DATOS ESPECIFICOS				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	CAPÍTULO
1.3	CONCRETO REFORZADO MIXTO INCLUYE SIKADUR	und.	1	ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

I. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad requerida	Cantidad comercial	Tarifa o Precio Unitario	Vr. UNITARIO
Bulto de Cemento Gris ARGOS de uso general de 50 KG	UND	0.121	1	\$ 26,500.00	\$ 3,198.05
ARENA x bolsa 20 kg	UND	0.587	1	\$ 3,000.00	\$ 1,760.59
Grava 1/2" - 3/4" bolsa x 20 kg triturado	UND	0.488	1	\$ 6,000.00	\$ 2,930.10
Agua	m ³	0.003	0.003	\$ 1,000.00	\$ 2.73
Estribo (Fleje) 10 x 10 cm #2 Fy = 420 MPa	Und	6	6	\$ 1,000.00	\$ 6,000.00
Barra de acero #3 x 6 m Fy = 420 MPa Varilla 3/8	Und	0.16	1	\$ 18,700.00	\$ 2,992.00
Culmo de guadua 6 m x 10 cm Ø	Und	0.02	1	\$ 13,500.00	\$ 270.00
Alambre Negro recocido N. 18	KG	0.1	1	\$ 9,000.00	\$ 900.00
Adhesivo epóxico Sikadur - 32 x 3 kg	UND	0.008	1	\$ 301,900.00	\$ 2,354.82
ACPM	GAL	0.1	1	\$ 9,152.00	\$ 915.20
SUBTOTAL					\$ 21,323.50

Tabla E- 3: Análisis de precio unitario – concreto reforzado mixto incluye sikadur.

DATOS ESPECIFICOS				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	CAPÍTULO
1.4	CONCRETO SIMPLE	und.	1	ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

I. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad requerida	Cantidad comercial	Tarifa o Precio Unitario	Vr. UNITARIO	
Bulto de Cemento Gris ARGOS de uso general de 50 KG	UND	0.121	1	\$ 26,500.00	\$	3,198.05
ARENA x bolsa 20 kg	UND	0.587	1	\$ 3,000.00	\$	1,760.59
Grava 1/2" - 3/4" bolsa x 20 kg triturado	UND	0.488	1	\$ 6,000.00	\$	2,930.10
Agua	m ³	0.003	0.003	\$ 1,000.00	\$	2.73
ACPM	GAL	0.1	1	\$ 9,152.00	\$	915.20
SUBTOTAL					\$	8,806.68

Tabla E- 4: Análisis de precio unitario – concreto simple.

DATOS ESPECIFICOS				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	CAPÍTULO
1.5	CONCRETO REFORZADO CON VARAS DE BAMBÚ, NO INCLUYE SIKADUR.	und.	1	ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

I. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad requerida	Cantidad comercial	Tarifa o Precio Unitario	Vr. UNITARIO	
Bulto de Cemento Gris ARGOS de uso general de 50 KG	UND	0.121	1	\$ 26,500.00	\$	3,198.05
ARENA x bolsa 20 kg	UND	0.587	1	\$ 3,000.00	\$	1,760.59
Grava 1/2" - 3/4" bolsa x 20 kg triturado	UND	0.488	1	\$ 6,000.00	\$	2,930.10
Agua	m ³	0.003	0.003	\$ 1,000.00	\$	2.73
Estribo (Fleje) 10 x 10 cm #2 Fy = 420 MPa	Und	6	6	\$ 1,000.00	\$	6,000.00
Culmo de guadua 6 m x 10 cm Ø	Und	0.04	1	\$ 13,500.00	\$	540.00
Alambre Negro recocido N. 18	KG	0.1	1	\$ 9,000.00	\$	900.00
Adhesivo epóxico Sikadur - 32 x 3 kg	UND	0	1	\$ 301,900.00	\$	-
ACPM	GAL	0.1	1	\$ 9,152.00	\$	915.20
SUBTOTAL					\$	16,246.68

Tabla E- 5: Análisis de precio unitario – concreto reforzado con varas de bambú, no incluye sikadur.

En La Tabla 4-14 de este documento tiene en cuenta los análisis de precios unitarios parciales referentes al costo de los materiales registrados en las Tablas E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6 el cual se realiza un análisis costo vs. Resistencia con el subtotal.

DATOS ESPECIFICOS				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	CAPÍTULO
1.6	CONCRETO REFORZADO MIXTO, NO INCLUYE SIKADUR.	und.	1	ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

I. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad requerida	Cantidad comercial	Tarifa o Precio Unitario	Vr. UNITARIO
Bulto de Cemento Gris ARGOS de uso general de 50 KG	UND	0.121	1	\$ 26,500.00	\$ 3,198.05
ARENA x bolsa 20 kg	UND	0.587	1	\$ 3,000.00	\$ 1,760.59
Grava 1/2" - 3/4" bolsa x 20 kg triturado	UND	0.488	1	\$ 6,000.00	\$ 2,930.10
Agua	m ³	0.003	0.003	\$ 1,000.00	\$ 2.73
Estribo (Fleje) 10 x 10 cm #2 Fy = 420 MPa	Und	6	6	\$ 1,000.00	\$ 6,000.00
Barra de acero #3 x 6 m Fy = 420 MPa Varilla 3/8	Und	0.16	1	\$ 18,700.00	\$ 2,992.00
Culmo de guadua 6 m x 10 cm Ø	Und	0.02	1	\$ 13,500.00	\$ 270.00
Alambre Negro recocido N. 18	KG	0.1	1	\$ 9,000.00	\$ 900.00
Adhesivo epóxico Sikadur - 32 x 3 kg	UND	0	1	\$ 301,900.00	\$ -
ACPM	GAL	0.1	1	\$ 9,152.00	\$ 915.20
SUBTOTAL					\$ 18,968.68

Tabla E- 6: Análisis de precio unitario – concreto reforzado con varas de bambú, no incluye sikadur.