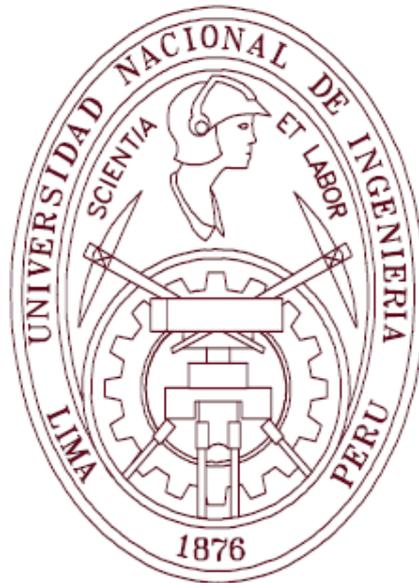


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS Y DE
UNIONES ESTRUCTURALES DEL BAMBÚ (GUADUA
ANGUSTIFOLIA), REFORZADAS CON ZUNCHOS DE MATERIAL
SINTÉTICO”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

ENRIQUE LOO YEPEZ

 [0009-0001-6508-153X](https://orcid.org/0009-0001-6508-153X)

ASESOR:

Ing. HERNÁN AGUSTÍN ARBOCCÓ VALDERRAMA

 [0009-0006-9910-5997](https://orcid.org/0009-0006-9910-5997)

LIMA – PERÚ

2025

© 2025, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

elooy@uni.pe

924059507

Dedicatoria

*A Dios, a mis padres, por su apoyo incondicional y a mis
hermanos por su apoyo constante.*

Agradecimientos

Agradezco al Ing. Hernán Arboccó Valderrama, por haberme brindado su valiosa ayuda durante el proceso de desarrollo de la presente investigación, mediante su paciencia y recomendaciones.

Gracias al Departamento de Gerencia de Investigación y Normalización de SENCICO, a la Ing. Gabriela Esparza y al Ing. Roy Ascencio, por la confianza depositada en mi persona.

Asimismo, agradecer a las personas que laboran en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería por el apoyo recibido.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	X
Lista de Tablas	XI
Lista de Figuras	XVI
Lista de Símbolos y Siglas	XX
Capítulo I: Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Problemática	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo principal	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Hipótesis	6
1.4.1 Hipótesis general	6
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	7
2.1 El Bambú	7
2.1.1 Distribución	7
2.1.2 Taxonomía	8
2.1.3 Morfología	8
2.2 Estructura interna y comportamiento mecánico	10
2.2.1 Distribución de las fibras y la resistencia a la flexión	10
2.2.2 Influencia de los nudos en la resistencia a la flexión	11
2.2.3 Relación entre la estructura interna y la resistencia a la tensión	11
2.3 Uniones estructurales	11
2.3.1 Tipos de uniones	12
2.3.2 Conectores internos	14

2.3.3 Material de relleno	14
2.3.4 Refuerzo de uniones.....	15
2.3.5 Empalmes.....	15
2.3.6 Tipos de fallas.....	16
2.4 Requisitos de selección, valores indicados en el Anexo D y valores admisibles, según el RNE E-100	17
2.4.1 Requisitos de selección	18
2.4.2 Valores indicados en el Anexo D para la resistencia en uniones.....	18
2.4.3 Esfuerzos admisibles	19
2.4.4 Módulo de elasticidad (E).....	19
Capítulo III: Ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas del bambú	21
3.1 Lugar de procedencia	21
3.2 Culmos utilizados.....	21
3.2.1 Culmos parte basa.....	22
3.2.2 Culmos parte cepa.....	23
3.3 Normas vigentes.....	24
3.4 Elaboración de probetas para determinar las propiedades físico-mecánicas	25
3.5 Procedimiento de los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas	27
3.5.1 Procedimiento del ensayo para determinar la contracción	27
3.5.2 Procedimiento del ensayo para determinar la densidad	29
3.5.3 Procedimiento del ensayo para determinar el contenido de humedad	31
3.5.4 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo de compresión paralela a la fibra.....	33
3.5.5 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo último de tensión paralela a la fibra.....	36
3.5.6 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo último de corte paralelo a la fibra.....	38

3.5.7 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo de flexión.....	40
Capítulo IV: Ensayos para determinar la resistencia a la tensión en uniones estructurales	45
4.1 Ensayos preliminares.....	45
4.1.1 Ensayos preliminares a uniones perpendiculares sin pieza superior	45
4.1.2 Ensayos preliminares en zunchos sintéticos	46
4.1.3 Ensayos preliminares sin mortero en uniones de 90°	47
4.2 Preparación de uniones estructurales sin y con refuerzo sintético	48
4.2.1 Materiales utilizados en la preparación de uniones estructurales	48
4.2.2 Unión colineal: preparación y detalles de construcción	51
4.2.3 Unión inclinada y perpendicular: preparación y detalles de construcción	53
4.3 Procedimiento de ensayos a uniones estructurales	59
4.3.1 Ensayo de tensión a uniones colineales	59
4.3.2 Ensayo de tensión a uniones inclinadas	60
4.3.3 Ensayo de tensión a uniones perpendiculares	62
Capítulo V: Análisis de resultados.....	64
5.1 Propiedades físico-mecánicas	64
5.1.1 Contracción.....	64
5.1.2 Contenido de humedad.....	65
5.1.3 Densidad.....	66
5.1.4 Esfuerzo último de compresión paralela a la fibra	67
5.1.5 Esfuerzo último a la tensión paralela a la fibra	68
5.1.6 Esfuerzo último al corte paralelo a la fibra.....	69
5.1.7 Esfuerzo último a la flexión a escala natural	70
5.1.8 Módulo de elasticidad	70
5.1.9 Comparación de las propiedades físicas de las uniones ensayadas respecto a otras investigaciones nacionales	71

5.2	Análisis de resultados de uniones estructurales.....	77
5.2.1	Análisis de uniones colineales	78
5.2.2	Análisis de uniones inclinadas de 30°	79
5.2.3	Análisis de uniones inclinadas de 45°	81
5.2.4	Análisis de uniones inclinadas de 60°	83
5.2.5	Análisis de uniones perpendiculares	84
5.2.6	Descripción de fallas observadas.....	86
5.3	Comparación de resultados de la investigación actual (refuerzo sintético) respecto a la investigación anterior (refuerzo metálico)	89
5.3.1	Comparación de uniones colineales.....	89
5.3.2	Comparación de uniones inclinadas de 30°	90
5.3.3	Comparación de uniones inclinadas de 45°	91
5.3.4	Comparación de uniones inclinadas de 60°	91
5.3.5	Comparación de uniones perpendiculares	92
5.3.6	Comparación de valores de cargas de las uniones ensayadas respecto al RNE E-100, Anexo D	93
5.4	Análisis de costos de las uniones	96
5.4.1	Análisis de costos en uniones colineales	98
5.4.2	Análisis de costos en uniones de 30°	99
5.4.3	Análisis de costos en uniones de 45°	100
5.4.4	Análisis de costos en uniones de 60°	100
5.4.5	Análisis de costos en uniones perpendiculares	101
	Conclusiones	103
	Recomendaciones	105
	Referencias bibliográficas.....	106
	Anexos	111

Resumen

El bambú debido a su peso ligero, bajo costo y buenas propiedades físico mecánicas, es un material atractivo para la construcción. Sin embargo, en Perú su uso no está muy extendido, una de las razones es la deficiente calidad de los métodos de unión, lo que hace que estas estructuras sean inseguras.

Si bien existen investigaciones acerca de uniones de bambú, muchas se basan en refuerzos metálicos, que resultan costosos. Por ello la importancia de proponer alternativas en los refuerzos, que sean seguros y más baratos.

En este trabajo se caracterizó la especie *Guadua angustifolia*, procedente del distrito de La Florida, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca. El objetivo es buscar alternativas más económicas para los refuerzos de las uniones de bambú, mediante la incorporación de zunchos sintéticos.

Se realizaron ensayos de tracción en diferentes tipos de uniones, con y sin refuerzo sintético, comparando los resultados con los valores indicados en el Anexo D de la Norma E-100 y con uniones reforzadas con zunchos metálicos.

Los resultados mostraron que los zunchos sintéticos aumentan la capacidad de carga de las uniones, superando los valores indicados en el Anexo D de la Norma E-100, aunque sin alcanzar la del refuerzo metálico.

El análisis de costos demostró que el zuncho sintético es una alternativa más económica que el refuerzo metálico donde no se requieran valores altos de carga. Se recomienda seguir investigando la variabilidad natural del bambú y evaluar la durabilidad de las uniones reforzadas con materiales sintéticos a largo plazo.

Palabras clave -- Bambú, uniones, refuerzo, económico.

Abstract

Bamboo, due to its light weight, low cost, and good physical and mechanical properties, is an attractive material for construction. However, its use is not widespread in Peru, one reason being the poor quality of the joining methods, which makes these structures unsafe. Although there is research on bamboo joints, much of it relies on expensive metal reinforcements. Therefore, it is important to propose alternative reinforcements that are safe and cheaper.

In this study, the species *Guadua angustifolia* from the district of La Florida, province of San Miguel, department of Cajamarca, was characterized. The objective is to find more economical alternatives for reinforcing bamboo joints through the incorporation of synthetic straps.

Tensile tests were performed on different types of joints, with and without synthetic reinforcement, comparing the results with the values indicated in Annex D of Standard E-100 and with joints reinforced with metal straps.

The results showed that synthetic straps increased the load-bearing capacity of the joints, exceeding the values indicated in Annex D of Standard E-100, although without reaching that of the metal reinforcement.

The cost analysis demonstrated that synthetic strapping is a more economical alternative to metal reinforcement where high load values are not required. Further research into the natural variability of bamboo and evaluation of the long-term durability of bonds reinforced with synthetic materials are recommended.

Keywords: Bamboo, joints, reinforcement, economics.

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Resumen de investigaciones anteriores.....	3
Tabla 2: Taxonomía de la Guadua angustifolia	8
Tabla 3: Valores indicados en el Anexo D del RNE E-100	19
Tabla 4: Esfuerzos admisibles para diseño (RNE E-100).....	19
Tabla 5: Módulo de elasticidad admisible para diseño (RNE E-100).....	20
Tabla 6: Dimensiones individuales de los culmos de la parte basa	22
Tabla 7: Dimensiones promedio de los culmos de la parte basa.....	23
Tabla 8: Dimensiones individuales de los culmos de la parte cepa	23
Tabla 9: Dimensiones promedio de los culmos de la parte cepa.....	24
Tabla 10: Descripción de las probetas utilizadas en los ensayos.....	25
Tabla 11: Cantidad de probetas utilizadas en el ensayo de contracción	27
Tabla 12: Dimensiones de las probetas para el ensayo de contracción	28
Tabla 13: Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de densidad	29
Tabla 14: Dimensiones de las probetas para el ensayo de densidad.....	30
Tabla 15: Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de contenido de humedad	32
Tabla 16: Dimensiones de las probetas para el ensayo de contenido de humedad	32
Tabla 17: Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de compresión paralela a la fibra	34
Tabla 18: Dimensiones de las probetas para el ensayo de compresión paralela a la fibra	34
Tabla 19: Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de tensión paralela a la fibra.	36
Tabla 20: Dimensiones de las probetas para el ensayo de tensión paralela a la fibra.....	37
Tabla 21: Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de corte paralelo a la fibra	38
Tabla 22: Dimensiones de las probetas para en el ensayo de corte paralelo a la fibra ...	39

Tabla 23: Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de flexión	40
Tabla 24: Dimensiones de las probetas para el ensayo de flexión	41
Tabla 25: Resultados de ensayos preliminares en uniones perpendiculares sin mortero y sin pieza superior	46
Tabla 26: Cargas obtenidas en ensayos preliminares de zunchos sintéticos	47
Tabla 27: Dimensiones y cargas obtenidas en ensayos preliminares de uniones perpendiculares	48
Tabla 28: Cantidad de uniones estructurales para ensayos	48
Tabla 29: Dimensiones de los Anillos Metálicos.....	60
Tabla 30: Análisis estadístico del ensayo de contracción.....	65
Tabla 31: Contracción promedio	65
Tabla 32: Análisis estadístico del ensayo de contenido de humedad.....	65
Tabla 33: Contenido de humedad promedio	66
Tabla 34: Análisis estadístico del ensayo de densidad	67
Tabla 35: Densidad promedio	67
Tabla 36: Análisis estadístico del esfuerzo de compresión paralela a la fibra	68
Tabla 37: Análisis estadístico del esfuerzo de tensión paralela a la fibra	68
Tabla 38: Análisis estadístico del esfuerzo de corte paralelo a la fibra en basa y cepa...	69
Tabla 39: Análisis estadístico del esfuerzo de corte paralelo a la fibra sin y con nudo	69
Tabla 40: Análisis estadístico del esfuerzo ultimo de flexión	70
Tabla 41: Análisis estadístico del módulo de elasticidad.....	71
Tabla 42: Módulo de elasticidad promedio.....	71
Tabla 43: Comparación de las características físicas en diferentes investigaciones	72
Tabla 44: Comparación del esfuerzo de compresión paralela a la fibra en diferentes investigaciones	73
Tabla 45: Comparación del esfuerzo de tensión paralela a la fibra en diferentes investigaciones	74

Tabla 46: Comparación del esfuerzo de corte paralelo a la fibra en diferentes investigaciones	74
Tabla 47: Comparación del esfuerzo de flexión en diferentes investigaciones	75
Tabla 48: Comparación del módulo de elasticidad en diferentes investigaciones	76
Tabla 49: Comparación de los esfuerzos experimentales con el RNE E-100.....	76
Tabla 50: Dimensiones y cargas en uniones colineales sin y con refuerzo sintético	78
Tabla 51: Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones colineales	78
Tabla 52: Dimensiones y cargas en uniones inclinadas de 30° sin y con refuerzo sintético	80
Tabla 53: Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones inclinadas de 30°	80
Tabla 54: Dimensiones y cargas en uniones inclinadas de 45° sin y con refuerzo sintético	81
Tabla 55: Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones inclinadas de 45°	82
Tabla 56: Dimensiones y cargas en uniones inclinadas de 60° sin y con refuerzo sintético	83
Tabla 57: Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones inclinadas de 60°	83
Tabla 58: Dimensiones y cargas en uniones perpendiculares sin y con refuerzo sintético	85
Tabla 59: Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones perpendiculares	85
Tabla 60: Incidencia de tipos de fallas observadas en uniones sin y con refuerzo sintético	87

Tabla 61: Resistencia en uniones colineales sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior).....	89
Tabla 62: Resistencia en uniones colineales con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior).....	90
Tabla 63: Resistencia en uniones inclinadas de 30° sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)	90
Tabla 64: Resistencia en uniones inclinadas de 30° con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)	90
Tabla 65: Resistencia en uniones inclinadas de 45° sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)	91
Tabla 66: Resistencia en uniones inclinadas de 45° con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)	91
Tabla 67: Resistencia en uniones inclinadas de 60° sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)	92
Tabla 68: Resistencia en uniones inclinadas de 60° con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)	92
Tabla 69: Resistencia en uniones perpendiculares sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior).....	92
Tabla 70: Resistencia en uniones perpendiculares con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior).....	93
Tabla 71: Análisis comparativo de cargas experimentales en uniones sin refuerzo con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100.....	94
Tabla 72: Análisis comparativo de cargas experimentales en uniones con refuerzo con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100.....	94
Tabla 73: Costo unitario de unión colineal c/s refuerzo sintético	96
Tabla 74: Costo unitario de unión colineal c/s refuerzo metálico.....	97
Tabla 75: Costo unitario de unión inclinada c/s refuerzo sintético	97

Tabla 76: Costo unitario de unión inclinada c/s refuerzo metálico	97
Tabla 77: Análisis de costo-efectividad de uniones colineales	98
Tabla 78: Análisis de costo-efectividad de uniones inclinadas de 30°	99
Tabla 79: Análisis de costo-efectividad de uniones inclinadas de 45°	100
Tabla 80: Análisis de costo-efectividad de uniones inclinadas de 60°	100
Tabla 81: Análisis de costo-efectividad de uniones perpendiculares.....	101

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Distribución de géneros de bambú en el Perú.....	7
Figura 2: Guadua angustifolia	8
Figura 3: Partes del bambú.....	9
Figura 4: Estructura anatómica del espesor del bambú, capa externa, media e interna..	10
Figura 5: Estructura interna de muestras ensayadas a flexión: a) con nudo, b) sin nudo	11
Figura 6: Unión empernada	12
Figura 7: Unión zunchada	13
Figura 8: Unión con pieza de madera	13
Figura 9: Vista de perfil del conector interno en la unión.....	14
Figura 10: Vaciado de mortero.....	14
Figura 11: Tipos de empalmes.....	16
Figura 12: Tipos de fallas: a) Por aplastamiento, b) Por tensión a las fibras, c) Por corte, d) Por pandeo general de las fibras en dirección interna, e) Por pandeo general de las fibras en dirección externa.....	17
Figura 13: Culmos utilizados.....	22
Figura 14: Culmos clasificados en basa.....	24
Figura 15: Culmos clasificados en cepa.....	24
Figura 16: Probeta para el ensayo de tensión paralela a la fibra.....	26
Figura 17: Probeta para ensayo de compresión paralela, corte paralelo y contracción ...	26
Figura 18: Probeta para el ensayo de flexión (escala real)	26
Figura 19: Probetas para el ensayo de humedad y densidad.....	27
Figura 20: Probetas para el ensayo de contracción	28
Figura 21: Probetas para el ensayo de densidad	30

Figura 22: Probetas para el ensayo de contenido de humedad	33
Figura 23: Probeta para el ensayo de compresión paralela a la fibra.....	34
Figura 24: Probetas para el ensayo de tensión paralela a la fibra.....	37
Figura 25: Probeta para el ensayo de corte paralelo a la fibra	39
Figura 26: Probeta para el ensayo de flexión.....	43
Figura 27: Ensayo a flexión (escala real)	44
Figura 28: Ensayo preliminar en unión sin pieza superior	46
Figura 29: Ensayos preliminares en zunchos sintéticos.....	47
Figura 30: Ensayos preliminares en uniones perpendiculares	47
Figura 31: Falla en la varilla interna	47
Figura 32: Piezas de bambú	49
Figura 33: Varillas de dos ojos en los extremos.....	49
Figura 34: Varillas roscadas.....	49
Figura 35: Tacos de madera eucalipto.....	50
Figura 36: Mortero 1:4	50
Figura 37: Zuncho sintético en rollo	50
Figura 38: Hebilla de acero.....	50
Figura 39: Tuercas y arandelas	51
Figura 40: Vista frontal de unión colineal sin refuerzo.....	52
Figura 41: Unión colineal sin refuerzo.....	53
Figura 42: Vista frontal de unión colineal con refuerzo.....	53
Figura 43: Unión colineal con refuerzo sintético.....	53
Figura 44: Vista frontal de unión inclinada de 30° sin refuerzo.....	55
Figura 45: Vista frontal de unión inclinada de 45° sin refuerzo.....	56
Figura 46: Vista frontal de unión inclinada de 60° sin refuerzo.....	56
Figura 47: Vista frontal de unión perpendicular sin refuerzo.....	56
Figura 48: Unión inclinada sin refuerzo.....	57

Figura 49: Vista frontal de unión inclinada de 30° con refuerzo.....	57
Figura 50: Vista frontal de unión inclinada de 45° con refuerzo.....	57
Figura 51: Vista frontal de unión inclinada de 60° con refuerzo.....	58
Figura 52: Vista frontal de unión perpendicular con refuerzo	58
Figura 53: Unión inclinada con refuerzo sintético.....	58
Figura 54: Unión colineal sin refuerzo y con refuerzo sintético.....	59
Figura 55: Unión inclinada sin refuerzo y con refuerzo sintético.....	61
Figura 56: Unión perpendicular sin refuerzo y con refuerzo sintético	62
Figura 57: Muestras ensayadas a compresión paralela a la fibra.....	68
Figura 58: Falla por desgarramiento observada en el ensayo de tensión paralela a la fibra	69
Figura 59: Gráfica unión colineal: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético.....	79
Figura 60: Gráfica unión colineal: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético.....	79
Figura 61: Gráfica unión inclinada de 30°: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético	80
Figura 62: Gráfica unión inclinada de 30°: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético	81
Figura 63: Gráfica unión inclinada de 45°: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético	82
Figura 64: Gráfica unión inclinada de 45°: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético	82
Figura 65: Gráfica unión inclinada de 60°: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético	84
Figura 66: Gráfica unión inclinada de 60°: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético	84
Figura 67: Gráfica unión perpendicular: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético .	85
Figura 68: Gráfica unión perpendicular: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético...	86

Figura 69: Falla observada por tensión y pandeo general de las fibras.....	87
Figura 70: Falla observada por tensión perpendicular de las fibras.....	88
Figura 71: Falla observada por enderezamiento de la varilla de dos ojos	88
Figura 72: Falla observada por desplazamiento y doblez de la varilla roscada	89
Figura 73: Diagrama de barras: comparación de cargas experimentales en uniones sin refuerzo sintético con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100	95
Figura 74: Diagrama de barras: comparación de cargas experimentales en uniones con refuerzo sintético con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100	95

Lista de Símbolos y Siglas

BF	: Bambú del Valle Florida
C/B	: Parte Cepa o Basa
CH	: Contenido de humedad (%)
cm	: Centímetro
COM	: Ensayo de Compresión
CON	: Porcentaje de contracción
COR	: Ensayo de Corte
D	: Diámetro de la probeta (cm)
De	: Diámetro externo promedio de la probeta (cm)
Di	: Diámetro interno promedio de la probeta (cm)
F	: Lectura final (mm)
Fadm	: Carga admisible (kg)
FLEX	: Ensayo de Flexión
FS	: Factor de seguridad
Fult	: Carga de falla
gr	: Gramos
H	: Altura de la probeta
IAR	: Indicador de Aporte del Refuerzo
I	: Lectura inicial (mm)
Ib	: Momento de inercia (mm ⁴)
inf	: Inferior
kg	: Kilogramo
L	: Longitud (metro)
LVDT	: Transductor de desplazamiento lineal variable
m	: Metro

m/s	: Metro por segundo
MAX	: Máximo
med	: Medio
MIN	: Mínimo
ml	: mililitros
mm	: Milímetro
mm/s	: Milímetro por segundo
MPa	: Mega Pascal
ms	: Masa después del secado (gr)
N	: Newton
n	: Número de culmo
NTC	: Norma Técnica Colombiana
NTP	: Norma Técnica Peruana
pH	: Medida de acidez de una solución acuosa
RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones
σ	: Desviación Estandar Poblacional
sup	: Superior
t	: Espesor de la probeta
TEN	: Ensayo de Tensión
ton	: Tonelada
V:	: Volumen saturado en (cm ³)
x	: Número de ensayo
ρ	: Densidad (gr/cm ³)
%	: Porcentaje
σ_{ult}	: Esfuerzo último (MPa)
°C	: Grado Celsius

Capítulo I: Introducción

1.1 Generalidades

Según Hidalgo (1978), existe en el continente americano aproximadamente 290 especies de bambú, con excelentes propiedades físicas y mecánicas y una buena resistencia a los insectos xilófagos. Es un material bastante usado en la construcción debido a que es ligero y con fácil acceso en muchas zonas. De acuerdo al autor, los Vedas en la India fueron los primeros en utilizar el bambú en la construcción de sus viviendas.

Satow (citado en Hidalgo, 1978) explica un método para calcular la calidad del bambú, que consiste en medir la circunferencia que corresponde a una altura de 1.5 metros del suelo y multiplicarlo por un factor que depende de cada especie (este valor en promedio es de 60) y si el número calculado es menor o igual que la longitud del tallo, este bambú es considerado de buena calidad.

Gutiérrez (2009), en su investigación determinó las propiedades físico-mecánicas y propone un tipo de unión simple mediante el uso de templadores con dos dosificaciones de mortero, 1:3 y 1:5, obteniendo una mejor resistencia con la dosificación 1:3.

Mientras que Huarcaya (2010), estudió las propiedades físico-mecánicas y la resistencia de uniones con el material procedente de la provincia de Rioja, departamento de San Martín. En las uniones colineales se usó dos tipos de tacos de madera las cuales fueron capirona y eucalipto colocados en el interior del espécimen, el de capirona era de sección rectangular con dimensión 2"x2" y el eucalipto de forma cilíndrica de 2" de diámetro, observando que no hay una diferencia significativa.

Corcuera (2015), en su tesis "Resistencia de uniones de bambú (*Guadua angustifolia*) del bosque: Aramango. Provincia: Bagua, Departamento: Amazonas", determinó las propiedades físico-mecánicas y resistencia en uniones diagonales, perpendiculares y colineales. Los especímenes se prepararon con barras longitudinales y transversales de $\frac{3}{8}$ " de diámetro con una relación de mortero de 1:3.

En los ensayos de uniones colineales utilizó en su interior dos tipos de maderas (capirona y eucalipto) y un perno de $\frac{3}{8}$ " de diámetro logrando valores de carga promedio de 1106 kg y 1100 kg respectivamente.

Huamán (2021), en su investigación acerca del comportamiento de las uniones estructurales de bambú, procedente de la Florida, Cajamarca, realizó ensayos en uniones diagonales (30° , 45° , 60°), perpendiculares y colineales las cuales fueron preparadas con varillas roscadas, reforzando las paredes con zunchos metálicos de $\frac{3}{4}$ " y una dosificación de mortero de 1:4, determinando en los ensayos de tracción que con la incorporación de zunchos metálicos alrededor de las cañas, se logró un mejor confinamiento y una mayor resistencia.

Ávila y Mora (2017), emplearon como material de relleno de los canutos un material compuesto a base de resina de poliéster y fibras naturales agregando una varilla roscada de $\frac{1}{2}$ " de diámetro en dirección longitudinal, pernos de $\frac{1}{2}$ " en dirección transversal y refuerzos de zunchos metálicos alrededor del bambú (para lograr un mejor confinamiento). Los zunchos metálicos se encuentran ubicados en la parte superior e inferior del entrenudo alrededor de la guadua, los cuales fueron colocados antes de rellenar los especímenes con el material compuesto. En su investigación realizó un análisis visual logrando evidenciar 3 tipos de fallas:

- Falla por tracción diametral.
- Falla por corte paralelo a la fibra.
- Falla por corte del perno.

Determinó en promedio un esfuerzo al corte de 18.98 MPa y una resistencia a la compresión de 15.84 MPa.

El Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), indica en la Norma Técnica de Edificaciones E-100 Bambú, que la edad de cosecha de la Guadua debe tener un rango de 4-6 años; a su vez también señala que el

contenido de humedad del bambú debe coincidir con la humedad de equilibrio del sitio en donde va a trabajar. En la Norma E-100 Bambú, el capítulo 9 señala que los elementos metálicos como pernos, tornillos y arandelas deben cumplir la NTP 341.028:1970, mientras que las tuercas de acero deben cumplir lo establecido en la NTP 341.026:1970.

En resumen, las investigaciones anteriores proponen alternativas para mejorar la resistencia de las uniones de bambú mediante el uso de tacos de madera, refuerzos metálicos, materiales compuestos y mortero en el interior de las uniones. Sin embargo, el desafío en cuanto al costo requiere una necesidad de investigar alternativas de refuerzo más económicas. Abordar esta brecha es crucial para promover el uso del bambú como material de construcción, especialmente en comunidades de bajos recursos. Se propone determinar una alternativa más económica mediante el refuerzo de zunchos sintéticos en las uniones de bambú.

Tabla 1

Resumen de investigaciones anteriores

Autor	Lugar de Procedencia y Especie	Temas de Investigación	Temas Pendientes por Investigar
SERGIO CLAVER GUTIERREZ	Bagua y La Florida (Amazonas)	Propiedades físico mecánicas (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte)	Determinar las propiedades físico mecánicas <i>Guadua angustifolia</i> (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte, flexión a escala real), de otras zonas
	<i>Guadua angustifolia</i>	Uniones estructurales usando templadores como conectores y mortero de relleno	Uniones estructurales reforzadas
JESUS HUARCAYA	Bosque Blanco: Flor del Valle (San Martín)	Propiedades físico mecánicas (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte, flexión a escala real)	Determinar las propiedades físico mecánicas de <i>Guadua angustifolia</i> (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte, flexión a escala real), de otras zonas
	<i>Guadua angustifolia</i>	Uniones estructurales usando varillas corrugadas de 3/8" y tacos de madera como conectores	Uniones estructurales reforzadas
MAX CORCUERA	Bosque Aramango (Amazonas)	Propiedades físico mecánicas (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte, flexión a escala real)	Determinar las propiedades físico mecánicas de <i>Guadua angustifolia</i> (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte, flexión a escala real), de otras zonas
	<i>Guadua angustifolia</i>	Uniones estructurales usando varillas corrugadas de 3/8" y	Uniones estructurales reforzadas

tacos de madera como conectores			
HUAMÁN PUIQUÍN 2021	La Florida (Cajamarca)	Propiedades físico mecánicas (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte, flexión a escala real)	Comprobar las propiedades físico mecánicas (contenido de humedad, densidad, compresión, tensión, corte, flexión a escala real) de <i>Guadua angustifolia</i> de La Florida Cajamarca
	<i>Guadua angustifolia</i>	Uniones estructurales usando varillas corrugadas de 3/8" y tacos de madera como conectores, reforzadas con zunchos metálicos	Uniones estructurales reforzadas más económicas
AVILA Y MORA	San Quindío (Colombia)	Propiedades mecánicas (compresión, tensión, corte)	Determinar las propiedades físico mecánicas de <i>Guadua angustifolia</i> de otras zonas
	<i>Guadua angustifolia</i>	Uniones estructurales usando varillas roscadas como conectores y resina poliéster como relleno, reforzadas con zunchos metálicos	Uniones estructurales reforzadas más económicas

1.2 Problemática

En el Perú, el uso del bambú en la construcción en las zonas urbanas es poca o casi nula, mientras muy por el contrario en las áreas rurales el uso es más extendido. Esto se debe a algunos factores como: menor costo, peso ligero y fácil de transportar. Esto hace que el bambú sea una opción atractiva para la autoconstrucción de viviendas sin tener el más mínimo criterio técnico y mucho menos procedimientos sismorresistentes.

Es importante destacar que la norma E-100 Bambú especifica el uso de *Guadua angustifolia* para construcciones con bambú.

Por lo tanto, el problema con las construcciones con bambú es que los diferentes tipos de uniones que se usan no son tan eficientes, pudiendo fallar fácilmente y en especial las uniones diagonales (Martínez 2015). Si bien existen propuestas de uniones de bambú reforzadas, como en la investigación de Huamán (2021), que utilizó zunchos metálicos como refuerzo, estas soluciones pueden ser costosas. Por tal motivo es necesario buscar otras alternativas más económicas, lo que se podría lograr mediante un cambio en el material de refuerzo metálico con uno de material sintético.

Según Rodríguez (2023), el bambú exhibe variabilidad en sus propiedades. Es importante reconocer que, incluso dentro de una misma especie, las propiedades del

bambú pueden variar significativamente dependiendo del lugar de procedencia, debido a condiciones propias de cada lugar. Esta variabilidad se encuentra documentada en la investigación realizada por Huamán. Por otro lado, existe relativamente poca información referente a las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* procedente de La Florida (Cajamarca), por lo cual justifica el desarrollo de la presente investigación, ya que caracterizar las propiedades es de suma importancia para garantizar su uso adecuado en la construcción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo principal

Determinar la resistencia de las uniones estructurales de bambú con refuerzo de material sintético a fin de ampliar las alternativas propuestas en la Norma Técnica de Edificaciones E.100 Bambú.

1.3.2 Objetivos específicos

- Comprobar las características físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* procedente del distrito: La Florida, provincia: San Miguel, departamento: Cajamarca.
- Contribuir con estudiar diferentes materiales de reforzamiento a considerar en el protocolo de ensayos de tracción en las uniones estructurales de bambú.
- Evaluar nuevas propuestas con la finalidad de reducir costos en el reforzamiento de uniones estructurales de *Guadua angustifolia*, a partir de los resultados obtenidos en ensayos de tracción en uniones de bambú, realizado por el Ing. Ericson Huamán Puiquin (2021) en su tesis de grado “Estudio de las propiedades físico-mecánicas y de uniones estructurales del bambú *Guadua angustifolia* para su uso en la construcción”.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La incorporación de zunchos de material sintético mejora el comportamiento estructural de las uniones estructurales de la *Guadua angustifolia*.

Capítulo II: Marco teórico y conceptual

2.1 El Bambú

Según (Vorontsova, Clark, & Dransfield, 2016), en el mundo existen alrededor de 1600 especies de bambú, que han servido para múltiples propósitos como material de construcción. Respetando el ciclo de vida, el bambú es un recurso natural renovable, que se emplea en la construcción en muchos países, con mayor uso de forma empírica. El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2018), describe a la Guadua como un pasto gigante, herbáceo y leñoso, caracterizado por tallos troncocónicos que alcanzan una altura de 15-20 m.

El tallo presenta entrenudos huecos y separados transversalmente por nudos a distancias similares. Esta característica le proporciona buena rigidez, flexibilidad y resistencia, que lo hacen un material prometedor para la construcción de estructuras ligeras y sismorresistentes.

2.1.1 Distribución

Figura 1

Distribución de géneros de bambú en el Perú



Nota: fuente RNE E-100

El bambú tiene una alta distribución geográfica, lo que se debe a su alto grado de adaptabilidad a las distintas condiciones de clima y suelos, encontrando la mayor concentración de especies entre los 2000-3000 metros sobre el nivel del mar.

2.1.2 Taxonomía

La *Guadua angustifolia*, especie utilizada en esta investigación, pertenece a la familia de la Gramineae, a la subfamilia Bambusoidae.

Figura 2

Guadua angustifolia



Nota: fuente Uribe y Durán (2002)

Tabla 2

Taxonomía de la Guadua angustifolia

RANGO	TAXONOMÍA
Reino	Plantas
División	Espermatofita
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Lilopsidas/Monocotiledónea
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales/Glumiflorales
Familia	Gramineae o Pacea
Subfamilia	Bambusoidae
Supertribu	Bambusodae
Tribu	Bambuseae
Subtribu	Guaduinae
Género	Guadua
Especie	Angustifolia
Variedad	Bicolor
Forma	Cebolla, Macana, Rayada, etc.

Nota: fuente Huamán (2021)

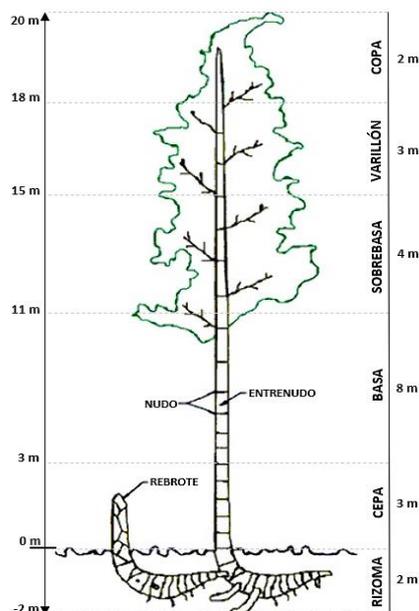
2.1.3 Morfología

La *Guadua angustifolia* está conformada por un sistema de ejes segmentados, formando nudos y entrenudos alternadamente. Además, el RNE E-100 (SENCICO, 2020) define la caña de bambú (o culmo) como la parte del tallo hueca con nudos, que se divide

en: nudo (parte del tallo que divide las secciones mediante diafragmas), entrenudo (zona entre dos nudos) y pared (parte externa del tallo formada por tejido leñoso).

Figura 3

Partes del bambú



Nota: adaptado de Gutiérrez (2010)

- Rizoma: es el tallo subterráneo o raíz donde se almacenan los nutrientes, conforma el soporte de la planta con una profundidad máxima de 2 m.
- Cepa: parte inferior del tallo, presenta mayor espesor y diámetro, su distancia de entrenudos es corta por lo que posee mejor resistencia, se desarrolla por encima del rizoma, tiene una longitud de 3 m.
- Basa: parte intermedia del tallo, de menor diámetro y distancia de entrenudos mayor respecto a la cepa, con una longitud de 8 m.
- Sobrebasa: respecto a la basa es de menor diámetro, su longitud aproximada es de 4 m.
- Varillón: diámetro de menor sección y longitud aproximada de 3 m.
- Copa: parte apical de la guadua, puede ser usado como aporte de materia orgánica, su longitud se encuentra entre 1.2 a 2 metros.

2.2 Estructura interna y comportamiento mecánico

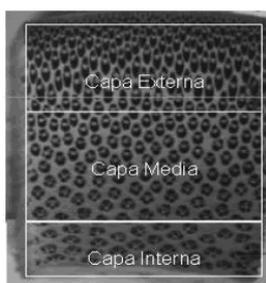
El comportamiento estructural del bambú está relacionado con las propiedades físico-mecánicas del material. El diseño de uniones seguras y eficientes presenta desafíos, debido a la variabilidad inherente en sus propiedades afectadas por distintos factores (especie, edad, contenido de humedad, procedencia, etc), la dificultad en la transmisión de esfuerzos y la necesidad de protegerlo de la degradación.

Esta variabilidad se encuentra relacionada directamente con la estructura interna del bambú, se caracteriza por una distribución no uniforme de las fibras y se divide en 3 capas: externa, intermedia e interna. La capa externa presenta la mayor concentración de fibras longitudinales, la capa intermedia tiene una menor concentración de fibras que la capa externa, mientras que, la capa interna es la de menor concentración de fibras.

Los esfuerzos de compresión y tensión paralela a la fibra son bajos y pueden ocasionar fallas tempranas en las uniones. Por lo tanto, es importante conocer la estructura interna del bambú y cómo influye en sus propiedades físico-mecánicas para diseñar uniones que sean capaces de resistir las cargas a las que estarán sometidas.

Figura 4

Estructura anatómica del espesor del bambú, capa externa, media e interna



Nota: fuente Osorio (2007)

2.2.1 Distribución de las fibras y la resistencia a la flexión

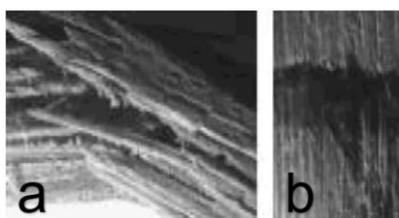
Debido a que la concentración de fibras es menor en las capas internas, la resistencia a la flexión en la *Guadua angustifolia* disminuye de la capa externa hacia la capa interna. Para optimizar la resistencia a la flexión, es importante concentrar los esfuerzos de flexión en las capas externas, según Osorio (2007).

2.2.2 Influencia de los nudos en la resistencia a la flexión

La presencia de nudos reduce la resistencia a la flexión debido a la discontinuidad de las fibras en esa zona. Al diseñar las uniones se deben reforzar las zonas con nudos para prevenir fallas prematuras, según Osorio (2007).

Figura 5

Estructura interna de muestras ensayadas a flexión: a) con nudo, b) sin nudo



Nota: fuente Osorio (2007)

2.2.3 Relación entre la estructura interna y la resistencia a la tensión

Según Osorio (2007), la resistencia a la tensión disminuye de la capa externa a la interna, lo cual se relaciona con la menor cantidad de células de fibras en las capas internas. Esto sugiere asegurar una distribución uniforme de las cargas de tensión a través de las diferentes capas de la Guadua.

2.3 Uniones estructurales

Según Martínez (2015), manifiesta que las uniones son el punto más débil y puede llevar a una situación de riesgo, la dificultad se presenta en elaborar uniones que soporten esfuerzos a tracción, por tal motivo requiere que tengan un buen diseño que garanticen la seguridad y estabilidad de la estructura de bambú.

Se presenta a continuación algunas definiciones de distintos autores:

Nolivos (2010), indica que las uniones deben cumplir los requerimientos estructurales y deben ser diseñadas con la finalidad de proporcionar continuidad entre las piezas de bambú, ya que las conexiones transmiten las cargas de un miembro a otro. Las uniones deben cumplir las condiciones de rigidez y buena resistencia mecánica.

(Morán, 2015), define la unión de bambú como todo medio que sirve para unir dos o más piezas de Guadua, así como también recomienda no usar clavos debido a que

generan rajaduras, y el uso de alambres genera uniones poco resistentes. Las uniones se podrán realizar mediante el uso de pernos pasantes (varillas roscadas, tuercas y arandelas), y un perno tensor que es de mayor longitud que el perno pasante, pudiendo ser roscada, con un gancho al extremo o con dos ojos a los extremos; esta unión queda fija ajustando las tuercas del perno pasante. La unión en diagonal se puede reforzar mediante el relleno de mortero en los entrenudos, así evitamos que el bambú sea cortado por el perno y aumentamos la resistencia al aplastamiento de la pared del bambú por el perno.

2.3.1 Tipos de uniones

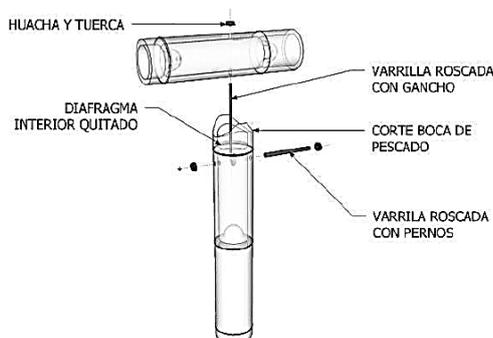
Nolivos, Juan & Yacelga, Jaime (2010) clasifican los tipos de uniones en: amarradas, empernadas, zunchadas, con piezas de madera, estructurales. Se prohíbe el uso de clavos, pero permite el uso de pernos de 9 mm como mínimo en uniones con piezas de madera.

- Uniones empernadas

Son aquellas uniones cuyos elementos conectores entre las piezas de bambú son pernos metálicos roscados y barras metálicas. Los agujeros en las piezas de bambú se deben realizar evitando el riesgo de rajaduras o daños en las fibras. No es necesario la inyección de mortero, pero si se recomienda, porque su aporte mejora el comportamiento estructural de las uniones.

Figura 6

Unión empernada



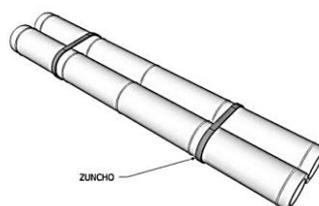
Nota: fuente RNE E-100

- Uniones zunchadas

En este tipo de uniones las fuerzas de tracción que actúan entre las piezas de bambú se transmiten a través de pletinas de acero, fibras naturales o sintéticas con alta resistencia a la tensión y se atornilla a la misma mediante pernos. Estas uniones se pueden utilizar para elaborar conexiones articuladas.

Figura 7

Unión zunchada



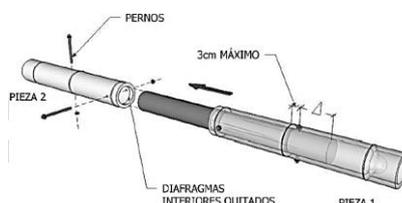
Nota: fuente RNE E-100

- Uniones con piezas de madera

Este tipo de uniones generalmente se usan para unir 2 piezas de bambú en forma longitudinal. El Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO, 2020) indica en el RNE E-100, que este tipo de uniones están compuestas de piezas de madera, tuercas, arandelas y pernos. La distancia entre el perno y el borde del tarugo que conecta las 2 piezas de bambú será de 5 diámetros del perno como mínimo y los pernos se ubican a una distancia máxima de 3 cm de los nudos.

Figura 8

Unión con pieza de madera



Nota: fuente RNE E-100

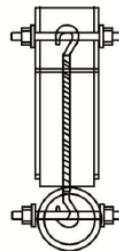
Las uniones zunchadas conectadas con tarugos o varillas metálicas, rellenas de mortero también son una alternativa, soportan cargas elevadas, pero de costo más elevado.

2.3.2 Conectores internos

Es importante considerar el uso de conectores internos para mejorar la resistencia, la estabilidad y asegurar una adecuada transmisión de las cargas en las uniones. El conector interno más común consiste en una varilla metálica con ganchos en los extremos, fijada a las piezas de bambú mediante pernos, arandelas y tuercas. Según el RNE E-100, los tornillos, pernos y tuercas deberán ser galvanizados o tratados con anticorrosivos a base de zinc.

Figura 9

Vista de perfil del conector interno en la unión



Nota: fuente RNE E-100

2.3.3 Material de relleno

León, D, & Sanclemente A. (2003), indican que el material de relleno que se inyecta en los canutos debe ser fluido para llenar completamente el entrenudo sin ningún problema, a su vez pueda fraguar y endurecer sin ayuda externa.

Figura 10

Vaciado de mortero



Nota: fuente RNE E-100

Además, el material de relleno cumple un papel importante, Huamán (2021) observó, que al emplearse mortero como relleno en las uniones se incrementa la resistencia y rigidez, debido a que los componentes internos se encuentran altamente confinados, evitando fallas prematuras por aplastamiento y por tensión perpendicular en las fibras. Sin embargo, es importante considerar el aumento de peso en la unión. El mortero deberá tener una proporción de 1:4 (cemento, arena gruesa), según el RNE E-100.

Los conectores metálicos en conjunto con el material de relleno restringen momentos flectores, torsiones y aportan mayor resistencia a la tracción y la compresión en la unión, Prieto (2004).

2.3.4 Refuerzo de uniones

Osorio (2007), justifica la necesidad de reforzar las uniones de *Guadua angustifolia*, especialmente en las zonas donde la resistencia es menor, como en zonas con nudos o próximas. Huamán (2021), observó que el uso de zunchos mejora el confinamiento de las paredes del bambú, aumentando su resistencia y transmitiendo los esfuerzos a los conectores internos de las uniones. Considerando estas ventajas, el refuerzo con zunchos sintéticos debido a sus buenas propiedades de elongación y resistencia se presenta como una alternativa. Su manipulación es segura durante el proceso de enzunchado comparado con un zuncho metálico y su bajo peso hace que sea un producto manejable.

2.3.5 Empalmes

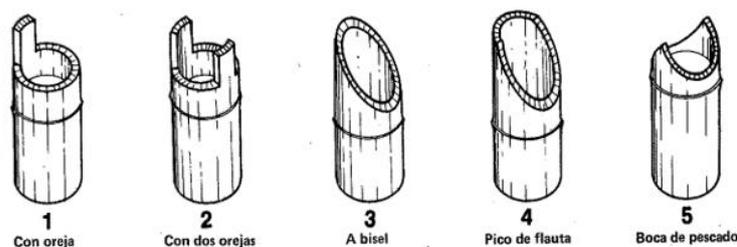
Si bien existen diversas técnicas para unir piezas de bambú, la Norma E-100 (SENCICO, 2020), ofrece lineamientos específicos para el diseño de uniones estructurales. Sugiere diferentes tipos de cortes para piezas de bambú (recto, a bisel, boca de pescado, pico de flauta), que facilitan la conexión entre elementos. Asimismo, proporciona detalles de cómo construir uniones colineales, perpendiculares y diagonales utilizando tarugos de madera, pernos y piezas metálicas, especificando los materiales y dimensiones.

Barnet y Jabrane (2018) señalan que el proceso para realizar uniones entre piezas de bambú, es principalmente artesanal. Para realizar los empalmes se requieren cortes especiales, pernos pasantes, tacos de madera y sogas, siendo los materiales más utilizados. Los cortes especiales más utilizados son:

1. Con oreja
2. Con dos orejas
3. A Bisel para ángulos inclinados distintos de 45°
4. Pico de Flauta para ángulos de 45°
5. Boca de pescado para ángulos de 90°

Figura 11

Tipos de empalmes



Nota: fuente Hidalgo (1981)

Los empalmes también se pueden realizar mediante el uso de moldes previamente impresos por computadora, para asegurar la precisión y uniformidad de los cortes. Estos moldes se superponían en forma envolvente sobre la pieza de bambú y se utilizan como guía para marcar, y realizar el corte respectivo.

2.3.6 Tipos de fallas

Conocer los distintos tipos de fallas que se producen en las uniones de bambú es fundamental para diseñar conexiones seguras y duraderas.

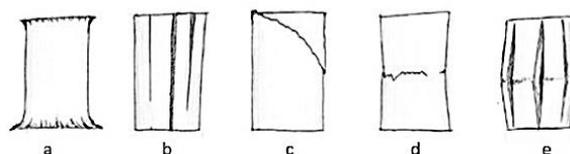
Salazar&Quintero&Fonthal (2016), en su investigación, concluyeron señalando los siguientes tipos de fallas:

- Falla por aplastamiento, cuando las fibras se pandean hacia el exterior en las zonas de contacto con las platinas de compresión.

- Falla por tensión de las fibras, ocurre cuando las tensiones tangenciales separan las fibras entre sí.
- Falla por corte, cuando las fibras fallan por la propagación de esfuerzos diagonales.
- Falla por pandeo general de las fibras en dirección interna, ocurre cuando las fibras se pandean en la parte intermedia y en dirección interna al culmo, debido a las fuerzas tangenciales de tensión.
- Falla por pandeo general de las fibras en dirección externa, ocurre cuando las fibras se pandean en la parte intermedia y en dirección externa al culmo, debido a las fuerzas tangenciales de tensión.

Figura 12

Tipos de fallas: a) Por aplastamiento, b) Por tensión a las fibras, c) Por corte, d) Por pandeo general de las fibras en dirección interna, e) Por pandeo general de las fibras en dirección externa.



Nota: fuente Salazar&Quintero&Fonthal (2016)

2.4 Requisitos de selección, valores indicados en el Anexo D y valores admisibles, según el RNE E-100

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú, a través de su Norma E-100 Bambú (2020), establece los lineamientos técnicos obligatorios para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes que utilizan bambú como material estructural. Esta norma busca garantizar la seguridad y durabilidad de las construcciones, promoviendo el uso adecuado de este recurso natural renovable. Un aspecto fundamental de la Norma E-100 es la especificación de que, para elementos estructurales como columnas, vigas y uniones, se emplee exclusivamente la especie *Guadua angustifolia*.

Esta elección se basa en las propiedades físico-mecánicas superiores de esta especie en comparación con otras variedades de bambú.

Los esfuerzos admisibles definidos en la Norma E-100 son valores límite que representan la capacidad máxima que puede soportar un elemento estructural de bambú bajo diferentes tipos de carga (compresión, tracción, flexión, corte) sin riesgo de falla.

2.4.1 Requisitos de selección

Para garantizar la validez de los valores admisibles, se establecen requisitos, entre los más resaltantes y necesarios para esta investigación tenemos:

- La edad de cosecha debe estar entre los 4 y 6 años (para garantizar sus propiedades).
- Las cañas de bambú, deberán estar preservadas para protegerlas de agentes externos como insectos y hongos (para garantizar su durabilidad).
- Estar libre de agrietamientos superiores o iguales al 20% de la longitud del tronco, fisuras perimetrales o longitudinales, perforaciones por ataque de insectos o algún grado de pudrición (para garantizar su resistencia estructural).
- El contenido de humedad debe corresponderse con el contenido de humedad de equilibrio del lugar (para evitar problemas de contracción o hinchazón).
- Las piezas de bambú, deben ser cortadas de tal forma que quede un nudo entero en cada extremo o próximo a él, a una distancia máxima $D = 6$ cm del nudo (para garantizar un buen diseño).

2.4.2 Valores indicados en el Anexo D para la resistencia en uniones

Para el diseño de uniones de *Guadua angustifolia*, el Anexo D de la Norma E-100 del RNE proporciona valores indicados para la resistencia en uniones (colineales, diagonales y perpendiculares), que se presentan en la Tabla 3. Estos valores se determinan experimentalmente, aplicando un factor de seguridad $FS=3$ al valor promedio de al menos cinco ensayos realizados con la configuración específica de la unión. Este

enfoque permite una evaluación más precisa del comportamiento de la unión, teniendo en cuenta la complejidad de las interacciones entre sus diferentes componentes.

La carga admisible (F_{adm}) se calcula como:

$$F_{adm} = \frac{\text{Carga Experimental Promedio}}{FS}$$

Tabla 3

Valores indicados en el Anexo D del RNE E-100

DESCRIPCIÓN	Anexo D, RNE E-100 Valores Indicados (kg)
COLINEALES (0°)	350
DIAGONALES (30°)	200
DIAGONALES (45°)	200
DIAGONALES (60°)	200
PERPENDICULARES (90°)	200

Nota: Adaptado de RNE E-100

2.4.3 Esfuerzos admisibles

Los valores de esfuerzos admisibles para diseño según el RNE E-100 se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4

Esfuerzos admisibles para diseño (RNE E-100)

COMPRESIÓN PARALELA	TRACCIÓN PARALELA	CORTE PARALELO	FLEXIÓN
(fc)	(ft)	(fv)	(fm)
13 MPa	16 MPa	1 MPa	5 MPa
(130 kg/cm ²)	(160 kg/cm ²)	(10 kg/cm ²)	(50 kg/cm ²)

Nota: fuente RNE E-100

2.4.4 Módulo de elasticidad (E)

En el diseño estructural según el RNE E-100, se utiliza el módulo de elasticidad promedio para entramados (estructuras formadas por varias piezas unidas entre sí), mientras que para columnas aisladas se aplica el módulo de elasticidad mínimo.

El uso de dos valores diferentes para el módulo de elasticidad refleja la variabilidad natural del bambú y permite un diseño más conservador en elementos estructurales

críticos como columnas, donde la estabilidad es primordial. Los valores admisibles para diseño se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5

Módulo de elasticidad admisible para diseño (RNE E-100)

DESCRIPCIÓN	RNE E-100 (MPa)
E MÍNIMO	7300
E PROMEDIO	9500

Nota: fuente RNE E-100

Capítulo III: Ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas del bambú

Para realizar los ensayos de las propiedades físico-mecánicas y de tracción, se utilizó un lote de 50 culmos (cañas de bambú), proporcionado por SENCICO, con una longitud promedio de 6 metros. Estos culmos fueron clasificados en dos grupos: basa y cepa, y codificados individualmente para facilitar su seguimiento. Es importante destacar que las propiedades del bambú pueden variar considerablemente según su origen geográfico y especie. Se describen los ensayos realizados para evaluar las propiedades físico-mecánicas. Cada procedimiento se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas por la norma NTC 5525:2018.

El objetivo de este capítulo es describir detalladamente la metodología y los resultados de los ensayos realizados, a fin de caracterizar el bambú utilizado en este estudio.

3.1 Lugar de procedencia

El bambú utilizado en este estudio proviene del Caserío Limoncito, Distrito La Florida, Provincia San Miguel, Departamento de Cajamarca, cuyas condiciones climáticas y del suelo favorecen el desarrollo de *Guadua angustifolia* con atributos que cumplen con los requisitos establecidos en el RNE E-100:2020, como se evidencia en la tesis de Huamán realizada en el año 2021. Esta tesis sirve como base comparativa para evaluar nuevas alternativas de reforzamiento de uniones en este estudio. Los culmos se entregaron debidamente preservados, sin rajaduras y con una edad promedio de 4 años.

3.2 Culmos utilizados

Para la elaboración de las probetas, también llamados especímenes, se utilizaron 50 culmos, los cuales se dividieron en dos grupos: 25 correspondientes a la parte basa (culmos de menor diámetro) y 25 a la parte cepa (culmos de mayor diámetro).

Figura 13*Culmos utilizados***3.2.1 Culmos parte basa**

A continuación, se presenta el listado de culmos clasificados en parte basa, codificados individualmente y con detalles de sus dimensiones:

Tabla 6

Dimensiones individuales de los culmos de la parte basa

BASA									
Descripción	Culmo	Diámetro inf. (cm)	Espesor inf. (cm)	Diámetro sup. (cm)	Espesor sup. (cm)	L (m)	Entrenudos (cm)		
							inf.	med.	sup.
B1	1	9.2	1.2	7.7	0.8	6.0	21	26	27
B2	2	9.5	1.5	7.6	0.8	7.0	23	29	36
B3	3	9.7	1.1	8.1	0.8	6.0	27	34	40
B4	4	9.9	1.2	7.4	0.6	6.0	20	27	25
B5	5	9.9	2	8.8	1	6.0	15	30	36
B6	6	10	1.2	8.5	0.8	7.3	20	30	36
B7	7	10.1	1.9	8.2	0.6	6.0	19	28	30
B8	8	10.2	1.2	6.8	0.5	8.2	22	33	30
B9	9	10.4	1.2	7.9	0.7	6.0	23	34	32
B10	10	10.4	1.6	7.1	0.7	7.2	24	34	36
B11	11	10.5	1.4	7.8	0.7	6.0	19	30	29
B12	12	10.7	1.3	8.6	0.7	6.0	24	33	37
B13	13	10.7	1.1	8.6	0.6	6.0	23	33	40
B14	14	10.7	1.6	7.9	0.5	6.0	18	28	32
B15	15	10.7	1.6	8.6	0.7	6.0	23	32	33
B16	16	10.8	1.4	8.8	0.7	6.0	23	34	35
B17	17	10.8	2.3	8.2	1	6.02	16	24	28
B18	18	10.8	2.1	8.6	0.8	6.04	20	28	36
B19	19	10.9	1.2	8.4	0.9	6.04	23	29	31
B20	20	11	1.4	9	0.8	6.2	22	32	31
B21	21	11	1.3	8.3	0.8	7.2	26	35	37
B22	22	11	1.4	8.4	0.8	6.1	21	27	20
B23	23	11	1.5	7.7	0.8	8.2	25	36	36
B24	24	11	1.6	8.2	0.7	6.0	25	38	31
B25	25	11	1.6	8	0.8	6.0	24	35	30

Tabla 7*Dimensiones promedio de los culmos de la parte basa*

Diámetro inf. (cm)	Espesor inf. (cm)	Diámetro sup. (cm)	Espesor sup. (cm)	L (m)	Entrenudos (cm)		
					inf.	med.	sup.
10.5	1.5	8.1	0.7	6.4	21.8	31.2	32.6

3.2.2 Culmos parte cepa

A continuación, se presenta el listado de culmos clasificados en parte cepa, codificados individualmente y con detalles de sus dimensiones:

Tabla 8*Dimensiones individuales de los culmos de la parte cepa*

CEPA									
Descripción	Culmo	Diámetro inferior (cm)	Espesor inferior (cm)	Diámetro superior (cm)	Espesor superior (cm)	L (m)	Entrenudos (cm)		
							inf.	med.	sup.
C1	1	11.1	1.9	9.5	0.7	6.0	20	30	34
C2	2	11.1	1.5	7.9	0.8	6.1	22	27	32
C3	3	11.2	1.5	9.3	0.8	6.0	23	30	37
C4	4	11.2	1.6	8.7	0.8	6.1	21	28	31
C5	5	11.2	1.5	8.1	0.7	7.2	26	38	36
C6	6	11.2	1.5	8.6	1.4	6.1	23	34	33
C7	7	11.3	2.2	8.4	0.8	6.0	22	34	37
C8	8	11.4	1.2	8.3	0.7	6.0	25	34	36
C9	9	11.4	1.1	8.5	0.7	6.0	27	34	31
C10	10	11.5	1.6	8.5	0.7	6.0	20	24	30
C11	11	11.5	2.2	7.9	0.6	6.0	22	26	34
C12	12	11.5	1.2	8.2	0.7	6.0	24	30	32
C13	13	11.5	1.4	8.8	0.7	6.1	19	29	37
C14	14	11.5	1.3	7.1	0.6	7.2	27	32	36
C15	15	11.5	1.3	7.1	0.8	8.2	24	31	36
C16	16	11.6	1.7	7.3	0.6	6.0	20	26	27
C17	17	11.6	1.9	8.3	1	6.1	33	35	31
C18	18	11.8	2.5	8.4	0.7	6.2	17	26	33
C19	19	11.8	1.6	9.5	0.8	6.0	21	32	36
C20	20	11.9	1.5	7.8	0.8	8.3	22	34	33
C21	21	11.9	1.7	9.4	0.9	6.0	22	33	36
C22	22	11.9	1.3	8.4	0.8	6.0	25	33	34
C23	23	12.4	1.4	8.2	0.9	8.2	23	33	31
C24	24	12.4	1.5	8.4	0.8	6.0	24	31	31
C25	25	12.7	1.4	7.8	0.7	8.2	24	36	32

Tabla 9

Dimensiones promedio de los culmos de la parte cepa

Diámetro inf. (cm)	Espesor inf. (cm)	Diámetro sup. (cm)	Espesor sup. (cm)	L (m)	Entrenudos (cm)		
					inf.	med.	sup.
11.6	1.6	8.3	0.8	6.5	23.0	31.2	33.4

Figura 14

Culmos clasificados en basa



Figura 15

Culmos clasificados en cepa



3.3 Normas vigentes

Debido a la ausencia de una norma técnica peruana específica para la realización de ensayos de bambú, se optó por emplear metodologías internacionales reconocidas para evaluar las propiedades físico-mecánicas. Estas normas son las siguientes:

- Norma ISO/22157-1:2004 Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part 1: Requirements.
- Norma ISO/22157-2:2004 Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part 2: Laboratory Manual.
- Norma NTC/5525:2018 Métodos de Ensayo para determinar las propiedades Físicas y Mecánicas de la *Guadua Angustifolia* Kunth.

La norma NTC 5525:2018 fue seleccionada debido a que es una adaptación oficial al idioma español de las normas ISO 22157 y porque se aplica a la especie en estudio. La disponibilidad de la norma en español facilita su comprensión e implementación, asegurando la correcta aplicación de los procedimientos de cada ensayo.

3.4 Elaboración de probetas para determinar las propiedades físico-mecánicas

Con base en los resultados y la metodología validados en la tesis de Huamán, donde se caracterizaron las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia*, SENCICO, en coordinación con el Ing. Hernán Arboccó, decidieron elaborar un total de 36 probetas (cantidad que se consideró suficiente): 20 de geometría cilíndrica para ensayos de compresión paralela y corte paralelo, 10 con geometría especial para ensayos de tensión paralela (extremos de 2 cm de ancho y centro de 1 cm para inducir la falla en el nudo), y 6 probetas de 4 m para ensayos de flexión (escala real). Se consideró que esta cantidad era suficiente para obtener resultados representativos.

Las muestras para la densidad y el contenido de humedad, fueron tomadas al finalizar cada ensayo y lo más cercano a la zona de la falla.

Tabla 10

Descripción de las probetas utilizadas en los ensayos

ENSAYO	CANTIDAD DE PROBETAS	DETALLE DE PROBETA A HABILITAR
COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	5	Probetas cilíndricas de bambú de 10 cm de altura, debidamente codificadas, sin presencia de nudos y obtenidos de la parte inferior de los culmos (cepa).
	5	Probetas cilíndricas de bambú de 10 cm de altura, debidamente codificadas, sin presencia de nudos y obtenidos de la parte superior de los culmos (basa).
TENSION PARALELA A LA FIBRA	5	Probetas cilíndricas de bambú de dimensiones indicadas, debidamente codificadas, cada una con presencia de un nudo y obtenidos de la parte inferior de los culmos (cepa).
	5	Probetas cilíndricas de bambú de dimensiones indicadas, debidamente codificadas, cada una con presencia de un nudo y obtenidos de la parte superior de los culmos (basa).

CORTE PARALELO A LA FIBRA	5	Probetas cilíndricas de bambú de 10 cm de altura, debidamente codificadas, y obtenidos de la parte inferior de los culmos (cepa), 3 sin nudo y 2 con nudo.
	5	Probetas cilíndricas de bambú de 10 cm de altura, debidamente codificadas, y obtenidos de la parte superior de los culmos (basa), 3 sin nudo y 2 con nudo.
FLEXIÓN ESCALA REAL	3	Probetas cilíndricas de bambú de 4 m de largo, debidamente codificadas y obtenidos de la parte inferior de los culmos (cepa).
	3	Probetas cilíndricas de bambú de 4 m de largo, debidamente codificadas y obtenidos de la parte superior de los culmos (basa).

Figura 16

Probeta para el ensayo de tensión paralela a la fibra

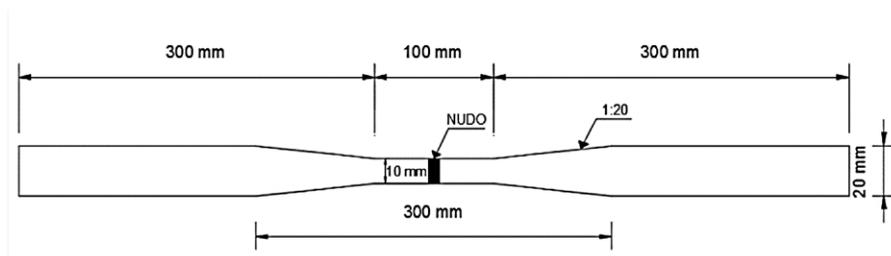


Figura 17

Probeta para ensayo de compresión paralela, corte paralelo y contracción

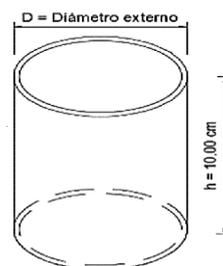


Figura 18

Probeta para el ensayo de flexión (escala real)

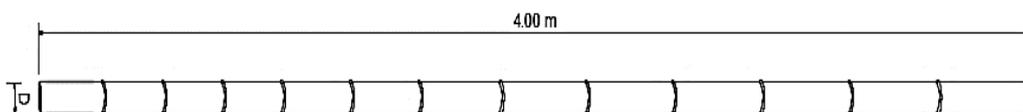


Figura 19

Probetas para el ensayo de humedad y densidad



3.5 Procedimiento de los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas

Para determinar las propiedades físico-mecánicas en ensayos de *Guadua angustifolia*, se siguieron los procedimientos establecidos por la norma colombiana NTC 5525:2018, dada su amplia aceptación.

3.5.1 Procedimiento del ensayo para determinar la contracción

Para determinar la contracción en las probetas, se siguieron los procedimientos de la norma colombiana NTC 5525, sección 8, que indica medir el diámetro externo, espesor de la pared y la altura, antes y después del secado de los especímenes cilíndricos. Se prepararon 10 especímenes, provenientes de la parte basa y parte cepa, distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 11

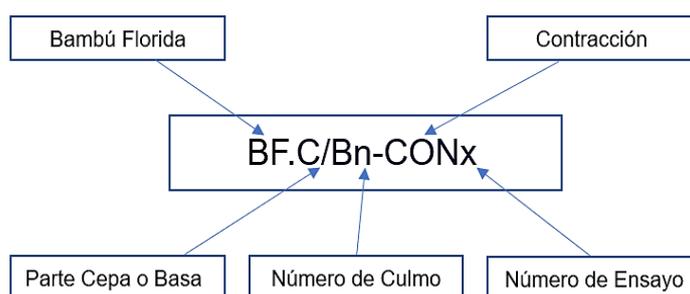
Cantidad de probetas utilizadas en el ensayo de contracción

ENSAYO	CEPA	BASA	TOTAL
CONTRACCIÓN	5	5	10

Equipo utilizado

- Vernier Digital
- Horno eléctrico de secado a 103°C

Codificación de probetas de contracción



Procedimiento

Las probetas utilizadas fueron sin nudos, con las siguientes medidas:

Tabla 12

Dimensiones de las probetas para el ensayo de contracción

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
D (cm)	10
H (cm)	10
t (cm)	Variable

- D: Diámetro de la probeta
- H: Altura de la probeta
- t: Espesor de la probeta (espesor del bambú)

Figura 20

Probetas para el ensayo de contracción



Determinar las dimensiones (4 diámetros, 4 alturas y 4 espesores), del espécimen inicial con Vernier.

Ingresar la probeta al horno para el secado a una temperatura de 103°C durante un periodo de 24 horas. Posteriormente, retirar la probeta del horno.

Comprobar con intervalos de 2 mediciones consecutivas de la muestra, cada 2 horas, que no exceda en 0.01 gramos y se procede a tomar las dimensiones finales.

Cálculos y resultados

El porcentaje de contracción se calculó usando la fórmula del apartado 8.6 tomada de la NTC 5525, la cual es la siguiente:

$$CON = \frac{(I - F)}{I} * 100$$

Donde:

- CON : Porcentaje de Contracción
- I : Lectura Inicial
- F : Lectura Final

El porcentaje de contracción representativo se obtiene como la media aritmética de los resultados individuales obtenidos a partir de las probetas.

3.5.2 Procedimiento del ensayo para determinar la densidad

Para determinar la densidad de las probetas, se siguieron los procedimientos de la norma colombiana NTC 5525, sección 7. En este ensayo, la masa se determinó mediante el pesaje y el volumen se obtuvo mediante el método del volumen desplazado. Se prepararon 96 especímenes, provenientes de la parte basa y parte cepa, distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 13

Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de densidad

ENSAYO	CEPA	BASA	TOTAL
FLEXIÓN	3	3	6
COMPRESIÓN	5	5	10
CORTE	5	5	10
TENSIÓN	5	5	10
TENSIÓN EN UNIONES COLINEALES	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 30°	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 45°	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 60°	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 90°	6	6	12
TOTAL	48	48	96

Equipo utilizado

- Balanza (error ± 0.01 gr.)
- Horno eléctrico de secado a 103°C
- Probeta de ensayo
- Recipiente desecador

Codificación de probetas de densidad

La codificación de las probetas es la misma que corresponde a la codificación de los ensayos físico-mecánicos.

Procedimiento

La muestra se extrajo seguidamente después de cada ensayo físico-mecánico, lo más cercano a la zona de falla. Se cortan las muestras a la dimensión como se indica:

Tabla 14

Dimensiones de las probetas para el ensayo de densidad

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
A (cm)	2.5
H (cm)	10
t (cm)	Variable

- A: Ancho de la probeta
- H: Altura de la probeta
- t: Espesor de la probeta

Figura 21

Probetas para el ensayo de densidad



Luego saturar las probetas, sumergiéndolas bajo agua por un periodo de 2 semanas.

Extraer las probetas del agua, llenar un volumen de 450 ml en una probeta con agua destilada luego sumergir la muestra en la probeta graduada y registrar el nuevo volumen (el volumen de la probeta será el volumen desplazado) en centímetros cúbicos (cm³). Este valor se convertirá a milímetros cúbicos (mm³) utilizando el factor de conversión 1 cm³ = 1000 mm³ para ser utilizado en la fórmula de la densidad.

Luego ingresar las muestras al horno de secado a una temperatura de 103°C durante 24 horas. Después retirar del horno y tomar lectura de su peso, e ingresar nuevamente al horno.

El procedimiento de secado y pesaje se repitió cada 2 horas hasta que la diferencia entre dos mediciones consecutivas fuera menor a 0.01 gr, lo cual indica que la probeta ha alcanzado un peso constante y se considera en estado anhidro.

Cálculos y resultados

Determinar la masa en estado anhidro con un error de ± 0.01 gr.

La densidad se calculó usando la fórmula del apartado 7.6 tomada de la NTC 5525 y es la siguiente:

$$\rho = \frac{m}{V} * 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

- ρ : Densidad en kg/m³ (masa por unidad de volumen)
- m : Masa en gr.
- V : Volumen saturado en mm³

3.5.3 Procedimiento del ensayo para determinar el contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad, se siguieron los procedimientos de la norma colombiana NTC 5525, sección 6. Este procedimiento se basa en la pérdida de masa expresada en porcentaje. Se prepararon 96 especímenes, provenientes de la parte basa y parte cepa, distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 15*Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de contenido de humedad*

ENSAYO	CEPA	BASA	TOTAL
FLEXIÓN	3	3	6
COMPRESIÓN	5	5	10
CORTE	5	5	10
TENSIÓN	5	5	10
TENSIÓN EN UNIONES COLINEALES	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 30°	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 45°	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 60°	6	6	12
TENSIÓN EN UNIONES 90°	6	6	12
TOTAL	48	48	96

Equipo utilizado

- Balanza (error ± 0.01 gr.)
- Horno eléctrico de secado a 103°C
- Probeta de ensayo
- Recipiente desecador

Codificación de probetas de contenido de humedad

La codificación de las probetas es la misma que corresponde a la codificación de los ensayos físico-mecánicos.

Procedimiento

La muestra se extrajo seguidamente después de cada ensayo físico-mecánico, lo más cercano a la zona de falla. Se cortan las muestras a la dimensión como se indica:

Tabla 16*Dimensiones de las probetas para el ensayo de contenido de humedad*

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
A (cm)	2.5
H (cm)	10
t (cm)	Variable

Donde:

- A: Ancho de la probeta
- H: Altura de la probeta
- t: Espesor de la probeta

Figura 22

Probetas para el ensayo de contenido de humedad



Pesar las probetas antes del secado con una balanza (error ± 0.01 gr.)

Luego se ingresan las muestras al horno de secado a una temperatura de 103°C durante 24 horas. Después se retiran del horno y se toma lectura de su peso, e ingresar nuevamente al horno.

El procedimiento de secado y pesaje se repitió cada 2 horas hasta no obtener variaciones en 2 lecturas consecutivas menores a 0.01 gr, lo cual indica que la probeta ha alcanzado un peso constante y se considera en estado anhidro.

Cálculos y resultados

El contenido de humedad se calculó usando la fórmula del apartado 6.6 tomada de la NTC 5525, la cual es la siguiente:

$$CH = \frac{(m - ms)}{ms} * 100$$

Donde:

- CH: Contenido de humedad, en %
- m: Masa antes del secado, en gr.
- ms: Masa después del secado, en gr.

3.5.4 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo de compresión paralela a la fibra

Para determinar el esfuerzo de compresión paralela a la fibra se siguieron los procedimientos de la norma colombiana NTC 5525, sección 9. Se prepararon 10 probetas en total, provenientes de la parte basa y parte cepa, distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 17

Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de compresión paralela a la fibra

ENSAYO	CEPA	BASA	TOTAL
COMPRESIÓN	5	5	10

Equipo utilizado

- Máquina universal Zwick Roel
- Celda de Carga con Capacidad máxima 50 ton.
- Sensor LVDT
- Placas metálicas circulares (para distribuir la carga uniformemente)

Codificación de probetas de esfuerzo de compresión paralela a la fibra



Procedimiento

Las probetas utilizadas fueron sin nudos, con las siguientes medidas:

Tabla 18

Dimensiones de las probetas para el ensayo de compresión paralela a la fibra

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
D (cm)	10
H (cm)	10
t (mm)	Espesor del bambú

Donde:

- D: Diámetro de la probeta
- H: Altura de la probeta
- t: Espesor de la probeta

Figura 23

Probeta para el ensayo de compresión paralela a la fibra



Se colocaron 2 placas metálicas, en la parte superior e inferior de la probeta para distribuir la carga uniformemente. Luego se coloca la celda de carga encima de la placa metálica superior.

Posteriormente, verificar que el espécimen se encuentre en el eje vertical de la máquina.

La velocidad del ensayo es de 0.015 mm/s, correspondiente al deslizamiento de los cabezales.

Finalmente se registra la carga última.

Cálculos y resultados

El esfuerzo último a la compresión paralela a las fibras (σ_{ult}), se calculó usando la fórmula del apartado 9.6.1 tomada de la NTC 5525, la cual se presenta a continuación:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$
$$\sigma_{ult} = \frac{4 * F_{ult}}{\pi * (De^2 - Di^2)}$$

Donde:

- σ_{ult} : Esfuerzo Último a Compresión (MPa ó N/mm²)
- F_{ult} : Carga de falla de la probeta (N)
- A : Área de la sección transversal de la probeta (mm²)
- De : Diámetro externo promedio de la probeta (mm)
- Di : Diámetro interno promedio de la probeta (mm)

3.5.5 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo último de tensión paralela a la fibra

Para determinar el esfuerzo último de tensión paralela a la fibra se siguieron los procedimientos de la norma colombiana NTC 5525, sección 12. Se prepararon 10 probetas en total, provenientes de la parte basa y parte cepa, distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 19

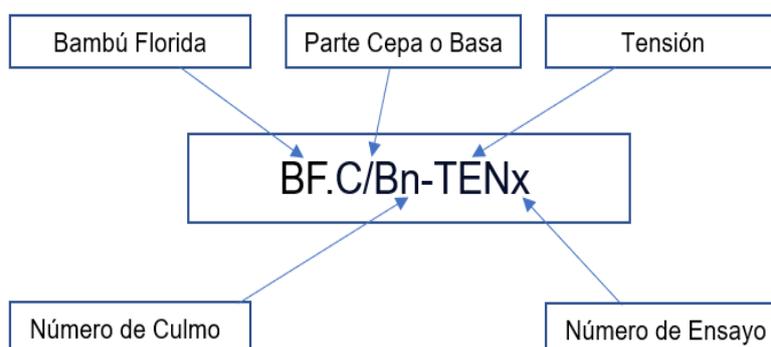
Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de tensión paralela a la fibra

ENSAYO	CEPA	BASA	TOTAL
TENSIÓN	5	5	10

Equipo utilizado

- Máquina universal Zwick Roel
- Cronómetro
- Deformímetro capaz de medir desplazamientos con una aproximación de 0.01 mm
- Mordazas que evitan el deslizamiento de la lámina de bambú
- Dispositivo para ensayo a tensión

Codificación de probetas de esfuerzo último de tensión paralela a la fibra



Procedimiento

Las probetas utilizadas y extraídas de los culmos presentan una longitud total de 70 cm y nudo en la mitad, siendo los extremos de un ancho de 2 cm y espesor igual a la pared del bambú.

Tabla 20

Dimensiones de las probetas para el ensayo de tensión paralela a la fibra

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
H (cm)	70
A (cm)	2
t (mm)	Variable

Donde:

- A: Ancho de la probeta
- H: Altura de la probeta
- t: Espesor de la probeta

Figura 24

Probetas para el ensayo de tensión paralela a la fibra



Se colocan las mordazas planas con textura y nivel de rugosidad específica para que no se presenten deslizamientos de las probetas.

Se coloca el dispositivo de tensión a la probeta de tal manera que fije los 2 puntos de lectura inicial del deformímetro separados a 20 cm (10 cm equidistante del nudo a cada extremo).

Se realizan lecturas del deformímetro, para incrementos de carga constante de 50 kg.

Se realiza el ensayo a una velocidad de 0.015 mm/s que corresponde al deslizamiento de los cabezales de la máquina.

Finalmente se registra la carga última.

Cálculos y resultados

El esfuerzo último de tensión paralela a las fibras (σ_{ult}), se calculó usando la fórmula del apartado 12.6.1 tomada de la NTC 5525, la cual es la siguiente:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

- σ_{ult} : Esfuerzo Último a Tensión (MPa ó N/mm²)
- F_{ult} : Carga de falla de la probeta (N)
- A : Área de la sección transversal de la probeta (mm²)

3.5.6 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo último de corte paralelo a la fibra

Para determinar el esfuerzo último de corte paralelo a la fibra se siguieron los procedimientos de la norma colombiana NTC 5525, sección 11. Se prepararon 10 probetas en total, provenientes de la parte basa y parte cepa, distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 21

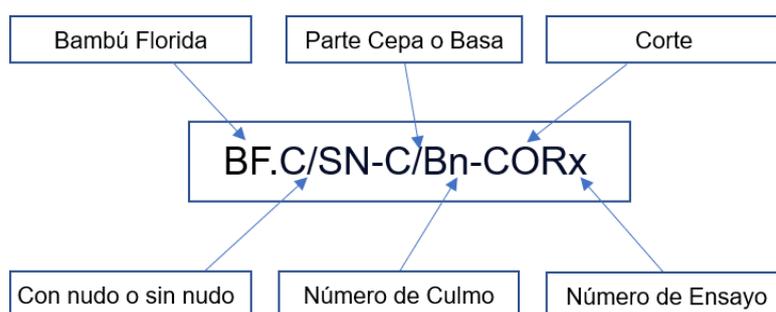
Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de corte paralelo a la fibra

CORTE PARALELO	CEPA	BASA	TOTAL
SIN NUDO	2	2	4
CON NUDO	3	3	6
TOTAL	5	5	10

Equipo utilizado

- Máquina universal Zwick Roel
- Dispositivos de ensayo para corte (inferior y superior)

Codificación de probetas de esfuerzo último de corte paralelo a la fibra



Procedimiento

Las probetas utilizadas y extraídas de los culmos fueron sin nudos y con nudos.

Tabla 22

Dimensiones de las probetas para en el ensayo de corte paralelo a la fibra

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
D (cm)	10
H (cm)	10
t (mm)	Variable

Donde:

- D: Diámetro de la probeta
- H: Altura de la probeta
- t: Espesor de pared del bambú

Figura 25

Probeta para el ensayo de corte paralelo a la fibra



Se coloca el dispositivo de corte inferior en la máquina, teniendo en consideración que su posición se encuentre centrada con respecto a la probeta.

Luego se coloca la probeta, y después la parte faltante superior del dispositivo.

La velocidad del ensayo es de 0.015 mm/s, correspondiente al deslizamiento de los cabezales.

Finalmente se registra la carga última.

Cálculos y resultados

El esfuerzo último de corte paralelo a las fibras (τ_{ult}), se calculó usando la fórmula del apartado 11.6 tomada de la NTC 5525, la cual es la siguiente:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\Sigma(t \times L)}$$

Donde:

- τ_{ult} : Esfuerzo Último a Corte (MPa ó N/mm²)
- F_{ult} : Carga de falla de la probeta (N)
- $\Sigma(t \times L)$: Sumatoria de los productos de t x L (mm²)
- t: Espesor de pared del Bambú (mm)
- L: Longitud de la Probeta (mm)

3.5.7 Procedimiento del ensayo para determinar el esfuerzo de flexión

Para determinar el esfuerzo último de flexión se siguieron los procedimientos de la norma colombiana NTC 5525, sección 10. Se prepararon 6 probetas en total, provenientes de la parte basa y parte cepa, distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 23

Cantidad de probetas utilizadas para el ensayo de flexión

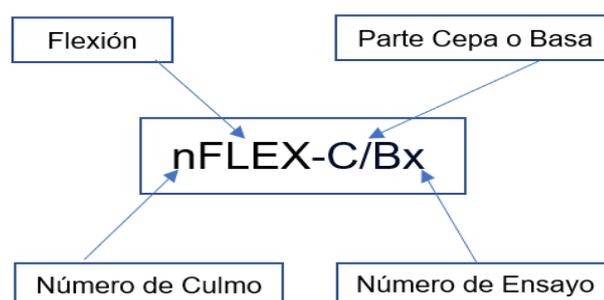
ENSAYO	CEPA	BASA	TOTAL
FLEXIÓN	3	3	6

Equipo utilizado

- Máquina uniaxial
- Celda de carga
- Abrazaderas Media Luna
- Planchas metálicas rectangulares

- Soporte imantado
- Planchas metálicas circulares
- Nivel
- Ordenador integrador de la celda y sensor LVDT
- Pieza de Neopreno

Codificación de probetas de esfuerzo de flexión



Procedimiento

Las probetas utilizadas y extraídas de los culmos presentan una longitud total de 4 m.

Tabla 24

Dimensiones de las probetas para el ensayo de flexión

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
D (cm)	10 cm
L (m)	4
t (mm)	Variable

Donde:

- D: Diámetro de la probeta
- L: Longitud de la probeta
- t: Espesor de pared del bambú

Colocar los dispositivos de apoyo antes de colocar la muestra. Asegurarse de ubicar el espécimen de manera que se encuentre centrado respecto a los apoyos, luego tomar 5 medidas de los diámetros externos en los apoyos preliminares e incluir la medida del diámetro de la parte central y verificándose que la luz libre tenga una medida mínima

de 30 veces el diámetro promedio, en caso contrario se debe mover la posición de los apoyos.

Definida la posición de la probeta se colocan las abrazaderas media luna y los pistones de carga respecto de los apoyos fijos una distancia de $L/3$, de tal manera que por medio de placas rectangulares de los apoyos fijos transmitan la carga a las abrazaderas y estas al bambú, sin dañarlo, luego retirar el pistón del lado derecho y se coloca la celda de carga de compresión.

Se colocan piezas de neopreno entre las abrazaderas y el bambú con la finalidad de que el espécimen tenga protección y se transmita la carga uniforme.

Se coloca en la parte central de la luz el sensor LVDT mediante una abrazadera media luna y un soporte imantado, para el registro de la deformación.

La velocidad del ensayo es de 0.015 mm/s, correspondiente al deslizamiento de los cabezales.

Se observan los puntos de falla, tipo de falla, grietas y se hace el registro respectivo.

Finalizado el ensayo se debe tomar registro del diámetro externo y espesor de la pared, lo más cercano a la zona de falla. El promedio de los diámetros y espesores registrados se deben usar para calcular el momento de inercia (I_b).

Se toman muestras lo más cercano a la zona de falla que son de utilidad para calcular el contenido de humedad y densidad.

Cálculos y resultados

El esfuerzo último de flexión (σ_{ult}), se calculó usando la fórmula del apartado 10.6.1 tomada de la NTC 5525, la cual se presenta a continuación:

$$\sigma_{ult} = \frac{F * L * D/2}{6} * I_b$$

Donde:

- σ_{ult} : Esfuerzo Último a Flexión (MPa ó N/mm²)

- F: Carga máxima aplicada (N), la carga total aplicada en los 2 puntos de apoyo
- L: Luz (mm) o espacio de separación
- D: Diámetro externo (mm)
- I_b : Momento de Inercia (mm⁴)

El módulo de elasticidad E, en MPa, se calculó usando la fórmula del apartado 10.6.2 tomada de la NTC 5525, la cual se presenta a continuación:

$$E = \frac{23 * F * L^3}{1296 * \delta * I_b}$$

Donde:

- δ : Deflexión medida en el centro de la luz, en mm.

El momento de inercia I_b , se calculó usando la fórmula del apartado 10.5.1 tomada de la NTC 5525, la cual se presenta a continuación:

$$I_b = \frac{\pi * [D^4 - (D - 2 * t)^4]}{64}$$

- t : Espesor de la pared, en mm

Figura 26

Probeta para el ensayo de flexión



Figura 27

Ensayo a flexión (escala real)



Capítulo IV: Ensayos para determinar la resistencia a la tensión en uniones estructurales

Dada la importancia de la resistencia de las uniones de bambú. En este capítulo se describen los ensayos realizados para determinar la resistencia a la tensión de uniones inclinadas y colineales de *Guadua angustifolia*, con y sin refuerzo sintético, a fin de evaluar su efectividad.

Debido a la variabilidad de las dimensiones y los ángulos de las uniones inclinadas, se empleó un armazón metálico para cada inclinación, asegurando la alineación del elemento de tracción superior con la varilla que une las piezas de bambú y evitando así las cargas no axiales. Se seleccionaron ángulos de inclinación de 30°, 45°, 60° y 90° para observar el comportamiento de las uniones bajo diferentes condiciones de carga.

4.1 Ensayos preliminares

Se realizaron ensayos preliminares para evaluar el comportamiento de las uniones de bambú y definir los componentes más adecuados, como la varilla interna de dos ojos, el zuncho sintético y la hebilla de acero.

4.1.1 Ensayos preliminares a uniones perpendiculares sin pieza superior

Se llevaron a cabo ensayos en uniones de 90° sin la pieza superior de bambú, sin mortero y con varilla de acero de dos ojos de 3/8", unas con punto de soldadura y otras sin él, para estudiar el comportamiento de la varilla de ojos y la pieza inferior de bambú. Durante la aplicación de la carga, en las uniones sin refuerzo de zunchos se observó el desgarramiento debido a falla por corte perpendicular de las fibras en las piezas inferiores. Se evidenció la mejora en la resistencia de cada unión al ser reforzada con zunchos de material sintético.

Figura 28

Ensayo preliminar en unión sin pieza superior

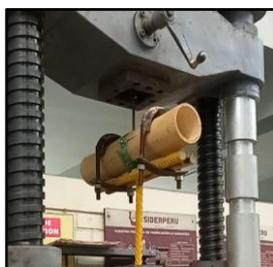


Tabla 25

Resultados de ensayos preliminares en uniones perpendiculares sin mortero y sin pieza superior

Unión 90°	Dimensiones cm			Carga kg Máxima
	Espesor	Diámetro	Entrenudo	
Con refuerzo y sin soldadura	0.97	10.4	26.1	1190
Con refuerzo y soldadura	0.98	10.5	25.8	1200
Con refuerzo y sin soldadura	0.83	10.1	24.1	1080
Con refuerzo y soldadura	0.87	10.7	25.1	1140
Sin refuerzo y sin soldadura	0.85	10.2	25.6	780

Las uniones con refuerzo de zunchos sintéticos mostraron una mayor resistencia en comparación con las uniones sin refuerzo. La presencia de soldadura en la varilla de dos ojos no mostró una mejora significativa en la resistencia. Por esta razón, se optó por utilizar varillas sin puntos de soldadura, ya que esta opción resultaba más económica.

4.1.2 Ensayos preliminares en zunchos sintéticos

Con el objetivo de evaluar la resistencia y el comportamiento de los materiales utilizados en las uniones, se llevaron a cabo ensayos de tracción en zunchos. Los resultados obtenidos fueron una carga de ruptura de 586 kg y un esfuerzo máximo de 4069.4 kg/cm² para el zuncho sintético. Debido a que las hebillas de acero están diseñadas principalmente para trabajar en zunchos de acero, y presentan menor adherencia con los zunchos sintéticos, se realizaron ensayos adicionales para determinar la mejor manera de adaptarlas y garantizar su funcionamiento adecuado en la unión. Para mejorar el agarre, se probó el lijado de la superficie de las hebillas.

Figura 29

Ensayos preliminares en zunchos sintéticos



Tabla 26

Cargas obtenidas en ensayos preliminares de zunchos sintéticos

Ensayo	Carga Max (kg)
Zuncho	586
Zuncho con hebilla de acero	93.5
Zuncho con hebilla de acero + 1 lija	100
Zuncho con hebilla de acero + 2 lijas	160.5
Zuncho con hebilla de acero + lijado	160

4.1.3 Ensayos preliminares sin mortero en uniones de 90°

Se realizaron ensayos de tracción en las uniones de 90° para evaluar la falla de las varillas de acero de dos ojos de 3/8" que unían las dos piezas de bambú. Se observó que la varilla interna tendía a enderezarse y, en algunos casos, llegaba a romperse. Sin embargo, se observó que las uniones con refuerzo sintético tuvieron un mejor comportamiento en comparación con las uniones sin refuerzo, lo que sugiere que este refuerzo podría mitigar la falla de la varilla.

Figura 30

Ensayos preliminares en uniones perpendiculares



Figura 31

Falla en la varilla interna



Tabla 27*Dimensiones y cargas obtenidas en ensayos preliminares de uniones perpendiculares*

Unión 90°	cm			carga kg	
	Espesor	Diámetro	Entrenudo	Primera Falla	Máxima
Sin refuerzo	0.92	10.2	25.1	500	700
Con refuerzo	0.90	10.3	25.3	450	880

4.2 Preparación de uniones estructurales sin y con refuerzo sintético

Con el objetivo de determinar el impacto del refuerzo con zunchos sintéticos en la resistencia de las uniones a tensión, se elaboraron un total de 60 uniones estructurales. La mitad de éstas se reforzaron con zunchos sintéticos divididos en dos partes (basa y cepa), mientras que la otra mitad, sin refuerzo, sirvió como grupo de control. Las uniones sin refuerzo y con refuerzo de material sintético se dividen en:

Tabla 28*Cantidad de uniones estructurales para ensayos*

UNIONES ESTRUCTURALES	0°	30°	45°	60°	90°	Total
UNIONES SIN REFUERZO	6	6	6	6	6	30
Parte Cepa	3	3	3	3	3	15
Parte Basa	3	3	3	3	3	15
UNIONES CON REFUERZO	6	6	6	6	6	30
Parte Cepa	3	3	3	3	3	15
Parte Basa	3	3	3	3	3	15
Total	12	12	12	12	12	60

Las uniones inclinadas (30°, 45°, 60°) y las uniones perpendiculares forman parte del grupo de uniones con mortero y serán analizadas independientemente de las uniones colineales, ya que estas últimas utilizan un taco de madera (eucalipto) como elemento de conexión.

4.2.1 Materiales utilizados en la preparación de uniones estructurales

En la preparación de las uniones estructurales se utilizaron los siguientes materiales:

- **Bambú:** Las uniones se elaboraron utilizando 2 piezas de bambú (*Guadua angustifolia*), las piezas para las uniones inclinadas tenían una longitud de 50-60 cm, y las piezas para las uniones colineales tenían 30 cm de longitud.

Figura 32

Piezas de bambú



- **Varilla de dos ojos en los extremos:** Se utilizaron varillas corrugadas de construcción (ASTM 615, Grado 60), con diámetro de 3/8", para la elaboración de las varillas de dos ojos en los extremos (diámetro interno de los ojos = 5/8"), de dimensiones variables (13-30 cm), dependiendo del ángulo de inclinación de la unión.

Figura 33

Varillas de dos ojos en los extremos



- **Varilla roscada:** Se utilizaron varillas corrugadas de construcción (ASTM 615, Grado 60), con un diámetro de 3/8", para la elaboración de las varillas roscadas de 14 cm.

Figura 34

Varillas roscadas



- **Taco de Madera:** Las uniones colineales se conectaron mediante un taco cilíndrico de madera de eucalipto, con un diámetro de 7.3 cm y 55 cm de longitud.

Figura 35

Tacos de madera eucalipto



- **Mortero:** Las uniones inclinadas y perpendiculares se rellenaron con un mortero de proporción de 1:4 y una resistencia a la compresión a los 28 días de 216.25 kg/cm².

Figura 36

Mortero 1:4



- **Zunchos sintéticos:** Los zunchos de poliéster tuvieron un ancho de 3/4", espesor de 0.8 mm y una resistencia al esfuerzo de 4069.4 kg/cm².

Figura 37

Zuncho sintético en rollo



- **Hebilla de acero:** Sirve para asegurar el zuncho sintético.

Figura 38

Hebilla de acero



- **Arandelas y tuercas:** Se utilizaron arandelas (espesor de 2 mm) y tuercas galvanizadas para asegurar las conexiones en las uniones.

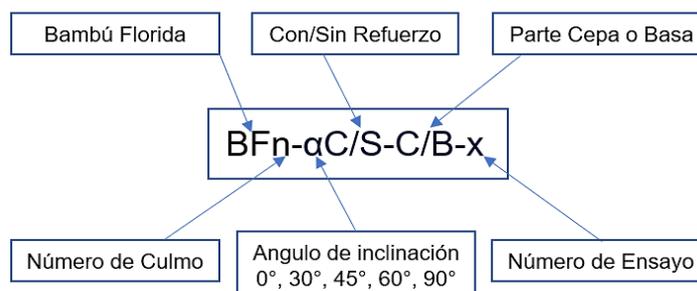
Figura 39

Tuercas y arandelas



Codificación

Para un adecuado seguimiento y control a las uniones, estas fueron codificadas de la siguiente manera:



4.2.2 Unión colineal: preparación y detalles de construcción

Para la elaboración de las uniones colineales (tanto sin refuerzo como con refuerzo sintético), se siguieron estos pasos:

1. Se seleccionaron culmos en buen estado, sin grietas, torceduras ni hongos, con diámetros y espesores de pared similares.
2. Se cortaron los culmos en piezas de 30 cm de longitud, con un nudo a 5 cm de un extremo.
3. Se perforó un agujero de 7.5 cm de diámetro en el diafragma para insertar el taco de eucalipto.
4. El taco de eucalipto se torneó a 7.3 cm de diámetro para asegurar un ajuste preciso dentro del agujero perforado en el diafragma del bambú
5. Se insertó el taco en las piezas, dejando 5 cm de separación.

Figura 41

Unión colineal sin refuerzo



Figura 42

Vista frontal de unión colineal con refuerzo

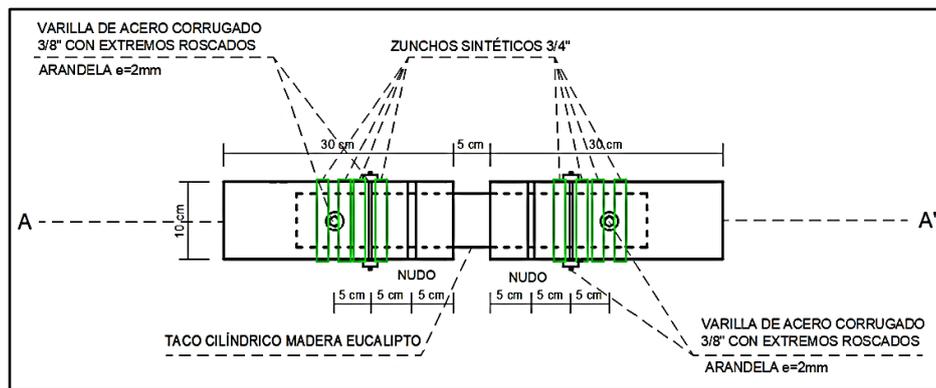


Figura 43

Unión colineal con refuerzo sintético



4.2.3 Unión inclinada y perpendicular: preparación y detalles de construcción

Para la elaboración de las uniones inclinadas y perpendiculares (tanto sin refuerzo como con refuerzo sintético), se siguieron estos pasos:

1. Se seleccionaron culmos en buen estado, sin grietas, torceduras ni hongos, y con diámetros y espesores de pared similares.
2. En cada culmo, se cortaron dos piezas de aproximadamente 50-60 cm de largo: una para la pieza horizontal y otra para la pieza inclinada.
3. Se realizaron rebajos en las piezas inclinadas utilizando plantillas previamente impresas para marcarlas en la superficie del bambú y luego cortarlas, de manera que se acomodaban a la forma curva de la pieza de bambú horizontal a la cual

serían unidas. La distancia mínima del nudo más cercano a la parte inferior de la pieza inclinada debía ser de aproximadamente 15 a 20 cm, dejando al menos 5 cm entre el nudo y el rebajo.

4. Para facilitar el vaciado del mortero 1:4, se perforó el diafragma del nudo expuesto por el rebajo en la pieza inclinada. En la pieza horizontal, se realizó un orificio central de 1 ½" de diámetro en el entrenudo superior. Adicionalmente, se realizaron perforaciones laterales en las piezas horizontales con una broca de 1/2", mientras que en las piezas inclinadas se hicieron perforaciones laterales de 1/2" a unos 5 cm del nudo, La dirección de la perforación más cercana a la pieza horizontal fue paralela a dicha pieza, mientras que la perforación cercana al nudo más alejado de la pieza horizontal fue perpendicular.
5. Se insertó una varilla de acero corrugado de 3/8" con dos ojos en los extremos de Di=5/8" entre la varilla roscada de 3/8", de tal forma que la varilla roscada atravesara la pieza horizontal de la unión. Luego, se llenó la pieza horizontal con mortero 1:4 a través del orificio perforado de 1 ½".
6. Al día siguiente de haber llenado de mortero la pieza horizontal, se ensambló la pieza diagonal, para proceder a llenar de mortero el entrenudo de la pieza restante, se atravesó la varilla roscada de 3/8" por la pieza de bambú inclinada y la varilla de acero corrugado de dos ojos.
7. Se colocó la varilla roscada ubicada en el lado opuesto al rebajo y se realizó su enzunchado metálico. Esta varilla funciona como tirante a fin de fijar la T invertida a la máquina que aplicará la carga de tensión; es importante tener en cuenta que estos elementos no conforman parte de la unión, sino que son parte de la conexión entre la unión y la máquina para el ensayo.
8. Finalmente colocar las arandelas y tuercas en los extremos de las varillas roscadas

Diferencias entre uniones sin refuerzo y con refuerzo sintético:

- Uniones sin refuerzo: No se aplicó ningún refuerzo adicional.

- Uniones con refuerzo sintético: Antes de colocar las arandelas y las tuercas (paso 8), se colocaron zunchos sintéticos alrededor de las varillas roscadas.

Materiales (Comunes a ambos tipos de unión):

- Piezas de bambú (50-60 cm de longitud)
- Varillas roscadas (acero de 3/8" y 14 cm de longitud)
- Varillas de dos ojos en los extremos (acero de 3/8", di=5/8" y longitud variable)
- Mortero 1:4.
- Arandelas y tuercas

La varilla roscada ubicada en el lado opuesto del rebajo, el zuncho metálico de 3/4" y las hebillas correspondientes, no conforman parte de la unión, así como se detalló en el paso 7.

- Zuncho metálico 3/4".
- Hebillas para zunchos.

Materiales Adicionales (Solo para uniones con refuerzo sintético):

- Zunchos sintéticos de 3/4"
- Hebillas de acero para zunchos

Las siguientes figuras ilustran los detalles de construcción de las uniones colineales, tanto sin refuerzo, como con refuerzo sintético.

Figura 44

Vista frontal de unión inclinada de 30° sin refuerzo

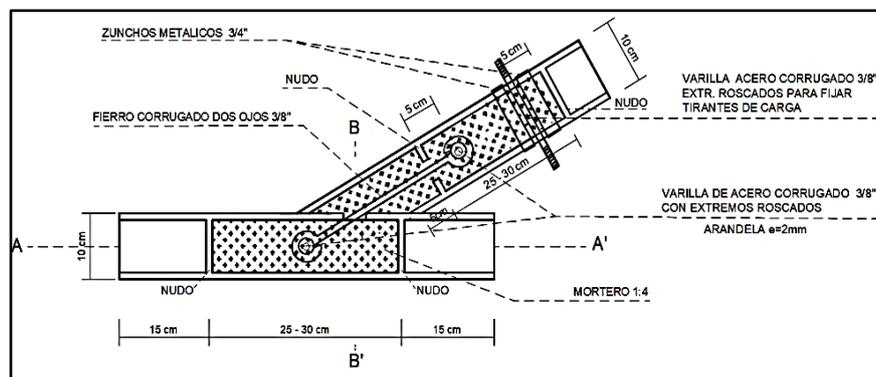


Figura 45

Vista frontal de unión inclinada de 45° sin refuerzo

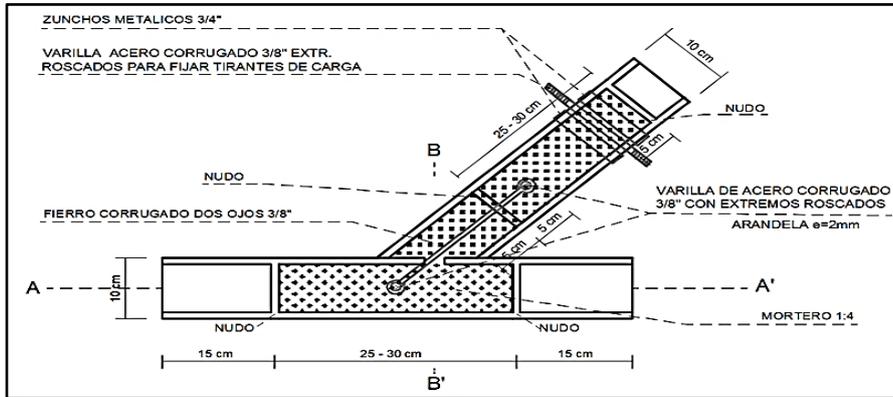


Figura 46

Vista frontal de unión inclinada de 60° sin refuerzo

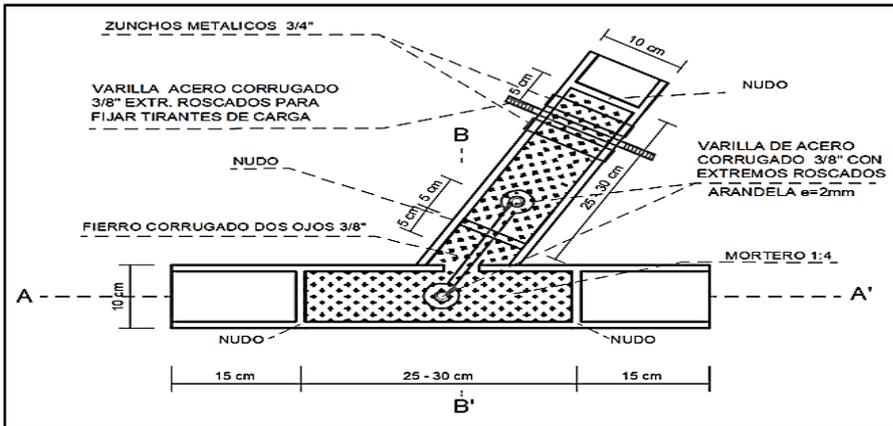


Figura 47

Vista frontal de unión perpendicular sin refuerzo

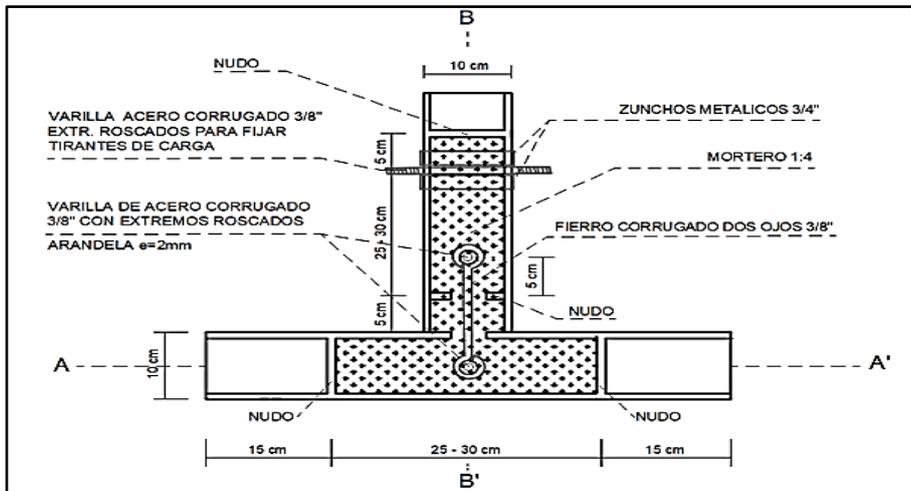


Figura 48

Unión inclinada sin refuerzo



Figura 49

Vista frontal de unión inclinada de 30° con refuerzo

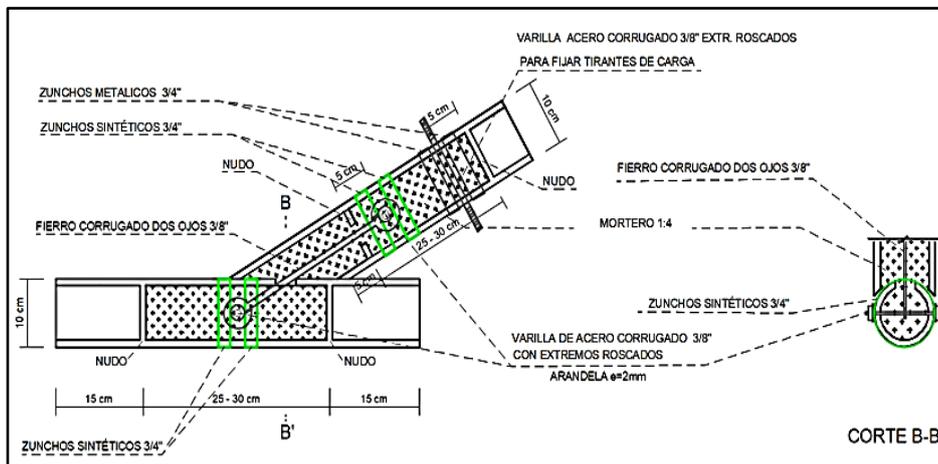


Figura 50

Vista frontal de unión inclinada de 45° con refuerzo

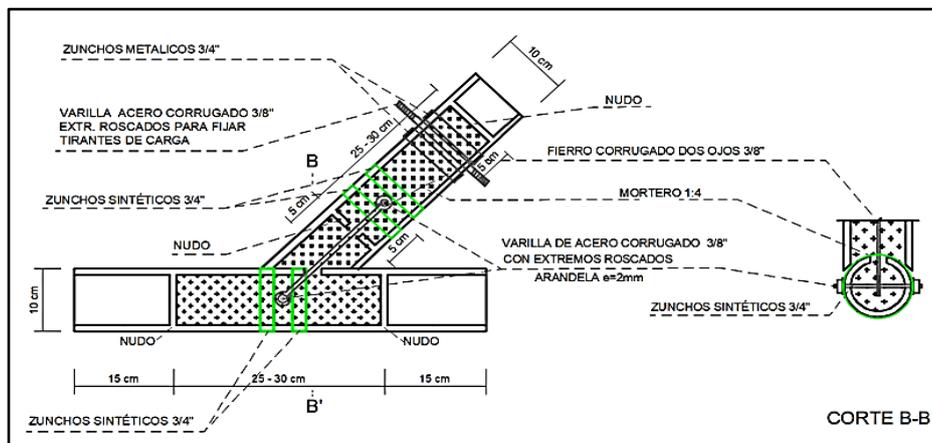


Figura 51

Vista frontal de unión inclinada de 60° con refuerzo

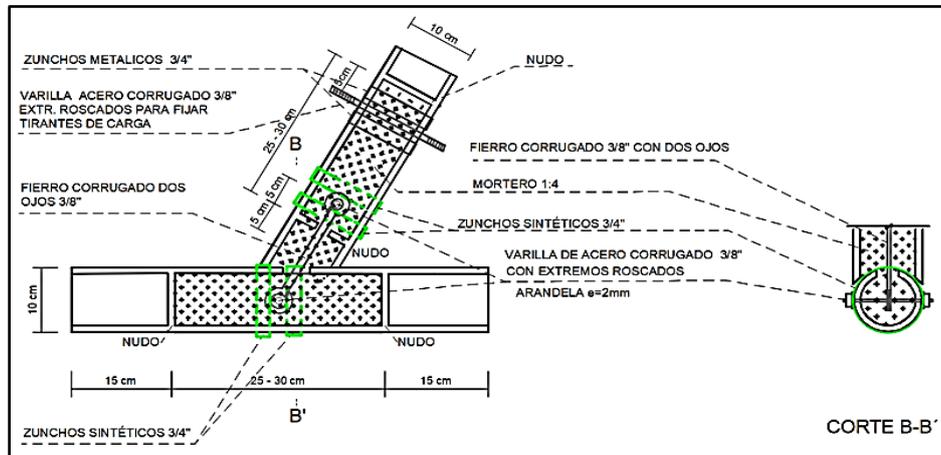


Figura 52

Vista frontal de unión perpendicular con refuerzo

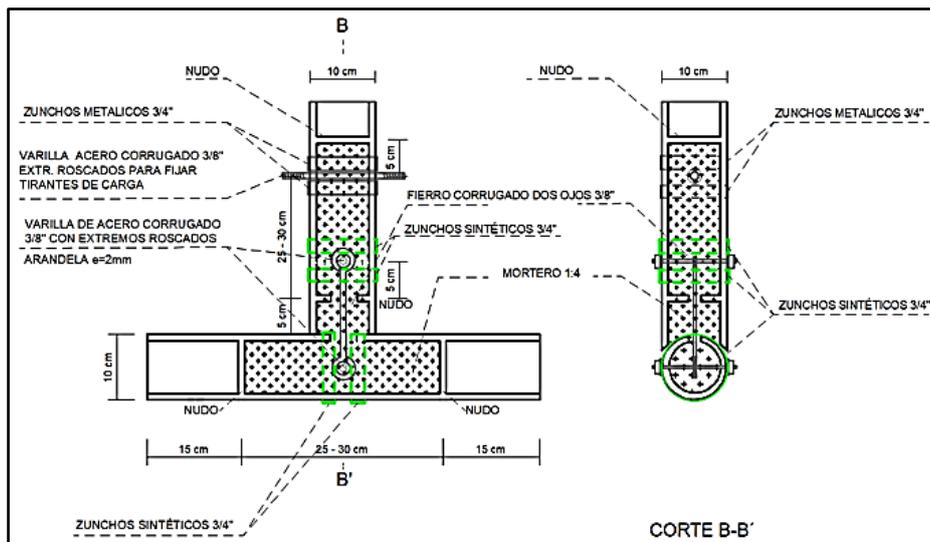


Figura 53

Unión inclinada con refuerzo sintético



4.3 Procedimiento de ensayos a uniones estructurales

El procedimiento de ensayo, a falta de una norma técnica peruana, se basó en la metodología utilizada por Huamán en su investigación sobre uniones de bambú, realizada en convenio con SENCICO y el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, lo que garantizó la validez y la comparabilidad de los resultados obtenidos en este estudio.

4.3.1 Ensayo de tensión a uniones colineales

Se busca determinar la resistencia a la tensión de uniones colineales sin refuerzo y con refuerzo sintético, aplicando una carga axial controlada hasta la falla. Se registrará la carga máxima soportada y el tipo de falla observada. Para aplicar la carga de manera uniforme y segura a la unión, se colocaron anillos metálicos alrededor de las piezas de bambú. Los extractores de acero se sujetaron a estos anillos, permitiendo la transmisión de la carga de tracción.

Figura 54

Unión colineal sin refuerzo y con refuerzo sintético



Instrumentos y Equipos

- Dos extractores de acero con tres brazos de 14" de longitud para sujetar las muestras de bambú.
- Anillos metálicos, de diferentes diámetros, para adaptarse a los distintos diámetros de las uniones a ensayar.

Tabla 29*Dimensiones de los Anillos Metálicos*

ANILLO	PRIMER PAR	SEGUNDO PAR	TERCER PAR	CUARTO PAR
DIÁMETRO INTERNO	3"	3 ½"	4"	4 ½"
ESPESOR	½"	½"	½"	½"

- Máquina de Ensayo Uniaxial de 30 toneladas.

Procedimiento

Registrar las dimensiones del diámetro promedio y espesor de cada pieza de bambú.

Colocar los anillos de acero entre el tarugo de madera y las piezas de bambú, colocar un extractor en cada extremo, y fijar los extremos de cada extractor a las mordazas de la máquina de tracción.

Sujetar la unión colineal por medio del extractor de 3 brazos y los anillos, ubicando la muestra en el eje de la máquina de ensayo.

Aplicar una carga con velocidad constante de aproximadamente 200 kg/min hasta que la muestra falle.

Registrar la carga máxima y tipo de falla.

4.3.2 Ensayo de tensión a uniones inclinadas

Se busca determinar la resistencia a la tensión de las uniones inclinadas (30°, 45°, 60°) al someterlas a una carga axial controlada hasta la falla, identificando también el tipo de falla en cada configuración. Se registrará la carga máxima y el tipo de falla observada.

Dado que la geometría de las uniones dificulta el ensayo, se utilizó un armazón metálico proporcionado por SENCICO. Este armazón se colocó en la parte externa de la máquina, alineado verticalmente con el elemento de tracción la varilla de dos ojos de la unión de bambú. Se fijó a la varilla roscada (que sirve como tirante) ubicada en la parte superior de la unión, mediante cáncamos (elementos metálicos de fijación), y abrazaderas en la parte inferior.

Figura 55

Unión inclinada sin refuerzo y con refuerzo sintético



Instrumentos y Equipos

- Armadura metálica para uniones inclinadas:
 - Plancha Metálica del Tipo T ángulo de perfil 1 ½"x1 ½"x1/8"
 - Planchas Metálicas rectangulares, de 18 ½"x4 ¼"x1" de espesor
 - Plancha Metálica del tipo T sólido de e=1"
 - Varillas roscadas de 5/8" de diámetro y 45 cm de longitud
 - Armadura Metálica Móvil:
 - Bases metálicas triangulares para sujetar las muestras de bambú con inclinaciones de 30°, 45° y 60°.
 - Cáncamos con orejas de D=1/2"
 - Abrazaderas rectangulares de Perfil "C", de 4 ½" x 2 ½"x 1/8" y 4" de longitud.
 - Abrazaderas media luna, de D= 4"x1/8" de espesor
 - Platinas para abrazadera media luna, de 7 ½"x 2"x 1/8" de espesor
 - Platinas para abrazadera rectangular, de 7 ½"x 2"x 1/8" de espesor
- Máquina de Ensayo con capacidad de aplicación de carga de 20 toneladas.

Procedimiento

Registrar las dimensiones del diámetro externo, espesor y entrenudo de cada muestra. Luego fijar la muestra en la armadura metálica.

En la parte superior recta, se colocan dos cáncamos sobre los extremos de la varilla roscada de acero de diámetro 1/2" que atraviesa la sección del bambú.

Fijar la muestra sobre la plataforma triangular sujeta por abrazaderas y alinear la muestra de forma paralela al eje vertical de la máquina.

Aplicar una carga con velocidad constante de aproximadamente 200 kg/min hasta que la muestra falle.

Registrar la carga máxima y el tipo de falla.

4.3.3 Ensayo de tensión a uniones perpendiculares

Se busca determinar la resistencia a la tensión de las uniones perpendiculares sin refuerzo y con refuerzo sintético, al someterlas a una carga axial hasta la falla. Se registrará la carga máxima soportada y el tipo de falla observada.

Figura 56

Unión perpendicular sin refuerzo y con refuerzo sintético



Debido a la geometría de las uniones perpendiculares se utilizó una armadura metálica para que la unión se pudiera adaptar a la máquina de ensayo.

Instrumentos y Equipos

- Armadura metálica para uniones perpendiculares:
 - Bases metálicas superior, de $8\frac{3}{4} \times 4$ - ángulo de perfil $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 1/8$ con vástago de 1" a fin de fijarse a las mordazas de la máquina de ensayo.
 - Base metálica inferior, $32 \times 4 \times 5/8$ de espesor con vástago de 1" a fin de fijarse a las mordazas de la máquina de ensayo.
 - Cáncamos de acero de $5/8$ " de varilla roscada y con orejas de $1/2$ " para fijar los tirantes que transmitirán las cargas aplicadas por la máquina de ensayo.
 - Abrazaderas media luna, de $2\frac{1}{2} \times 4 \times 2\frac{1}{2} \times 1/8$ de espesor.

- Platinas para abrazadera media luna, de 7 ½"x 2"x 1/8" de espesor.
- Máquina de Ensayo con capacidad de aplicación de carga de 20 toneladas.

Procedimiento

Registrar las dimensiones del diámetro externo, espesor y entrenado de cada muestra; fijar la muestra en la armadura metálica.

En la parte superior recta se colocan dos cáncamos sobre los extremos de la varilla roscada de acero de diámetro 3/8" que atraviesa la sección del bambú.

En la parte inferior de base recta se fija la muestra sobre la plataforma sujeta por abrazaderas.

Alinear la muestra paralela al eje vertical de la máquina.

Aplicar una carga con velocidad constante de aproximadamente 200 kg/min hasta que la muestra falle.

Registrar la carga máxima y el tipo de falla.

Capítulo V: Análisis de resultados

Este capítulo presenta un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos, con el objetivo de determinar si se cumple la hipótesis general de esta investigación: que la incorporación de zunchos de material sintético mejora el comportamiento estructural de las uniones de *Guadua angustifolia*, buscando una alternativa más económica como refuerzo en uniones. Se identifican las principales tendencias y se discuten las posibles causas de las variaciones observadas. Se comparan los resultados con la Norma E-100 y con otros estudios para ampliar la información de las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* según su procedencia en el Perú.

5.1 Propiedades físico-mecánicas

El estudio de las propiedades físico-mecánicas de los materiales es fundamental para entender su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y su potencial uso en aplicaciones estructurales.

Se investigaron parámetros como la contracción, el contenido de humedad, la densidad, el esfuerzo último de compresión y tensión paralela a la fibra, el esfuerzo de corte y flexión, y el módulo de elasticidad. Estos datos se compararon con investigaciones previas para evaluar la consistencia y variabilidad de las propiedades del bambú en función de diferentes condiciones ambientales y de procedencia.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados, seguidos de una comparación con la Norma E-100 y estudios existentes para proporcionar un contexto amplio y detallado de las capacidades del bambú como material de construcción.

5.1.1 Contracción

Se observó que la mayor contracción se produjo en el espesor, mientras que la contracción longitudinal fue la menor. Esto se debió a que el bambú es un material anisotrópico (es decir, sus propiedades varían según la dirección en la que se aplican las fuerzas), y la orientación de las fibras que se extendían a lo largo del tallo proporcionaban

la mayor resistencia en esa dirección, confiriendo al material una mayor estabilidad. Por otro lado, la contracción en espesor es más pronunciada debido a la menor cantidad de fibras en esa orientación.

Tabla 30*Análisis estadístico del ensayo de contracción*

ENSAYO	DATOS ESTADÍSTICOS	BASA	CEPA
CONTRACCIÓN ALTURA	PROMEDIO (%)	0.19	0.20
	DESVIACIÓN ESTANDAR (%)	0.12	0.13
CONTRACCIÓN DIAMETRO	PROMEDIO (%)	2.69	2.31
	DESVIACIÓN ESTANDAR (%)	0.11	0.17
CONTRACCIÓN ESPESOR	PROMEDIO (%)	3.97	2.50
	DESVIACIÓN ESTANDAR (%)	0.84	0.65

Tabla 31*Contracción promedio*

CONTRACCIÓN (%)	PROMEDIO (%)
ALTURA (%)	0.19
DIÁMETRO (%)	2.50
ESPESOR (%)	3.24

5.1.2 Contenido de humedad

Los datos de laboratorio mostraron que el contenido de humedad promedio es notablemente similar entre la basa (16.35%) y la cepa (16.33%), con un promedio total de 16.34%, valor que corresponde al contenido de humedad de equilibrio de la zona. Esta uniformidad, evidenciada por las bajas desviaciones estándar tanto en la basa (1.19%) como en la cepa (0.98%), sugiere que el bambú mantiene una consistencia en su contenido de humedad a lo largo de su estructura, lo cual es indicativo de una buena adaptación al ambiente.

Tabla 32*Análisis estadístico del ensayo de contenido de humedad*

ENSAYO	PROMEDIO BASA HUMEDAD (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR BASA (%)	PROMEDIO CEPA HUMEDAD (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR CEPA (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
COMPRESIÓN	16.3	0.88	15.8	0.84	16.1
TENSIÓN	15.4	1.70	16.2	1.21	15.8
CORTE PARALELO	16.4	1.13	16.0	0.67	16.2

FLEXIÓN ESCALA NATURAL	16.6	0.90	16.6	0.90	16.6
COLINEAL	17.3	1.43	17.5	0.68	17.4
UNIÓN 30°	16.2	1.71	15.8	0.74	16.0
UNIÓN 45°	16.0	0.69	15.6	0.80	15.8
UNIÓN 60°	16.4	1.03	16.8	1.59	16.6
UNIÓN 90°	16.6	1.31	16.7	1.40	16.7

Tabla 33

Contenido de humedad promedio

CONTENIDO DE HUMEDAD	PROMEDIO (%)
TOTAL	16.34

5.1.3 Densidad

La densidad promedio de todas las muestras fue de 560.7 kg/m³. La densidad en la parte basa fue ligeramente superior (562.6 kg/m³) frente a la cepa (558.8 kg/m³). Esta variación podría ser resultado de la longitud de los culmos empleados en las muestras (6 metros) y la longitud total del tallo de bambú, que promedia entre 20 y 30 metros. La duda acerca de la categorización exacta de las muestras como basa o cepa también podría haber incidido en la variabilidad observada. Las variaciones en la densidad entre basa y cepa podrían atribuirse a la estructura interna y la composición celular diferentes de estas dos partes del bambú, y el método de muestreo podría haber influido en los resultados.

En algunos ensayos, como el de corte paralelo, se observó una mayor variabilidad en la densidad, y en el de tensión en uniones colineales, la variabilidad fue mínima.

La desviación estándar total es de 43.36 kg/m³, lo que indica una variabilidad moderada en las densidades observadas. Esto representa aproximadamente el 7.7 % de la densidad total promedio, lo cual refleja una relativa consistencia en las mediciones de densidad.

Tabla 34*Análisis estadístico del ensayo de densidad*

ENSAYO	PROMEDIO BASA DENSIDAD (kg/m ³)	DESVIACION ESTÁNDAR BASA (kg/m ³)	PROMEDIO CEPA DENSIDAD (kg/m ³)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR CEPA (kg/m ³)	DENSIDAD PROMEDIO (kg/m ³)
COMPRESIÓN	569.8	47.12	558.3	17.68	564.1
TENSIÓN	560.3	35.39	594.0	49.81	577.1
CORTE PARALELO	601.4	60.27	546.5	30.90	574.0
FLEXIÓN ESCALA NATURAL	577.7	40.45	565.0	28.84	571.4
COLINEAL	573.3	15.53	577.10	46.92	575.2
UNIÓN 30°	578.3	58.80	534.4	36.25	556.4
UNIÓN 45°	525.0	43.17	565.2	57.60	545.1
UNIÓN 60°	565.1	59.15	530.5	56.77	547.8
UNIÓN 90°	512.3	68.86	557.9	26.94	535.1

Tabla 35*Densidad promedio*

DENSIDAD	PROMEDIO (kg/m ³)
TOTAL	560.7

5.1.4 Esfuerzo último de compresión paralela a la fibra

Se observó que el Esfuerzo Último de Compresión Paralela a la Fibra en los ensayos realizados obtuvo un valor promedio de 42.21 MPa (422.1 kg/cm²). Este valor es significativamente superior al valor mínimo de 13 MPa establecido por la Norma E-100. Los valores de esfuerzo promedio en la basa (41.56 MPa) y en la cepa (42.86 MPa) son muy cercanos. Sin embargo, la desviación estándar es mayor en la basa (8.44 MPa) que en la cepa (3.39 MPa). Esta mayor variabilidad en la basa podría estar relacionada con el hecho de que el bambú es un material natural y sus propiedades físicas y mecánicas no son uniformes, debido a muchos factores como: tipo de suelo, nutrientes, clima, temperatura, viento, horas de sol de exposición del bambú, etc.

Tabla 36

Análisis estadístico del esfuerzo de compresión paralela a la fibra

PARÁMETRO	PROMEDIO BASA (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR BASA (MPa)	PROMEDIO CEPA (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR CEPA (MPa)	TOTAL, PROMEDIO (MPa)
ESFUERZO (MPa)	41.56	8.44	42.86	3.39	42.21

Figura 57

Muestras ensayadas a compresión paralela a la fibra



No se observó falla por corte.

5.1.5 Esfuerzo último a la tensión paralela a la fibra

El esfuerzo a la tensión paralela a la fibra promedio fue de 85.04 MPa (850.4 kg/cm²), un valor muy superior al mínimo de 16 MPa establecido por la Norma E-100, lo que demuestra la alta resistencia de este material. Las muestras de la basa soportaron mayores esfuerzos en promedio (89.34 MPa) que las de la cepa (80.73 MPa), pero la desviación estándar fue significativamente mayor en la cepa (14.38 MPa) que en la basa (6.09 MPa). Esta mayor variabilidad en la cepa podría indicar una heterogeneidad estructural mayor o la presencia de defectos internos. El modo de falla predominante fue el desgarrar de fibras en la parte central del espécimen, lo que se atribuye a la concentración de esfuerzos inducida por su geometría.

Tabla 37

Análisis estadístico del esfuerzo de tensión paralela a la fibra

PARÁMETRO	PROMEDIO BASA (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR BASA (MPa)	PROMEDIO CEPA (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR CEPA (MPa)	TOTAL, PROMEDIO (MPa)
ESFUERZO (MPa)	89.34	6.09	80.73	14.38	85.04

Figura 58

Falla por desgarramiento observada en el ensayo de tensión paralela a la fibra



5.1.6 Esfuerzo último al corte paralelo a la fibra

Se observó que el Esfuerzo Último al Corte Paralelo a la Fibra en los ensayos realizados obtuvo un valor promedio de 6.54 MPa (65.40 kg/cm²). Por otro lado, la Norma E-100 establece un valor mínimo de 1 MPa para el esfuerzo de corte paralelo. Las muestras de basa soportaron mayores esfuerzos en promedio (7.03 MPa) en comparación con las de cepa (6.05 MPa).

Las muestras sin nudo soportaron mayores esfuerzos en promedio (7.33 MPa) en comparación con las muestras con nudo (6.01 MPa).

Los nudos en el bambú pueden actuar como puntos de debilidad. Si las muestras más gruesas tienen más nudos o nudos más grandes, esto podría reducir su capacidad para resistir los esfuerzos de corte en comparación con muestras más delgadas y sin nudos.

Tabla 38

Análisis estadístico del esfuerzo de corte paralelo a la fibra en basa y cepa

Parámetro	PROMEDIO BASA (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR BASA (MPa)	PROMEDIO CEPA (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR CEPA (MPa)	PROMEDIO (MPa)
Esfuerzo (MPa)	7.03	0.67	6.05	1.40	6.54

Tabla 39

Análisis estadístico del esfuerzo de corte paralelo a la fibra sin y con nudo

PARÁMETRO	PROMEDIO CON NUDO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR CON NUDO (MPa)	PROMEDIO SIN NUDO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR SIN NUDO (MPa)	PROMEDIO (MPa)
Esfuerzo (MPa)	6.01	0.91	7.33	1.16	6.54

5.1.7 Esfuerzo último a la flexión a escala natural

Se observó que el Esfuerzo Último de Flexión a escala natural en los ensayos realizados obtuvo un valor promedio de 42.77 MPa (427.7 kg/cm²), este valor es significativamente superior al valor mínimo de 5 MPa establecido por la Norma E-100. Las muestras de basa soportaron mayores esfuerzos en promedio (43.19 MPa) en comparación con las de cepa (42.35 MPa), aunque esta diferencia no se considera significativa. La desviación estándar indica una mayor dispersión de datos en la basa.

Tabla 40

Análisis estadístico del esfuerzo ultimo de flexión

PARTE	PROMEDIO ESFUERZO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR ESFUERZO (MPa)
BASA	42.35	3.96
CEPA	43.19	10.14
PROMEDIO	42.77	8.63

5.1.8 Módulo de elasticidad

Los resultados del ensayo de flexión a escala natural revelaron que la Guadua angustifolia presentó un módulo de elasticidad muy elevado, con un valor promedio de 19298.93 MPa y un valor mínimo promedio de 12039.42 MPa. Estos valores superan ampliamente los valores establecidos por la Norma E-100 (9500 MPa y 7300 MPa, respectivamente). El módulo de elasticidad promedio fue de 19012.32 MPa en la basa y de 19585.54 MPa en la cepa, mostrando una ligera ventaja para esta última. Sin embargo, el módulo de elasticidad mínimo es mayor en la basa (13052.01 MPa) que en la cepa (11026.83 MPa), y la desviación estándar es significativamente mayor en la cepa que en la basa, esto nos indica que la mayor variabilidad en la cepa podría estar relacionada con diferencias en la estructura celular, la presencia de defectos o la influencia de los nudos. A pesar de esta mayor variabilidad, el valor mínimo observado en la cepa sigue siendo superior al valor mínimo de la Norma E-100.

Tabla 41*Análisis estadístico del módulo de elasticidad*

PARTE	MÓDULO DE ELASTICIDAD PROMEDIO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD MÍNIMO (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)
BASA	19012.32	13052.01	4377.63
CEPA	19585.54	11026.83	7757.51
PROMEDIO	19298.928	12039.42	6067.57

Tabla 42*Módulo de elasticidad promedio*

MÓDULO DE ELASTICIDAD	
PROMEDIO (MPa)	19298.93
MÍNIMO (MPa)	12039.42

5.1.9 Comparación de las propiedades físicas de las uniones ensayadas respecto a otras investigaciones nacionales

En la presente investigación, durante el año 2022, se estudiaron las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* procedente de la Florida, departamento de Cajamarca. Huamán en el año 2021 también investigó las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* y de la misma procedencia. Ambas investigaciones se realizaron usando piezas de bambú con diámetros promedios de 10 cm y espesores similares.

Investigaciones previas de diferentes regiones han evaluado estas propiedades y se observó que estas varían según su procedencia, clima, tipo de suelo, horas de sol, nutrientes, etc.

Para seleccionar los valores más apropiados para el diseño estructural con bambú, teniendo en cuenta la variabilidad de sus propiedades según la región de procedencia, se compararon los resultados obtenidos en esta investigación con otros estudios relevantes realizados en diferentes regiones del Perú, así como con los valores establecidos en la Norma E-100.

Tabla 43*Comparación de las características físicas en diferentes investigaciones*

DESCRIPCIÓN	VALLE	DEPARTAMENTO	Diámetro cm	Espesor cm	Contenido de Humedad %	Densidad kg/m ³
SERGIO CLAVER	Bagua y La Florida	Amazonas	9.5	0.89	18.94	594.71
JESUS HUARCAYA	Bosque Blanco: Flor del Valle	San Martín	10	---	12.89	524.29
TANIA QUISPE	Bosque 3 Comercial	San Martín	8.5	0.59	17.5	---
MAX CORCUERA	Bosque Aramango	Amazonas	10	---	12.42	149
CARPIO Y VASQUEZ	Bosque Mirona (4	San Martín	10.55	1.38	15.5	733.7
	Bosque Marona (5 años)	San Martín	10.55	1.38	14.3	655.8
CONDORI MOLLEHUARA	Tarapoto	San Martín	6.02	0.72	13.2	461.66
	Rioja	Moyobamba	8.56	0.76	15.44	539.43
HUAMÁN PUIQUÍN 2021	La Florida	Cajamarca	10	1.3	11.74	398.04
INVESTIGACIÓN ACTUAL	La Florida	Cajamarca	10	1.15	16.34	560.7

La Tabla 43, que presenta una comparación de las Características Físicas, muestra una gran variabilidad en los resultados. Los diámetros varían entre 6.02 cm y 10.55 cm, y los espesores entre 0.59 cm y 1.38 cm; el contenido de humedad oscila desde 11.74% hasta 18.94%.

A nivel regional, San Martín destaca por producir muestras de alta densidad, ideales para aplicaciones estructurales. En contraste, Amazonas muestra una amplia variabilidad en densidad, lo que podría reflejar la diversidad de especies o condiciones de crecimiento en esta región. Por su parte, Cajamarca presenta muestras con propiedades de valores intermedios.

La variación en el contenido de humedad y la densidad en las muestras de Cajamarca puede explicarse por el diferente tiempo de almacenamiento del bambú. En la investigación de Huamán, se utilizaron culmos que habían sido almacenados previamente,

mientras que, en el presente estudio, los culmos se procesaron poco tiempo después de la cosecha, utilizando un material en estado más fresco.

Además, Huamán elaboró las muestras en la ciudad de Cañete, mientras que en la investigación actual se elaboraron en la ciudad del Callao, las condiciones ambientales locales de cada ciudad (humedad relativa, temperatura, etc.) podrían haber afectado el contenido de humedad y la densidad de las muestras durante el proceso de preparación.

Tabla 44

Comparación del esfuerzo de compresión paralela a la fibra en diferentes investigaciones

DESCRIPCIÓN	VALLE	DEPARTAMENTO	ESFUERZO MPa		
			Mínimo	Máximo	Promedio
SERGIO CLAVER	Bagua y La Florida	Amazonas	38.62	48.38	44.37
JESUS HUARCAYA	Bosque Blanco: Flor del Valle	San Martín	34.67	46.54	40.61
TANIA QUISPE	Bosque 3 Comercial	San Martín	26.56	43.39	37.9
MAX CORCUERA	Bosque Aramango	Amazonas	37.86	42.7	40.28
CARPIO Y VASQUEZ	Bosque Marona (4 años)	San Martín	28.9	54.4	41.4
CARPIO Y VASQUEZ	Bosque Marona (5 años)	San Martín	29.7	42.2	35.4
CONDORI MOLLEHUARA CONDORI	Rioja	Moyobamba	-	-	18.71
MOLLEHUARA HUAMÁN PUIQUÍN 2021	Tarapoto	San Martín	-	-	22.97
INVESTIGACIÓN ACTUAL	La Florida	Cajamarca	25.6	56.23	39.32
	La Florida	Cajamarca	30.61	52.73	42.21
RNE E-100	---	---		13	

La Tabla 44, que compara el Esfuerzo de Compresión Paralela, muestra una gran variabilidad en los valores de resistencia del bambú. Todos los valores promedio superan el valor de referencia de 13 MPa establecido en el RNE E-100

A nivel regional, Amazonas presenta los promedios más altos, seguido por San Martín, donde se observa una amplia variabilidad, con algunas muestras de alta resistencia y otras con valores bajos. Cajamarca muestra valores relativamente altos, mientras que las muestras de Rioja y Tarapoto tienen los promedios más bajos.

Tabla 45*Comparación del esfuerzo de tensión paralela a la fibra en diferentes investigaciones*

DESCRIPCIÓN	VALLE	DEPARTAMENTO	ESFUERZO MPa		
			Mínimo	Máximo	Promedio
SERGIO CLAVER	Bagua y La Florida	Amazonas	97.61	118.79	107.69
JESUS HUARCAYA	Bosque Blanco: Flor del Valle	San Martín	100.5	122.29	111.39
TANIA QUISPE	Bosque 3 Comercial	San Martín	55.59	101.92	85.39
MAX CORCUERA	Bosque Aramango	Amazonas	114.97	132.95	123.96
CARPIO Y VASQUEZ	Bosque Marona (4 años)	San Martín	13	23	18
CARPIO Y VASQUEZ	Bosque Marona (5 años)	San Martín	10	24	19
CONDORI MOLLEHUARA	Rioja	Moyobamba	-	-	11.94
CONDORI MOLLEHUARA	Tarapoto	San Martín	-	-	7.66
HUAMÁN PUIQUÍN 2021	La Florida	Cajamarca	50.88	116.67	85.22
INVESTIGACIÓN ACTUAL	La Florida	Cajamarca	58.95	101.29	85.04
RNE E-100	---	---		16	

La Tabla 45, que compara el Esfuerzo de Tensión Paralela, muestra una gran variabilidad en los valores de resistencia del bambú. En general, casi todos los valores promedio superan el valor de referencia de 16 MPa establecido por el RNE E-100, a excepción de las muestras de Rioja y Tarapoto.

A nivel regional, Amazonas presenta los promedios más altos, seguido por San Martín, donde se observa una amplia variabilidad, con algunas muestras de alta resistencia y otras con valores bajos. Cajamarca muestra valores buenos, mientras que las muestras de Rioja y Tarapoto tienen los promedios más bajos.

Tabla 46*Comparación del esfuerzo de corte paralelo a la fibra en diferentes investigaciones*

DESCRIPCIÓN	VALLE	DEPARTAMENTO	ESFUERZO MPa		
			Mínimo	Máximo	Promedio
SERGIO CLAVER	Bagua y La Florida	Amazonas	5.01	7.63	6.41
JESUS HUARCAYA	Bosque Blanco: Flor del Valle	San Martín	7.52	8.93	8.23
TANIA QUISPE	Bosque 3 Comercial	San Martín	2.64	7.48	5.32

MAX CORCUERA	Bosque Aramango	Amazonas	19.79	24.18	21.99
CARPIO Y VASQUEZ	Bosque Marona (4 años)	San Martín	6.3	8.7	7.4
CARPIO Y VASQUEZ	Bosque Marona (5 años)	San Martín	5.4	7.9	6.5
CONDORI MOLLEHUARA	Rioja	Moyobamba	-	-	1.6
CONDORI MOLLEHUARA	Tarapoto	San Martín	-	-	1.12
HUAMÁN PUIQUÍN 2021	La Florida	Cajamarca	2.42	8.68	5.22
INVESTIGACIÓN ACTUAL	La Florida	Cajamarca	4.48	8.34	6.54
RNE E-100	---	---		1	

La Tabla 46, que presenta una comparación del Esfuerzo de Corte Paralelo, muestra una gran variabilidad en los valores de resistencia del bambú. En general, todos los valores promedio superan el valor de referencia de 1 MPa establecido por la RNE E-100.

A nivel regional, Amazonas presenta el promedio más alto, seguido por San Martín, donde se observa una amplia variabilidad, con algunas muestras de alta resistencia y otras con valores bajos. Cajamarca muestra valores intermedios, mientras que las muestras de Rioja y Tarapoto tienen los promedios más bajos.

Tabla 47

Comparación del esfuerzo de flexión en diferentes investigaciones

DESCRIPCIÓN	VALLE	DEPARTAMENTO	ESFUERZO MPa		
			Mínimo	Máximo	Promedio
JESUS HUARCAYA	Bosque Blanco: Flor	San Martín	21.82	25.66	15.77
MAX CORCUERA	Bosque Aramango	Amazonas	23.23	27.74	25.49
HUAMÁN PUIQUÍN 2021	La Florida	Cajamarca	32.09	56.59	42.75
INVESTIGACIÓN ACTUAL	La Florida	Cajamarca	32.1	56.61	42.77
RNE E-100	---	---		5	

La Tabla 47, que presenta una comparación de Esfuerzo de Flexión a escala natural, muestra una gran variabilidad en los valores de resistencia del bambú. Todos los valores promedio superan ampliamente el valor de referencia de 5 MPa establecido por

el RNE E-100, lo que indica un buen desempeño del material en aplicaciones que requieren resistencia a la flexión.

A nivel regional, Cajamarca presenta los promedios más altos, seguido por Amazonas y San Martín. Esta variabilidad regional resalta la importancia de seleccionar el tipo de bambú según las necesidades específicas de cada aplicación.

Tabla 48

Comparación del módulo de elasticidad en diferentes investigaciones

DESCRIPCIÓN	VALLE	DEPARTAMENTO	MPa	
			Mínimo	Promedio
JESUS HUARCAYA	Bosque Blanco: Flor del Valle	San Martín	3756.63	5870.4
MAX CORCUERA	Bosque Aramango	Amazonas	-	12083.6
HUAMÁN PUIQUÍN 2021	La Florida	Cajamarca	14238.49	20544.51
INVESTIGACIÓN ACTUAL	La Florida	Cajamarca	12039.42	19298.93
RNE E-100	---	---	7300	9500

La Tabla 48, que presenta una comparación del módulo de elasticidad en diferentes investigaciones, revela una considerable variabilidad en los valores de rigidez del bambú. En general, casi todos los valores promedio superan el valor de referencia de 9500 MPa establecido por la RNE E-100, lo que indica una alta rigidez del material, a excepción de la muestra del valle Bosque Blanco, que no alcanzó este estándar.

A nivel regional, Cajamarca presenta los promedios más altos, seguido por Amazonas y San Martín.

Tabla 49

Comparación de los esfuerzos experimentales con el RNE E-100

DESCRIPCIÓN	RNE E-100	ESFUERZO EXPERIMENTAL	
	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo (MPa)	Variación% Δ /RNE
Compresión f_c	13	42.21	224.7%
Tensión Paralela f_t	16	85.04	431.4%
Corte Paralelo f_v	1	6.54	554.0%
Flexión f_m	5	42.77	755.4%

La Tabla 49 presenta una comparación entre los esfuerzos admisibles establecidos por la Norma E-100 y los resultados experimentales obtenidos en este estudio.

Se observa que los esfuerzos experimentales superan ampliamente los valores de la norma en todos los casos, con un margen de seguridad que varía desde el 224.7% para la compresión hasta el 755.4% para la flexión. Estos resultados sugieren que la *Guadua angustifolia* de La Florida, Cajamarca, presenta propiedades mecánicas superiores a las consideradas en la Norma E-100. Sin embargo, es importante considerar que estos resultados son específicos para esta procedencia de bambú y que se requiere un análisis más detallado para determinar si estos altos valores son consistentes en otras regiones del país.

En resumen, este estudio revela una variabilidad significativa en las propiedades físicas y mecánicas del bambú en diferentes regiones del Perú. Si bien la mayoría de las muestras cumplen o superan los estándares mínimos de la RNE E-100, la procedencia del bambú es un factor crítico a considerar en el diseño estructural.

5.2 Análisis de resultados de uniones estructurales

Las uniones estructurales en la construcción con bambú son componentes críticos que influyen en la integridad y estabilidad de las estructuras. Si bien el bambú tiene procedimientos estandarizados para realizar ensayos físico-mecánicos, carece de procedimientos específicos para evaluar uniones estructurales, lo que presenta un desafío en términos de consistencia y seguridad. Se presenta un análisis comparativo de la resistencia a la tensión de diferentes tipos de uniones de bambú, con y sin refuerzo sintético, con el objetivo de evaluar la efectividad de este último y ofrecer alternativas para el diseño de uniones más eficientes y económicas. Se usará para representar la media la siguiente fórmula:

$$\text{media} = \mu \text{ (valor promedio)} \pm \sigma \text{ (desviación estándar poblacional)}$$

5.2.1 Análisis de uniones colineales

Se observó que el refuerzo con zunchos sintéticos aumenta significativamente la capacidad de carga de las uniones colineales. En promedio, la carga aumenta de 1876.7 kg a 2915 kg, lo que representa un incremento del 55.3%. El refuerzo fue más efectivo en la basa que en la cepa.

El análisis de las dimensiones reveló que el diámetro promedio fue de 104 ± 6.6 mm en las uniones sin refuerzo y de 104.2 ± 6.6 mm en las uniones con refuerzo. El espesor promedio fue de 8.6 ± 0.8 mm en las uniones sin refuerzo y de 8.6 ± 0.7 mm en las uniones con refuerzo. Estos resultados sugieren que las dimensiones fueron similares y consistentes.

Tabla 50

Dimensiones y cargas en uniones colineales sin y con refuerzo sintético

UNIÓN COLINEAL		PROMEDIO (mm)			CARGA (kg)					
DESCRIPCIÓN		Diámetro	Espesor	Entrenado	MIN.	Δ %	MAX.	Δ %	PROMEDIO	Δ %
BASA	SIN REFUERZO	98.5	8.1	289	1500		1800		1653.3	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	98.7	8.1	282	2650	76.7	2910	61.7	2753.3	66.5
CEPA	SIN REFUERZO	109.5	9.2	256	2050		2150		2100	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	109.7	9.1	265	2780	35.6	3550	65.1	3076.7	46.5

Tabla 51

Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones colineales

UNIÓN COLINEAL		CARGA kg	PROMEDIO kg	Δ %
SIN REFUERZO	BASA	1653.3	1876.7	55.3
	CEPA	2100		
CON REFUERZO	BASA	2753.3	2915	
	CEPA	3076.7		

En las gráficas de carga vs espesor, y carga vs diámetro, se observa una fuerte tendencia hacia una mayor capacidad de carga en las uniones con refuerzo sintético en comparación a las uniones sin refuerzo.

Figura 59

Gráfica unión colineal: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético

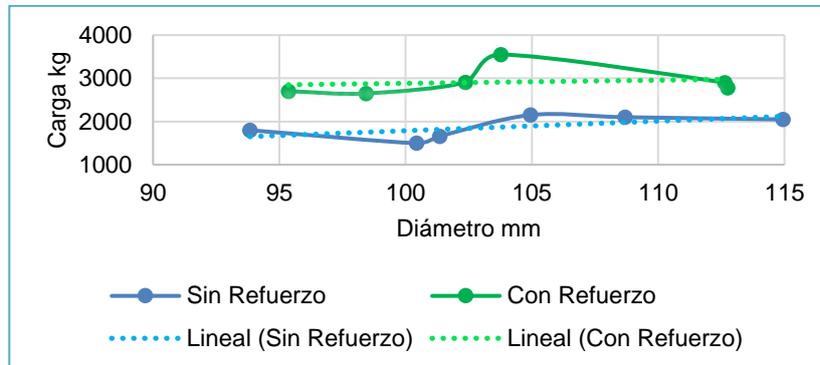
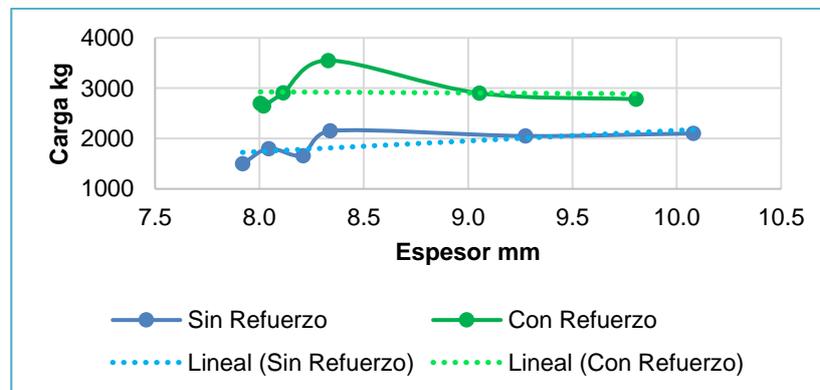


Figura 60

Gráfica unión colineal: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético



5.2.2 Análisis de uniones inclinadas de 30°

Se observó que el refuerzo con zunchos sintéticos aumenta la capacidad de carga de estas uniones. En promedio, la carga aumenta de 1428.4 kg a 1808.4 kg, lo que representa un incremento del 26.6%.

El análisis de las dimensiones reveló que el diámetro promedio fue de 103.9 ± 6.0 mm en las uniones sin refuerzo y de 104.3 ± 5.4 mm en las uniones con refuerzo. El espesor promedio fue de 9.1 ± 0.6 mm en las uniones sin refuerzo y de 8.6 ± 0.7 mm en las uniones con refuerzo. Estos resultados sugieren que las dimensiones fueron similares y consistentes.

Tabla 52

Dimensiones y cargas en uniones inclinadas de 30° sin y con refuerzo sintético

UNIÓN INCLINADA 30°		PROMEDIO (mm)				CARGA (Kg)				
	DESCRIPCIÓN	Diámetro	Espesor	Entrenado	MIN.	%	MAX.	%	PROMEDIO	%
BASA	SIN REFUERZO	104.5	8.7	288.	1180		1480		1346.7	
	CON REFUERZO	106.8	8.3	281	1690	43.2	2020	36.5	1810	34.4
CEPA	SIN REFUERZO	103.2	9.5	298	1300		1680		1510	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	101.7	8.9	262	1700	30.8	1880	11.9	1806.7	19.6

Tabla 53

Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones inclinadas de 30°

UNIÓN INCLINADA 30°		CARGA kg	PROMEDIO kg	Δ%
SIN REFUERZO	BASA	1346.7	1428.4	26.6
	CEPA	1510		
CON REFUERZO	BASA	1810		
	CEPA	1806.7		

En las gráficas de carga vs espesor, y carga vs diámetro, se observa una tendencia hacia una mayor capacidad de carga en las uniones con refuerzo sintético en comparación a las uniones sin refuerzo.

Figura 61

Gráfica unión inclinada de 30°: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético

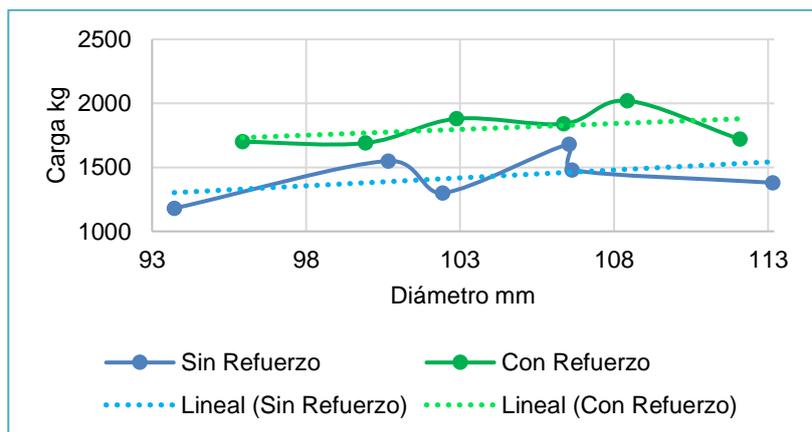
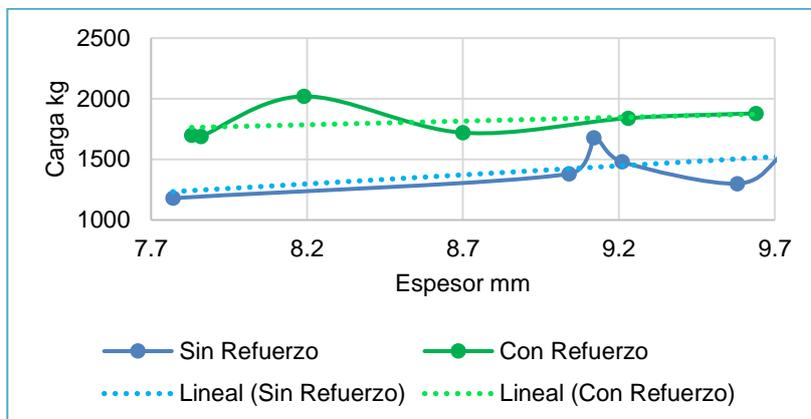


Figura 62

Gráfica unión inclinada de 30°: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético



5.2.3 Análisis de uniones inclinadas de 45°

Se observó que el refuerzo con zunchos sintéticos tiende a aumentar ligeramente la capacidad de carga de estas uniones. En promedio, la carga aumenta de 1371.7 kg a 1438.4 kg, lo que representa un incremento del 4.9%.

El análisis de las dimensiones reveló que el diámetro promedio fue de 98.7 ± 5.8 mm en las uniones sin refuerzo y de 101.7 ± 7.7 mm en las uniones con refuerzo. El espesor promedio fue de 8.6 ± 1.2 mm en las uniones sin refuerzo y de 8.7 ± 1.1 mm en las uniones con refuerzo.

Tabla 54

Dimensiones y cargas en uniones inclinadas de 45° sin y con refuerzo sintético

UNIÓN INCLINADA 45°		PROMEDIO (mm)			CARGA (kg)					
	DESCRIPCIÓN	Diámetro	Espesor	Entrenudo	MIN.	Δ %	MAX.	Δ %	PROMEDIO	Δ %
BASA	SIN REFUERZO	93.4	7.4	287	1150		1650		1476.7	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	95.1	7.8	291.7	1350	17.4	1590	-3.6	1480	0.2
CEPA	SIN REFUERZO	104.0	9.8	268.3	1200		1350		1266.7	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	108.3	9.7	255.0	1240	3.3	1550	14.8	1396.7	10.3

Tabla 55

Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones inclinadas de 45°

UNIÓN INCLINADA 45°		CARGA kg	PROMEDIO kg	Δ %
SIN REFUERZO	BASA	1476.7	1371.7	4.9
	CEPA	1266.7		
CON REFUERZO	BASA	1480.0	1438.4	
	CEPA	1396.7		

En las gráficas de carga vs espesor, y carga vs diámetro, se observa una ligera tendencia hacia una mayor capacidad de carga en las uniones con refuerzo sintético en comparación a las uniones sin refuerzo.

Figura 63

Gráfica unión inclinada de 45°: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético

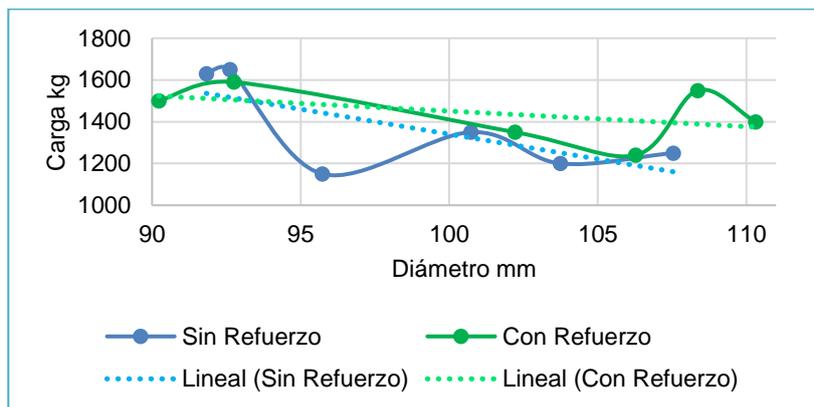
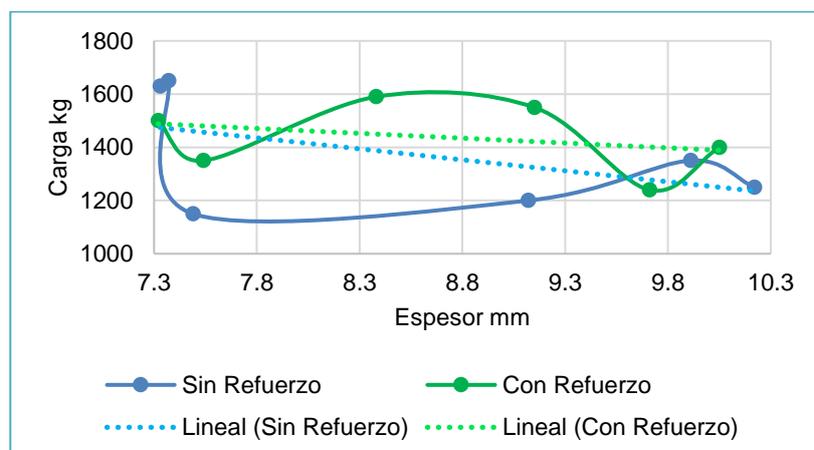


Figura 64

Gráfica unión inclinada de 45°: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético



5.2.4 Análisis de uniones inclinadas de 60°

Se observó que el refuerzo con zunchos sintéticos tiende a aumentar la capacidad de carga de estas uniones. En promedio, la carga aumenta de 1345 kg a 1500 kg, lo que representa un incremento del 11.5%.

El análisis de las dimensiones reveló que el diámetro promedio fue de 102.6 ± 4.3 mm en las uniones sin refuerzo y de 101.7 ± 4.0 mm en las uniones con refuerzo. El espesor promedio fue de 9.2 ± 0.6 mm en las uniones sin refuerzo y de 9.2 ± 0.6 mm en las uniones con refuerzo. Estos resultados sugieren que las dimensiones fueron similares y consistentes.

Es importante recordar que el bambú es un material natural con una variabilidad inherente y la presencia de microfracturas u otros defectos internos podría influir en la resistencia de las uniones, y dar lugar a comportamientos inesperados como se observó en las uniones de la parte cepa.

Tabla 56

Dimensiones y cargas en uniones inclinadas de 60° sin y con refuerzo sintético

UNIÓN INCLINADA 60°		PROMEDIO (mm)				CARGA (kg)				
	DESCRIPCIÓN	Diámetro	Espesor	Entrenado	MIN.	Δ %	MAX.	Δ %	PROMEDIO	Δ %
BASA	SIN REFUERZO	98.7	8.9	258	1100		1160		1136.7	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	101.1	8.8	258	1340	21.8	1850	59.5	1526.7	34.3
CEPA	SIN REFUERZO	106.5	9.6	270	1500		1600		1553.3	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	102.3	9.5	257	1190	-20.7	1780	11.3	1473.3	-5.2

Tabla 57

Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones inclinadas de 60°

UNIÓN INCLINADA 60°		CARGA kg	PROMEDIO kg	Δ %
SIN REFUERZO	BASA	1136.7	1345	11.5
	CEPA	1553.3		
CON REFUERZO	BASA	1526.7	1500	
	CEPA	1473.3		

En las gráficas de carga vs espesor y carga vs diámetro, se aprecia una tendencia hacia una mayor capacidad de carga en las uniones con refuerzo sintético únicamente en la basa, pero no en la ceba.

Figura 65

Gráfica unión inclinada de 60°: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético

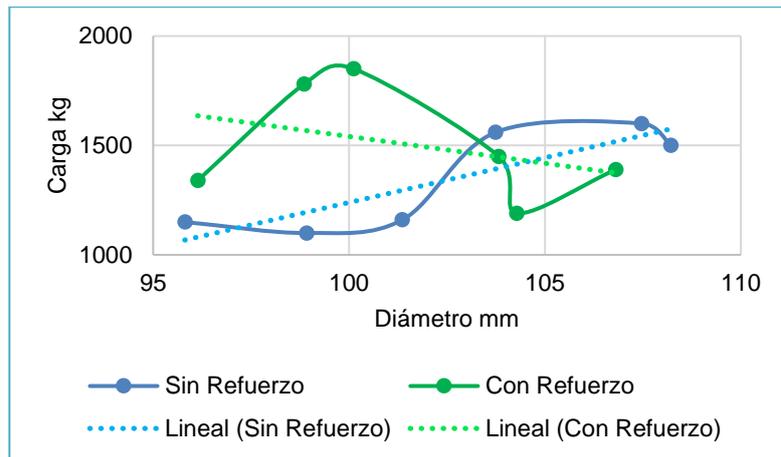
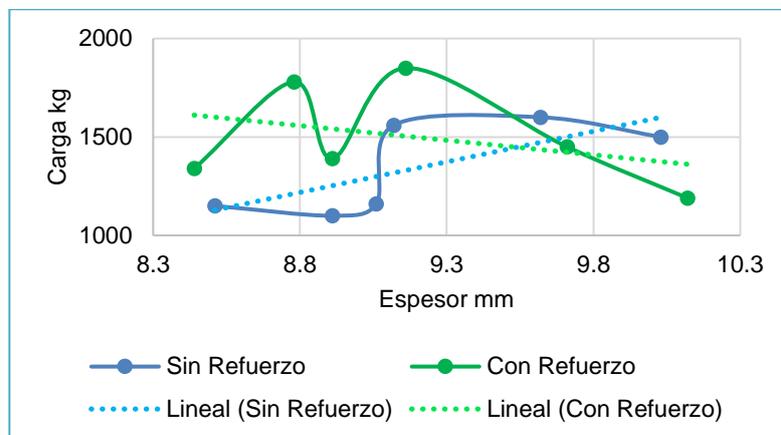


Figura 66

Gráfica unión inclinada de 60°: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético



5.2.5 Análisis de uniones perpendiculares

Se observó que el refuerzo con zunchos sintéticos tiende a aumentar la capacidad de carga de estas uniones. En promedio, la carga aumenta de 1043.4 kg a 1300 kg, lo que representa un incremento del 24.6%.

El análisis de las dimensiones reveló que el diámetro promedio fue de 101.6 ± 5.4 mm en las uniones sin refuerzo y de 105.3 ± 5.7 mm en las uniones con refuerzo. El

espesor promedio fue de 8.7 ± 1.2 mm en las uniones sin refuerzo y de 8.7 ± 0.9 mm en las uniones con refuerzo. Estos resultados sugieren que las dimensiones fueron similares y consistentes.

Tabla 58

Dimensiones y cargas en uniones perpendiculares sin y con refuerzo sintético

UNIÓN PERPENDICULAR		PROMEDIO (mm)			CARGA (kg)					
	DESCRIPCIÓN	Diámetro	Espesor	Entrenudo	MIN.	Δ %	MAX.	Δ %	PROMEDIO	Δ %
BASA	SIN REFUERZO	97.3	7.8	275	900		1000		960	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	100.9	8.2	268	1150	27.8	1320	32.0	1223.3	27.4
CEPA	SIN REFUERZO	106.0	9.7	245	1030		1280		1126.7	
	CON REFUERZO SINTÉTICO	109.7	9.3	262	1180	14.6	1530	19.5	1376.7	22.2

Tabla 59

Resumen de cargas y efectividad del refuerzo sintético en uniones perpendiculares

UNIÓN PERPENDICULAR		CARGA kg	PROMEDIO kg	Δ %
SIN REFUERZO	BASA	960	1043.4	24.6
	CEPA	1126.7		
CON REFUERZO	BASA	1223.3	1300	
	CEPA	1376.7		

En las gráficas de carga vs espesor, y carga vs diámetro, se observa una tendencia hacia una mayor capacidad de carga en las uniones con refuerzo sintético en comparación a las uniones sin refuerzo.

Figura 67

Gráfica unión perpendicular: carga vs diámetro, sin y con refuerzo sintético

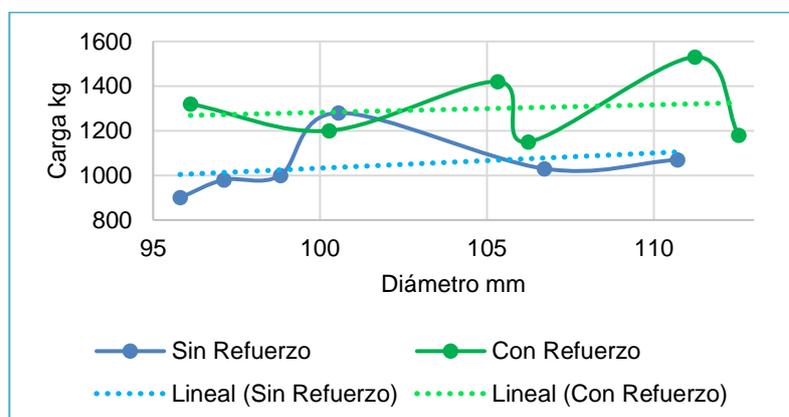
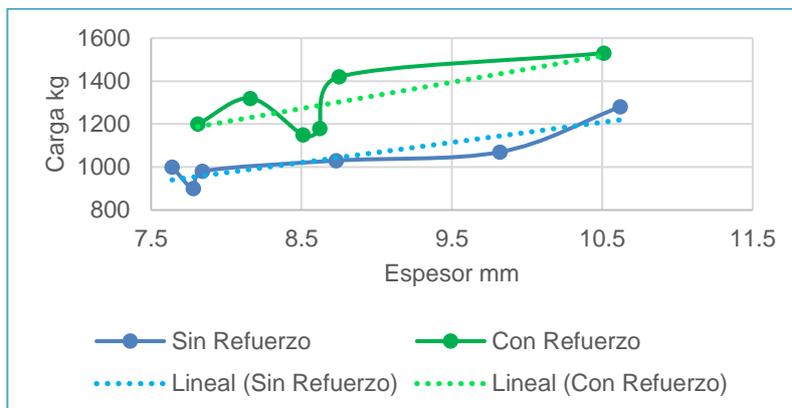


Figura 68

Gráfica unión perpendicular: carga vs espesor, sin y con refuerzo sintético



5.2.6 Descripción de fallas observadas

El conocimiento de los mecanismos de falla resulta crucial para el diseño adecuado de las uniones, ya que estos varían significativamente en función de la presencia o ausencia de refuerzo y del ángulo de inclinación; también se observó que la varilla roscada tendía a doblarse. Un diseño que no considere estos factores podría resultar en uniones vulnerables a ciertos tipos de falla. Lo cual se mostrará en el análisis detallado de los modos de falla observados.

El análisis de los tipos de falla en uniones de bambú reveló que la presencia o ausencia de refuerzo sintético y el ángulo de la unión influyen significativamente en el modo de falla. Los tipos de falla principales, por orden de incidencia, son: tensión perpendicular de las fibras, tensión y pandeo general de las fibras, y enderezamiento de la varilla de dos ojos.

La falla por tensión perpendicular de las fibras es la más común, representando el 41.7% del total de fallas observadas, y es especialmente prevalente en uniones sin refuerzo. Sin embargo, en las uniones ensayadas el refuerzo sintético eliminó este tipo de falla, destacando su efectividad en este aspecto

La tensión y pandeo general de las fibras, que representa el 39.5% de las fallas, es muy común en uniones con refuerzo. El enderezamiento de la varilla de dos ojos, que representa el 18.8% de las fallas, solo ocurrió en uniones perpendiculares (90°).

Mientras que, en las uniones colineales, el tipo de falla fue por desplazamiento y doblez de la varilla roscada con un 100% de incidencia. Estas no pueden incluirse en el grupo de análisis de las uniones inclinadas debido a la composición diferente de materiales en su interior.

Tabla 60

Incidencia de tipos de fallas observadas en uniones sin y con refuerzo sintético

TIPO DE FALLA		30°	45°	60°	90°
TENSIÓN Y PANDEO GENERAL DE LAS FIBRAS	Sin Refuerzo	0	1	0	0
	Con Refuerzo	6	6	6	0
TENSIÓN PERPENDICULAR DE LAS FIBRAS	Sin Refuerzo	6	5	6	3
	Con Refuerzo	0	0	0	0
ENDEREZAMIENTO DE LA VARILLA DE DOS OJOS	Sin Refuerzo	0	0	0	4
	Con Refuerzo	0	0	0	5

a) Tensión y pandeo general de las fibras:

La presión del mortero sobre el nudo de la caña inducía el pandeo general de las fibras, especialmente en la pieza superior. Este pandeo se manifestaba como fisuras que, al aumentar la carga, se propagaban hasta causar el rompimiento de la pieza superior y un desgarro longitudinal debido a la tensión resultante.

Figura 69

Falla observada por tensión y pandeo general de las fibras



b) Tensión perpendicular de las fibras:

La falla por tensión perpendicular de las fibras en la pieza inferior de la unión se originaba en los esfuerzos de tensión transmitidos por la varilla de acero corrugado de dos

ojos. El mortero, al resistir esta tensión, ejercía una presión interna sobre las paredes de la pieza inferior de bambú, de adentro hacia afuera, induciendo tensión perpendicular a la dirección de las fibras y causando la separación de las fibras.

Figura 70

Falla observada por tensión perpendicular de las fibras



c) Enderezamiento de la varilla de dos ojos:

Bajo la acción de las fuerzas de tensión, la varilla de dos ojos de acero corrugado experimentaba una deformación gradual, comenzando con la pérdida de adherencia entre el acero y el mortero. A medida que la adherencia disminuía, la varilla se desdoblaba cada vez más, tendiendo a enderezarse y perdiendo su forma original.

Figura 71

Falla observada por enderezamiento de la varilla de dos ojos



d) Desplazamiento y doblez de la varilla roscada:

En las uniones colineales con taco de madera, la falla se producía por el desplazamiento y doblez de la varilla roscada, lo que resultaba en el aplastamiento ocasionado por la varilla roscada al borde del orificio de bambú. Este mecanismo de falla se caracterizaba por la concentración de esfuerzos en el punto de contacto entre la varilla y el bambú, superando la resistencia del material y provocando la falla.

Figura 72

Falla observada por desplazamiento y dobléz de la varilla rosca



5.3 Comparación de resultados de la investigación actual (refuerzo sintético) respecto a la investigación anterior (refuerzo metálico)

Los resultados de la presente investigación se compararon con los obtenidos por Huamán (2021), quien investigó uniones con refuerzos metálicos utilizando dos tipos de varillas roscadas (Grado 2 y Grado 8), y mortero 1:4 como relleno, mientras que en las uniones colineales usó como taco, madera capirona.

5.3.1 Comparación de uniones colineales

En la investigación actual, los resultados obtenidos en las uniones colineales mostraron una mayor resistencia promedio en las uniones sin refuerzo (1876.7 kg) y en las uniones con refuerzo sintético (2915 kg) en comparación con los resultados de la investigación anterior.

El incremento porcentual en la resistencia promedio debido al refuerzo sintético (55.3%) fue menor en comparación con el refuerzo metálico, que alcanzó un 72.9% para Grado 2 y un 68% para Grado 8.

Tabla 61

Resistencia en uniones colineales sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	1320	1200	1500
PROMEDIO	1653.3	1700	1876.7
MÁXIMA	2140	2420	2150

Tabla 62

Resistencia en uniones colineales con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	2500	2400	2650
PROMEDIO	2860	2856.7	2915
MÁXIMA	3320	3100	3550

5.3.2 Comparación de uniones inclinadas de 30°

En la investigación actual, los resultados obtenidos en las uniones inclinadas de 30° mostraron una mayor resistencia promedio en las uniones sin refuerzo (1428.4 kg) y en las uniones con refuerzo sintético (1808.4 kg) en comparación con los de la investigación anterior.

El incremento porcentual en la resistencia promedio debido al refuerzo sintético (26.6%) fue menor en comparación con el refuerzo metálico, que alcanzó un 97.1% para Grado 2 y un 96.7% para Grado 8. Esto sugiere que el refuerzo metálico es más efectivo que el refuerzo sintético en este tipo de unión.

Tabla 63

Resistencia en uniones inclinadas de 30° sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	700	700	1180
PROMEDIO	1013.3	1156	1428.4
MÁXIMA	1580	1560	1680

Tabla 64

Resistencia en uniones inclinadas de 30° con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	1440	1900	1690
PROMEDIO	1997.5	2273.3	1808.4
MÁXIMA	2300	2580	2020

5.3.3 Comparación de uniones inclinadas de 45°

En la investigación actual, los resultados obtenidos en las uniones inclinadas de 45° mostraron una mayor resistencia promedio en las uniones sin refuerzo (1371.7 kg) y en las uniones con refuerzo sintético (1438.4 kg) en comparación con los resultados de la investigación anterior.

El incremento porcentual en la resistencia promedio debido al refuerzo sintético (4.9%) fue muy bajo en comparación con el refuerzo metálico, que alcanzó un 34.1% para Grado 2 y un 21.1% para Grado 8. Lo que sugiere que el refuerzo sintético no fue muy efectivo en este tipo de unión.

Tabla 65

Resistencia en uniones inclinadas de 45° sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	870	920	1150
PROMEDIO	1267.5	1326.67	1371.7
MÁXIMA	1980	2500	1650

Tabla 66

Resistencia en uniones inclinadas de 45° con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	1630	1000	1240
PROMEDIO	1700	1607.14	1438.4
MÁXIMA	1790	1910	1590

5.3.4 Comparación de uniones inclinadas de 60°

En la investigación actual, los resultados obtenidos en las uniones inclinadas de 60° mostraron una mayor resistencia promedio en las uniones sin refuerzo (1345 kg) y una resistencia intermedia en las uniones con refuerzo sintético (1500 kg) en comparación con los resultados de la investigación anterior.

El incremento porcentual en la resistencia promedio debido al refuerzo sintético (11.5%) fue bajo en comparación con el refuerzo metálico, que alcanzó un 41.6% para Grado 2 y un 37.2% para Grado 8

Tabla 67

Resistencia en uniones inclinadas de 60° sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	800	500	1100
PROMEDIO	1135	956	1345
MÁXIMA	1920	1340	1600

Tabla 68

Resistencia en uniones inclinadas de 60° con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	1000	1200	1190
PROMEDIO	1607.5	1311.67	1500
MÁXIMA	1980	1500	1850

5.3.5 Comparación de uniones perpendiculares

En la investigación actual, los resultados obtenidos en las uniones perpendiculares mostraron una mayor resistencia promedio en las uniones sin refuerzo (1043.4 kg) y una menor resistencia en las uniones con refuerzo sintético (1300 kg) en comparación con los resultados de la investigación anterior.

El incremento porcentual en la resistencia promedio debido al refuerzo sintético (24.6%) fue menor en comparación con el refuerzo metálico, que alcanzó un 73.9% para Grado 2 y un 79% para Grado 8.

Tabla 69

Resistencia en uniones perpendiculares sin refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGA (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	720	870	900
PROMEDIO	970	1013	1043.4
MÁXIMA	1120	1170	1280

Tabla 70

Resistencia en uniones perpendiculares con refuerzo (investigación actual vs investigación anterior)

CARGAS (kg)	GRADO 2	GRADO 8	INVESTIGACIÓN ACTUAL
MÍNIMA	1430	1140	1150
PROMEDIO	1687.5	1813.33	1300
MÁXIMA	2010	2250	1530

5.3.6 Comparación de valores de cargas de las uniones ensayadas respecto al RNE E-100, Anexo D

Según lo establecido en el capítulo 8.9 RNE E-100, que requiere un factor de seguridad (FS) de 3, la comparación de los resultados experimentales reveló que todas las configuraciones de uniones analizadas, tanto con refuerzo sintético como sin refuerzo, superaron los valores indicados en la norma en el Anexo D.

La carga admisible se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Carga\ Admisible = \frac{Carga\ Experimental\ Promedio}{FS}$$

Adicionalmente, los resultados mostraron que las uniones colineales obtuvieron las mayores resistencias promedio, lo que sugiere una mayor capacidad de carga en este tipo de configuración. Al analizar la relación en porcentaje de los resultados experimentales respecto a los valores indicados del RNE E-100 (Tabla 71 y Tabla 72), se observó que las uniones inclinadas de 30° con refuerzo sintético presentaron el mayor porcentaje (201.4%). Esto indica que, comparada con su respectivo valor indicado del anexo D de la norma, este tipo de unión reforzada presenta una resistencia superior.

Tabla 71

Análisis comparativo de cargas experimentales en uniones sin refuerzo con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100

TIPO DE UNIÓN	SIN REFUERZO						
	RNE E-100	CARGA (kg)					
		MIN.	%	MAX.	%	PROM	%
Colineal (0°)	350	500	42.9	716.7	104.8	625.7	78.8
Inclinada de 30°	200	393.3	96.7	560	180	476.1	138.1
Inclinada de 45°	200	383.3	91.7	550	175	457.2	128.6
Inclinada de 60°	200	366.7	83.4	533.3	166.7	448.3	124.2
Perpendicular (90°)	200	300	50	426.7	113.4	347.8	73.9

Tabla 72

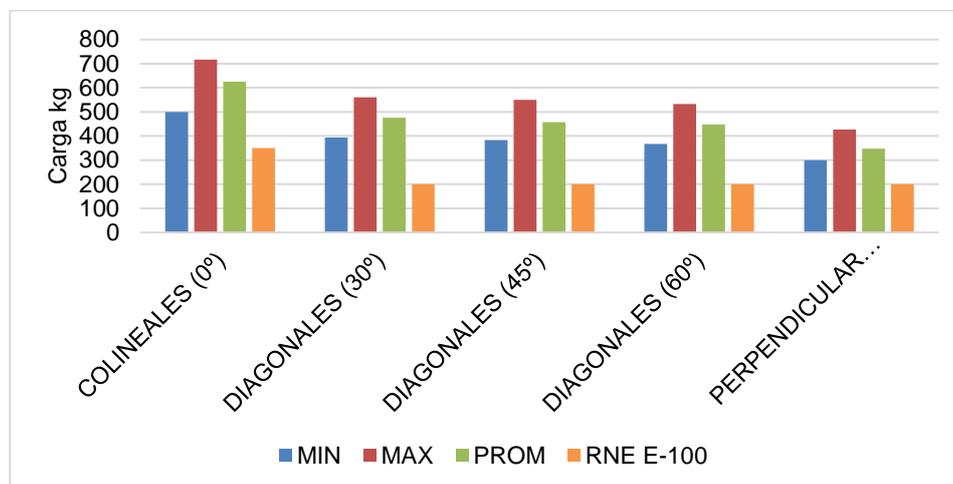
Análisis comparativo de cargas experimentales en uniones con refuerzo con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100

TIPO DE UNIÓN	CON REFUERZO						
	RNE E-100	CARGA (kg)					
		MIN.	%	MAX.	%	PROM	%
Colineal (0°)	350	883.3	152.4	1183.3	238.1	971.7	177.6
Inclinada de 30°	200	563.3	181.7	673.3	236.7	602.8	201.4
Inclinada de 45°	200	413.3	106.7	530	165	479.5	139.8
Inclinada de 60°	200	396.7	98.4	616.7	208.4	500	150
Perpendicular (90°)	200	383.3	91.7	510	155	433.3	116.7

Los porcentajes se calcularon comparando los valores de las cargas experimentales promedio con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100.

Figura 73

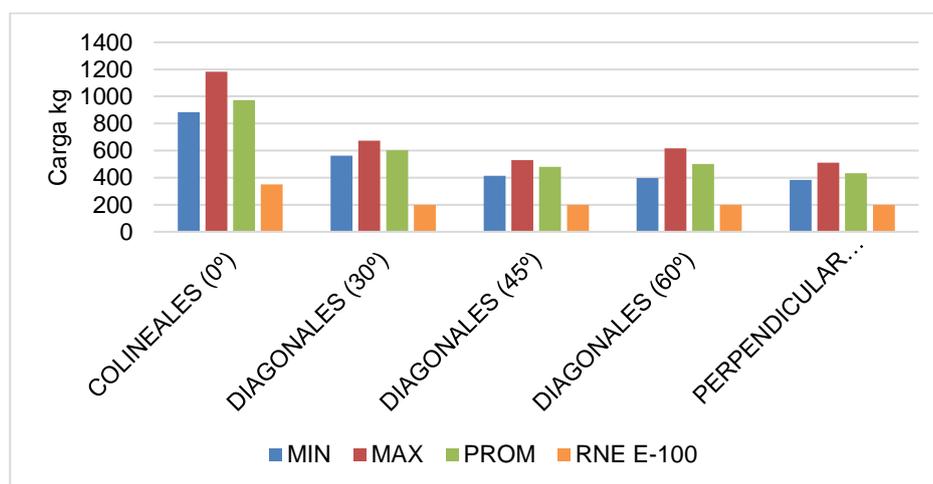
Diagrama de barras: comparación de cargas experimentales en uniones sin refuerzo sintético con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100



La Figura 73 muestra un diagrama de barras de las cargas experimentales (mínima, máxima y promedio) obtenidas en las distintas configuraciones sin refuerzo sintético (colineal, 30°, 45°, 60° y 90°), con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100.

Figura 74

Diagrama de barras: comparación de cargas experimentales en uniones con refuerzo sintético con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100



La Figura 74 muestra un diagrama de barras de las cargas experimentales (mínima, máxima y promedio) obtenidas en las distintas configuraciones con refuerzo sintético (colineal, 30°, 45°, 60° y 90°), con los valores indicados en el Anexo D del RNE E-100.

5.4 Análisis de costos de las uniones

Con el objetivo de comprender la relación entre el costo y la resistencia de las uniones, se realizó un análisis de los costos directos de los materiales para uniones con refuerzo sintético y metálico.

Este análisis es crucial para determinar la eficiencia de cada tipo de refuerzo, entendiendo por eficiencia la capacidad de maximizar la resistencia de la unión al menor costo posible. En este contexto, se evaluó la relación costo-efectividad de las alternativas de refuerzo, considerando la unión como un elemento funcional completo. Para cuantificar esta relación, se calculó el Indicador de Aporte del Refuerzo (IAR), que relaciona el costo adicional del refuerzo con el incremento en la capacidad de carga que proporciona.

El IAR se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IAR = \frac{\text{COSTO DEL REFUERZO S/}}{(\text{CARGA PROMEDIO CON REFUERZO} - \text{CARGA PROMEDIO SIN REFUERZO}) \text{ kg}}$$

Los precios unitarios promedio de los materiales se obtuvieron de proveedores locales en Lima durante el año 2022. A continuación, se presentan los costos de las uniones:

Tabla 73

Costo unitario de unión colineal c/s refuerzo sintético

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	P. UNITARIO S/	UNIÓN CON REFUERZO S/	UNIÓN SIN REFUERZO S/
Bambú (<i>Guadua angustifolia</i>)	m	0.60	4.67	2.8	2.8
Madera eucalipto (55 cm longitud, Ø=3")	m	0.55	8.00	4.4	4.4
Perno roscado de 3/8" (longitud 14 cm)	und.	4	4.50	18	18
Zuncho sintético (ancho de 3/4")	m	4	0.30	1.2	0
Hebilla para zuncho	und.	8	1.00	8	0
Arandelas	und.	8	0.05	0.4	0.4
Tuercas	und.	8	0.10	0.8	0.8
Servicio torneado de madera	glb	1	4.00	4	4
COSTO TOTAL S/				39.6	30.4

Tabla 74*Costo unitario de unión colineal c/s refuerzo metálico*

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	P. UNITARIO S/	UNIÓN CON REFUERZO S/	UNIÓN SIN REFUERZO S/
Bambú (<i>Guadua angustifolia</i>)	m	0.6	4.67	2.80	2.80
Madera capirona (55 cm longitud, Ø=3")	m	0.55	12.00	6.60	6.60
Varilla roscada grado 2,8 (Ø=3/8", 14 cm longitud)	und.	4	2.00	8.00	8.00
Zuncho metálico (ancho de 3/4")	m	4	3.60	14.40	0.00
Hebilla para zuncho	und.	8	1.00	8.00	0.00
Arandelas	und.	8	0.05	0.40	0.40
Tuercas	und.	8	0.10	0.80	0.80
Servicio torneado de madera	glb	1	4.00	4.00	4.00
COSTO TOTAL S/				45.00	22.60

Tabla 75*Costo unitario de unión inclinada c/s refuerzo sintético*

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	P. UNITARIO S/	UNIÓN CON REFUERZO S/	UNIÓN SIN REFUERZO S/
Bambú (<i>Guadua angustifolia</i>)	m	1.2	4.67	5.60	5.60
Mortero (proporción 1:4)	kg	8	0.38	3.00	3.00
Perno roscado de Ø=3/8" (longitud 14 cm)	und.	2	4.50	9.00	9.00
Varilla de 2 ojos de 3/8" (ojos de Ø=5/8")	und.	1	9.50	9.50	9.50
Zuncho sintético (ancho de 3/4")	m	2	0.30	0.60	0.00
Hebilla para zuncho	und.	4	1.00	4.00	0.00
Arandela	und.	4	0.05	0.20	0.20
Tuercas	und.	4	0.10	0.40	0.40
COSTO TOTAL S/				32.3	27.7

Tabla 76*Costo unitario de unión inclinada c/s refuerzo metálico*

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	P. UNITARIO S/	UNIÓN CON REFUERZO S/	UNIÓN SIN REFUERZO S/
Bambú (<i>Guadua angustifolia</i>)	m	1.2	4.67	5.60	5.60
Mortero (proporción 1:4)	kg	8	0.38	3.00	3.00
Varilla roscada grado 2,8 (Ø=3/8", 14 cm longitud)	und.	2	2.00	4.00	4.00

Varilla de 2 ojos grado 2,8	und.	1	12.00	12.00	12.00
Zuncho metálico (ancho de 3/4")	m	2	3.60	7.20	0.00
Hebilla para zuncho	und.	4	1.00	4.00	0.00
Arandelas	und.	4	0.05	0.20	0.20
Tuercas	und.	4	0.10	0.40	0.40
COSTO TOTAL S/				36.4	25.2

El análisis comparativo reveló que la implementación de refuerzo metálico implica un mayor costo, este aumento se manifiesta con un 44.4% en uniones inclinadas y un 99.1% en las colineales, ambas en relación a las alternativas sin refuerzo. En contraste, el refuerzo sintético demostró una menor demanda de inversión, con incrementos del 16.6% y 30.3% para uniones inclinadas y colineales, respectivamente.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de complementar este análisis de costos con una evaluación de la resistencia de cada tipo de unión.

5.4.1 Análisis de costos en uniones colineales

A continuación, se presentan los resultados del análisis de costo-efectividad, que se llevó a cabo mediante el cálculo del Indicador de Aporte del Refuerzo (IAR) y la evaluación del aumento porcentual en la capacidad de carga.

Tabla 77

Análisis de costo-efectividad de uniones colineales

DESCRIPCIÓN	REFUERZO SINTÉTICO	REFUERZO METÁLICO GRADO 2	REFUERZO METÁLICO GRADO 8
Carga Promedio con Refuerzo (kg)	2915	2860	2856.7
Carga Promedio sin Refuerzo (kg)	1876.7	1653.3	1700
Costo del Refuerzo (S/)	9.2	14.6	14.6
Aumento de Carga (kg)	1038.3	1206.7	1156.7
Efectividad: Aumento (%)	55.3%	72.9%	68.0%
IAR (S//kg)	0.0089	0.0121	0.0126

Los resultados mostraron que el refuerzo metálico (Grado 2 y Grado 8) incrementa la efectividad de la unión, aumentando la capacidad de carga en un 72.9% y 68.0% respectivamente, en comparación con el 55.3% observado con el refuerzo sintético.

Sin embargo, al analizar la relación costo-efectividad mediante el Indicador de Aporte del Refuerzo (IAR), se observó que el refuerzo sintético ofrece la mejor relación (IAR = 0.0089 S//kg), superando a los refuerzos metálicos Grado 2 (IAR = 0.0121 S//kg) y Grado 8 (IAR = 0.0126 S//kg). Esto indica que, por cada kilogramo adicional de capacidad de carga obtenida, el costo en refuerzo sintético es menor que la inversión en refuerzo metálico.

5.4.2 Análisis de costos en uniones de 30°

Siguiendo la misma metodología descrita en la sección anterior, a continuación, se presentan los resultados del análisis de costo-efectividad para las uniones inclinadas a 30°.

Tabla 78

Análisis de costo-efectividad de uniones inclinadas de 30°

DESCRIPCIÓN	REFUERZO SINTÉTICO	REFUERZO METÁLICO GRADO 2	REFUERZO METÁLICO GRADO 8
Carga Promedio con Refuerzo (kg)	1808.4	1997.5	2273.3
Carga Promedio sin Refuerzo (kg)	1428.4	1013.3	1156
Costo del Refuerzo (S/)	4.6	11.2	11.2
Aumento de Carga (kg)	380	984.2	1117.3
Efectividad: Aumento (%)	26.6%	97.1%	96.7%
IAR (S//kg)	0.0121	0.0114	0.0100

Los resultados mostraron que los refuerzos metálicos (Grado 2 y Grado 8) incrementan significativamente la efectividad de la unión, aumentando la capacidad de carga en un 97.1% y 96.6% respectivamente, en comparación con el 26.6% observado con el refuerzo sintético.

El análisis de la relación costo-efectividad, mediante el Indicador de Aporte del Refuerzo (IAR), indica que el refuerzo metálico Grado 8 ofrece la mejor relación (IAR = 0.0100 S//kg), seguido por el refuerzo metálico Grado 2 (IAR = 0.0114 S//kg) y el refuerzo sintético (IAR = 0.0121 S//kg).

5.4.3 Análisis de costos en uniones de 45°

A continuación, se presentan los resultados del análisis de costo-efectividad para las uniones inclinadas a 45°.

Tabla 79

Análisis de costo-efectividad de uniones inclinadas de 45°

DESCRIPCIÓN	REFUERZO SINTÉTICO	REFUERZO METÁLICO GRADO 2	REFUERZO METÁLICO GRADO 8
Carga Promedio con Refuerzo (kg)	1438.4	1700	1607.14
Carga Promedio sin Refuerzo (kg)	1371.7	1267.5	1326.67
Costo del Refuerzo (S/)	4.6	11.2	11.2
Aumento de Carga (kg)	66.7	432.5	280.47
Efectividad: Aumento (%)	4.9%	34.1%	21.1%
IAR (S//kg)	0.069	0.0259	0.0399

Los resultados mostraron que los refuerzos metálicos (Grado 2 y Grado 8) incrementan significativamente la efectividad de la unión, aumentando la capacidad de carga en un 34.1% y 21.1% respectivamente, en comparación con el 4.9% observado con el refuerzo sintético.

El análisis de la relación costo-efectividad, mediante el Indicador de Aporte del Refuerzo (IAR), indica que el refuerzo metálico Grado 2 ofrece la mejor relación (IAR = 0.0259 S//kg), seguido por el refuerzo metálico Grado 8 (IAR = 0.0399 S//kg) y el refuerzo sintético (IAR = 0.0690 S//kg).

5.4.4 Análisis de costos en uniones de 60°

A continuación, se presentan los resultados del análisis de costo-efectividad para las uniones inclinadas a 60°.

Tabla 80

Análisis de costo-efectividad de uniones inclinadas de 60°

DESCRIPCIÓN	REFUERZO SINTÉTICO	REFUERZO METÁLICO GRADO 2	REFUERZO METÁLICO GRADO 8
Carga Promedio con Refuerzo (kg)	1500	1607.5	1311.67
Carga Promedio sin Refuerzo (kg)	1345	1135	956

Costo del Refuerzo (S/)	4.6	11.2	11.2
Aumento de Carga (kg)	155	472.5	355.67
Efectividad: Aumento (%)	11.5%	41.6%	37.2%
IAR (S//kg)	0.0297	0.0237	0.0315

Los resultados mostraron que los refuerzos metálicos (Grado 2 y Grado 8) incrementan la efectividad de la unión, aumentando la capacidad de carga en un 41.6% y 37.2% respectivamente, en comparación con el 11.5% observado con el refuerzo sintético.

El análisis de la relación costo-efectividad, mediante el Indicador de Aporte del Refuerzo (IAR), indica que el refuerzo metálico Grado 2 ofrece la mejor relación (IAR = 0.0237 S//kg), seguido por el refuerzo sintético (IAR = 0.0297 S//kg) y el refuerzo metálico Grado 8 (IAR = 0.0315 S//kg).

5.4.5 Análisis de costos en uniones perpendiculares

A continuación, se presentan los resultados del análisis de costo-efectividad para las uniones perpendiculares (90°).

Tabla 81

Análisis de costo-efectividad de uniones perpendiculares

DESCRIPCIÓN	REFUERZO SINTÉTICO	REFUERZO METÁLICO GRADO 2	REFUERZO METÁLICO GRADO 8
Carga Promedio con Refuerzo (kg)	1300	1687.5	1813.33
Carga Promedio sin Refuerzo (kg)	1043.4	970	1013
Costo del Refuerzo (S/)	4.6	11.2	11.2
Aumento de Carga (kg)	256.6	717.5	800.33
Efectividad: Aumento (%)	24.6%	73.9%	79.0%
IAR (S//kg)	0.0179	0.0156	0.0140

Los resultados mostraron que los refuerzos metálicos (Grado 2 y Grado 8) incrementan la efectividad de la unión, aumentando la capacidad de carga en un 73.9% y 79.0% respectivamente, en comparación con el 24.6% observado con el refuerzo sintético.

El análisis de la relación costo-efectividad, mediante el Indicador de Aporte del Refuerzo (IAR), indica que el refuerzo metálico Grado 8 ofrece la mejor relación (IAR =

0.0140 S//kg), seguido por el refuerzo metálico Grado 2 (IAR = 0.0156 S//kg) y el refuerzo sintético (IAR = 0.0179 S//kg).

Conclusiones

En el diseño de uniones de bambú, es fundamental tener en cuenta la variabilidad inherente del material y la posible presencia de microfisuras u otros defectos internos, que podrían influir en la resistencia de las uniones.

El objetivo principal de esta tesis fue determinar la resistencia de las uniones estructurales de bambú (*Guadua angustifolia*) con refuerzo de material sintético. Para lograr este objetivo, se realizó un análisis de las propiedades físico-mecánicas del bambú y se evaluó la efectividad del refuerzo sintético en diferentes tipos de uniones (colineales e inclinadas), comparando los resultados con la Norma E-100 y con otros estudios previos.

Los valores promedio de las características físico-mecánicas, de la *Guadua angustifolia* procedente del distrito: La Florida, provincia: San Miguel, departamento: Cajamarca, utilizada en esta investigación, se encuentran en rangos consistentes con los reportados por Huamán Puiquín en su investigación, para la misma especie y procedencia.

Las propiedades físico-mecánicas de compresión paralela, corte paralelo, tensión y flexión del bambú analizado en este estudio, incluyendo el módulo de elasticidad, cumplieron con los requisitos establecidos por el RNE E-100.

El refuerzo metálico ofrece una mejor relación entre costo y resistencia en todos los tipos de uniones inclinadas analizadas. La excepción a esta tendencia se observó en las uniones colineales, donde el refuerzo sintético consiguió tener una mejor relación costo/resistencia que el refuerzo metálico.

La configuración geométrica de la unión, el refuerzo y los materiales utilizados en la conexión influyeron significativamente en el modo de falla. El modo de falla más común fue la tensión perpendicular de las fibras, especialmente en las uniones sin refuerzo. Sin embargo, en las uniones ensayadas, el refuerzo sintético eliminó este tipo de falla, trasladando la tensión a las fibras de la pieza superior y produciéndose la falla por tensión y pandeo general de las fibras, que fue común en las uniones con refuerzo. En las uniones

perpendiculares (90°) no se observó falla por tensión perpendicular de las fibras. Es importante destacar que las uniones colineales presentaron un modo de falla diferente, caracterizado por el desplazamiento y doblez de la varilla roscada.

Todas las configuraciones de uniones analizadas, tanto con refuerzo sintético como sin refuerzo, superaron los valores indicados en el anexo D del RNE E-100.

El refuerzo sintético se presenta como una alternativa viable en términos de costo, ya que requiere una menor inversión en comparación con el refuerzo metálico (que cuesta, en promedio, 2.43 veces más), lo que representa una reducción de costos de aproximadamente 58.9%.

En general, el empleo de refuerzos ya sean metálicos o sintéticos demostró ser efectivo para aumentar la resistencia mecánica de las uniones de bambú.

Recomendaciones

Se recomienda considerar el refuerzo de uniones con zunchos sintéticos como una alternativa en situaciones donde no se requiera alcanzar capacidades de carga extremadamente altas.

Se recomienda que las cañas de bambú a utilizar se encuentren preservadas, no presenten rajaduras, se encuentren libres de contaminación de agentes xilófagos (insectos u hongos), y durante el transporte, no se hayan sometido a esfuerzos que pueden ocasionar fracturas internas o resquebrajamientos.

Implementar controles de calidad en la fabricación de las piezas internas de la unión (varillas de acero de dos ojos y varillas roscadas), asegurando que sus dimensiones sean exactas y compatibles con las dimensiones de cada unión, debido a que el bambú es un material variable en dimensiones al ser un material natural.

Tener especial atención a la instalación de los zunchos, asegurando que se encuentren alineados y ubicados en forma perpendicular al eje del bambú. Esto contribuye a garantizar un buen confinamiento de las paredes de la pieza de bambú y evitar uniones defectuosas.

Dada la gran variedad de especies de bambú y la influencia de factores como el clima, edad, el tipo de suelo y el lugar de procedencia en sus propiedades físico-mecánicas, se recomienda seguir investigando esta variabilidad natural para comprender mejor su comportamiento y optimizar su uso en la construcción.

Realizar estudios a largo plazo para evaluar la durabilidad y el comportamiento de las uniones de bambú reforzadas con materiales sintéticos bajo diferentes condiciones ambientales. Esto permitiría determinar la viabilidad de este tipo de refuerzo en aplicaciones estructurales a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Altez Basaldúa, A. (2016). *Deterioro causado por dos hongos de pudrición en las propiedades físico-mecánicas del compuesto bambú-plástico* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/2635>
- Ardila Pinilla, C. L. (2013). *Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú Guadua angustifolia Kunth del departamento de Tolima, Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21648>
- Ávila Ortega, R. A., & Mora Valbuena, J. L. (2017). *Uniones a tracción en guadua angustifolia empleando varilla roscada y compuesto a base de resina de poliéster y fibras naturales* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle.
<https://hdl.handle.net/20.500.14625/31883>
- Barnet, Y., & Jabrane, F. (2019). Conectores de extremidades de bambú para estructuras exploración de un sistema de incrustación en la pared interna del tallo, *Revista científica tecnológica Campus*, 24, 53-65.
<https://doi.org/10.24265/campus.2019.v24n27.05>
- Carpio Galvez, P., & Vásquez Salas, J. (2016). *Características físicas y mecánicas del bambú para fines estructurales* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional de Investigación Universidad Privada Antenor Orrego.
<https://hdl.handle.net/20.500.12759/4462>
- Condori Mollehuara, J. (2005). *Estudio de las propiedades físico-mecánicas de especies de caña de Tumbes, Tarapoto y Moyobamba/Rioja y aplicación de la caña en la construcción* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/15732>
- Corcuera Lu, M. (2015). *Resistencia de uniones de bambú (Guadua Angustifolia) del bosque: Aramango, provincia: Bagua, departamento: Amazonas* [Tesis de

- pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/14678>
- Galvez Avila, F. (2017). *Teoría, diseño y práctica con bambú, riesgo y sostenibilidad en San Antonio Suchitepéquez* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/8135>
- Guerrero Alí, F. I. (2019). *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia Kunth en contacto con un suelo friccionante* [Tesis de pregrado, Universidad del Valle]. Biblioteca Digital Universidad del Valle.
<https://hdl.handle.net/10893/16333>
- Gutierrez Aliaga, S. (2010). *Uniones estructurales con bambú (Guadua Angustifolia)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/444>
- Hidalgo, O. (1978). *Nuevas técnicas de construcción con bambú*. Estudios Técnicos Colombianos Ltda.
- Huamán Puiquín, E. (2021). *Estudio de las propiedades físico mecánicas y de uniones estructurales del bambú Guadua Angustifolia* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/22224>
- Huarcaya Lizana, J. (2010). *Determinación de resistencia de uniones estructurales en bambú (Guadua Angustifolia), bosque: Flor del Valle, distrito/provincia: Rioja, departamento: San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/3206>

Jaramillo Suarez, D., & Sanclemente Manrique, A. G. (2003). *Estudio de uniones en guadua con angulo de inclinación entre elementos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].

<https://guadua.bambucolombia.co/wp-content/uploads/2015/09/uniones-en-guadua-04.pdf>

Mansilla Gómez, K. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera Eucalyptus globulus procedente de la localidad de Ollantaytambo, en estado seco tratada con aceite de linaza por inmersión prolongada para uso estructural* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Digital Universidad Andina del Cusco.

<https://hdl.handle.net/20.500.12557/3599>

Martínez García, S. (2015). *Bambú como material estructural: generalidades, aplicaciones y modelización de una estructura tipo* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]. Riunet Repositorio Institucional UPV.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/55983>

Morán Ubidia, J. (2015). *Construir con bambú (Caña de Guayuaquil) Manual de construcción*. Red Internacional del Bambú y Ratán - INBAR.

https://www.inbar.int/resources/inbar_publications/construir-con-bambu-spanish/

Nolivos Valiente, J. C., & Yacelga Díaz, J. G. (2010). *Estudio de conexiones entre elementos estructurales de caña guadua sometidos a carga axial* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Bibdigital.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2651>

Ordóñez Candelaria, V., Mejía Saulés, T., & Bárcenas Pazos, G. (2002). *Manual para la construcción sustentable con bambú*. Comisión Nacional Forestal.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=506>

Osorio, J., Vélez, J., & Ciro, H. J. (2007). Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. *DYNA*, 74, 81-94.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615323>

Quispe Pardavé, T. (2010). *Elementos estructurales de bambú (Guadua angustifolia): tijera y viga* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería.

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/436>

Ricardo Moreno, J., & Cendales Puentes, M. (2018). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth originaria de Armenia Quindío* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia.

<https://hdl.handle.net/10983/23924>

Sánchez, L., Guerra, A., & Lozano, J. (2019). Comparación de las propiedades físico-mecánicas del bambú *Guadua angustifolia* Kunth de diferentes municipios de Colombia, *Revista Ciencia*, 22, 34-56.

<https://www.researchgate.net/publication/339431916>

Sarmiento Jurado, J. (2010). *Propuesta de factores de resistencia para el diseño de elementos estructurales en Guadúa Angustifolia Kunth* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Séneca.

<http://hdl.handle.net/1992/19163>

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2020). *Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E-100 Bambú*.

<https://drive.google.com/file/d/1xTu8Cg5b-Nw6bUyfbyl1GHuT2JsuYEBY>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2018). *Manual Técnico de la Caña Guayaquil (Guadua angustifolia): Sistematización de experiencias en la región Piura*.

<https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/523>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2022). *Estrategia Nacional para el Desarrollo del Bambú (PROBAMBÚ)*.

<https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/937>

Tinsae, B., & Yulong, D. (2021). A Review on Bamboo Resource in the African Region: A Call for Special Focus and Action. *Hindawi International Journal of Forestry Research*, 2021, 1-23.

<https://doi.org/10.1155/2021/8835673>

Uribe Vallejo, M., & Durán Contreras, A. (2002). *Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. UNAL

Vorontsova, M., Clark, G., & Dransfield, J. (2016). *World Checklist of Bamboos and Rattans*. Beijing, China: INBAR - International Network for Bamboo and Rattan.

<https://www.researchgate.net/profile/William-Baker-4/publication/316620295>

Anexos

Anexo 1: Características de la madera eucalipto y mortero	1
Anexo 2: Herramienta para enzunchar	4
Anexo 3: Reporte de fallas y características de uniones	5
Anexo 4: Codificación de probetas.....	25
Anexo 5: Informe técnico de contrastación de torquimetro.....	28

Anexo 1

Características de la madera eucalipto y mortero

Propiedades físico mecánicas de la madera eucalipto

En su investigación, Mansilla (2020) determinó las propiedades físico-mecánicas de la madera eucalipto y se muestran a continuación:

Tabla A1

Propiedades físico-mecánicas madera eucalipto

Ensayo	Valor	Unidad
Densidad en estado natural	0.88	gr/cm ³
Compresión Paralela	303.83	kg/cm ²
Compresión Perpendicular	170.53	kg/cm ²
Corte Paralelo	103.48	kg/cm ²
Flexión Estática	785.18	kg/cm ²

Nota: fuente Mansilla (2020)

Ensayo de compresión del mortero (NTP 334.051)

Al mortero (1:4) de marca QUIKRETE (bolsa de 20 kg de presentación) utilizado se le realizó el ensayo de compresión, los especímenes fueron cubos de 5 cm de lado.

Figura A1

Ensayo de compresión del mortero



Tabla A2

Resistencia a la compresión a 7 días

Muestra	Carga kN	Lados cm		Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)
	7 días	Lado 1	Lado 2	
M1	36.23	5.07	5.02	145.15
M2	36.67	5.10	5.04	145.47
M3	37.84	4.98	5.05	153.43
Promedio				148.02

Tabla A3*Resistencia a la compresión a 14 días*

Muestra	Carga kN	Lados cm		Resistencia a la compresión f_c (kg/cm ²)
	14 días	Lado 1	Lado 2	
M1	45.88	5.02	5.08	183.45
M2	45.92	5.07	4.98	185.45
M3	44.19	5.03	5.06	177.04
Promedio				181.98

Tabla A4*Resistencia a la compresión a 21 días*

Muestra	Carga kN	Lados cm		Resistencia a la compresión f_c (kg/cm ²)
	21 días	Lado 1	Lado 2	
M1	47.64	4.97	5.04	193.94
M2	48.31	5.08	5.11	189.77
M3	49.62	4.99	5.06	200.39
Promedio				194.70

Tabla A5*Resistencia a la compresión a 28 días*

Muestra	Carga kN	Lados cm		Resistencia a la compresión f_c (kg/cm ²)
	28 días	Lado 1	Lado 2	
m1	53.98	5.03	5.02	217.99
m2	54.78	5.04	5.06	219.03
m3	53.37	5.12	5.02	211.74
Promedio				216.25

Ensayo de granulometría (NTP 400.012; ASTM C136)

Para realizar el ensayo de granulometría, previamente se tamizó por la malla N°200 la muestra, con el fin de separar el cemento que se encuentre en el mortero. Se utilizaron 500 gramos de mortero.

Tabla A6*Tamizado del agregado grueso*

mm	Malla	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
4.76	#4	0	0	0	100.0
2.36	#8	43.6	11.03	11.03	89.0
1.18	#16	86.7	21.94	32.97	67.0

0.59	N30	92.3	23.36	56.33	43.7
0.295	N50	84.7	21.43	77.76	22.2
0.148	N100	57.5	14.55	92.31	7.7
0.074	N200	30.4	7.69	100.00	0.0
	Fondo	0	0	100.00	0.0

Se calculó un módulo de finura de 2.71

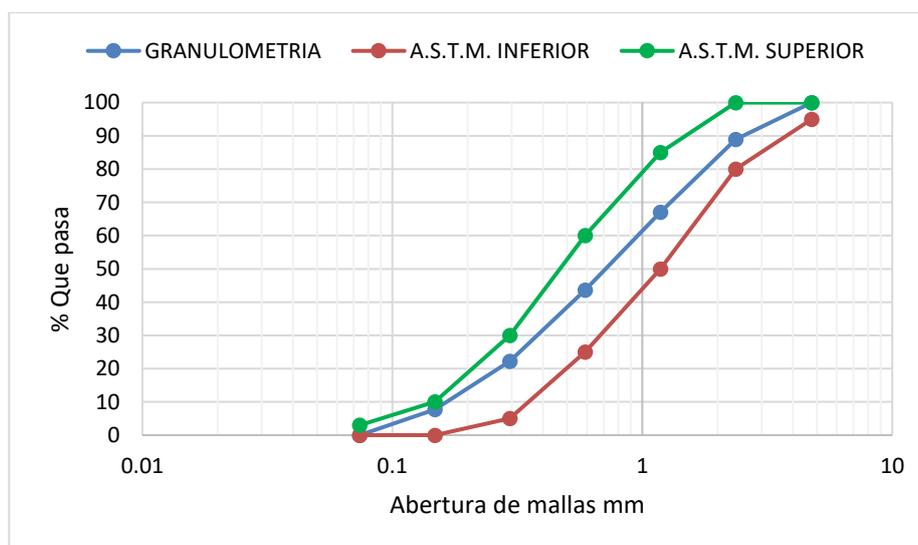
Figura A2

Cuarteo y tamizado de la muestra



Figura A3

Curva granulométrica



Anexo 2

Herramienta para enzunchar

Debido a la falta de una herramienta comercial para asegurar los zunchos sintéticos durante la elaboración de las uniones reforzadas, se decidió diseñar una herramienta propia, en la cual se adaptó una llave de dado para tomar medida del torque con el que ajustan los zunchos, de tal forma de que todas las uniones se encuentren aseguradas (enzunchadas) con el mismo torque, con la finalidad que todas las uniones sean ensayadas bajo las mismas condiciones y evitar la dispersión de datos.

Figura A4

Herramienta para Enzunchar



Anexo 3

Reporte de fallas y características de uniones

Las uniones fueron enzunchadas entre un rango de 20-21 lb-pie de torque, mayores a 22 lb-pie los zunchos podían fallar por tracción.

UNIÓN COLINEAL-01		
Codificación	BF-11-0°S-B01	
Basa	Sin Refuerzo	
Diámetro (mm)	93.84	
Espesor (mm)	8.05	
Entrenudo (mm)	280	
Humedad (%)	16.0	
Densidad (kg/m³)	552.0	
Carga (kg)	1800	
TIPO DE FALLA		
Desplazamiento y doblez de la varilla roscada.		
UNIÓN COLINEAL-02		
Codificación	BF-13-0°S-B02	
Basa	Sin Refuerzo	
Diámetro (mm)	100.43	
Espesor (mm)	7.92	
Entrenudo (mm)	300	
Humedad (%)	15.3	
Densidad (kg/m³)	585.4	
Carga (kg)	1500	
TIPO DE FALLA		
Desplazamiento y doblez de la varilla roscada.		
UNIÓN COLINEAL-03		
Codificación	BF-20-0°S-B03	
Basa	Sin Refuerzo	
Diámetro (mm)	101.35	
Espesor (mm)	8.21	
Entrenudo (mm)	287.5	
Humedad (%)	18.9	
Densidad (kg/m³)	574.0	
Carga (kg)	1660	
TIPO DE FALLA		
Desplazamiento y doblez de la varilla roscada.		

UNIÓN COLINEAL-04

Codificación	BF-08-0°C-B04
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	95.36
Espesor (mm)	8.01
Entrenudo (mm)	262.5
Humedad (%)	18.2
Densidad (kg/m ³)	573.9
Carga (kg)	2700



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-05

Codificación	BF-16-0°C-B05
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	98.43
Espesor (mm)	8.02
Entrenudo (mm)	285
Humedad (%)	16.9
Densidad (kg/m ³)	557.1
Carga (kg)	2650



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-06

Codificación	BF-19-0°C-B06
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	102.37
Espesor (mm)	8.12
Entrenudo (mm)	297.5
Humedad (%)	18.3
Densidad (kg/m ³)	597.5
Carga (kg)	



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-07

Codificación	BF-11-0°S-C07
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	114.93
Espesor (mm)	9.28
Entrenudo (mm)	245
Humedad (%)	18.4
Densidad (kg/m ³)	612.8
Carga (kg)	2050



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-08

Codificación	BF-14-0°S-C08
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	104.94
Espesor (mm)	8.34
Entrenudo (mm)	282.5
Humedad (%)	16.4
Densidad (kg/m ³)	505.0
Carga (kg)	2150



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-09

Codificación	BF-25-0°S-C09
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	108.69
Espesor (mm)	10.08
Entrenudo (mm)	240
Humedad (%)	17.8
Densidad (kg/m ³)	653.7
Carga (kg)	2100



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-10

Codificación	BF-05-0°C-C10
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	112.63
Espesor (mm)	9.06
Entrenudo (mm)	267.5
Humedad (%)	17.2
Densidad (kg/m ³)	577.4
Carga (kg)	2900

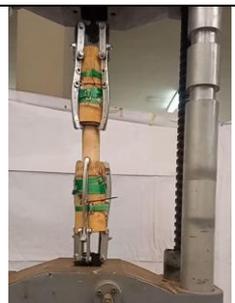


TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-11

Codificación	BF-12-0°C-C11
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	103.77
Espesor (mm)	8.33
Entrenudo (mm)	277.5
Humedad (%)	17.7
Densidad (kg/m ³)	551.9
Carga (kg)	3550



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN COLINEAL-12

Codificación	BF-22-0°C-C12
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	112.75
Espesor (mm)	9.81
Entrenudo (mm)	250
Humedad (%)	17.5
Densidad (kg/m ³)	562.2
Carga (kg)	2780



TIPO DE FALLA

Desplazamiento y dobléz de la varilla roscada.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-01

Codificación	BF-[21-14]-30°S-B01
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	106.63
Espesor (mm)	9.21
Entrenudo (mm)	310
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	572.3
Carga (kg)	1480



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-02

Codificación	BF-[15-12]-30°S-B02
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	93.72
Espesor (mm)	7.77
Entrenudo (mm)	255
Humedad (%)	17.7
Densidad (kg/m ³)	621.1
Carga (kg)	1180



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-03

Codificación	BF-[23-21]-30°S-B03
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	113.15
Espesor (mm)	9.04
Entrenudo (mm)	300
Humedad (%)	14.5
Densidad (kg/m ³)	480.9
Carga (kg)	1380



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-04

Codificación	BF-[08-09]-30°C-B04
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	99.92
Espesor (mm)	7.86
Entrenudo (mm)	310
Humedad (%)	13.7
Densidad (kg/m ³)	581.2
Carga (kg)	1690



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-05

Codificación	BF-[13-16]-30°C-B05
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	112.08
Espesor (mm)	8.70
Entrenudo (mm)	265
Humedad (%)	17.9
Densidad (kg/m ³)	669.3
Carga (kg)	1720



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-06

Codificación	BF-[15-6]-30°C-B06
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	108.43
Espesor (mm)	8.19
Entrenudo (mm)	270
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	545.2
Carga (kg)	2020



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-07

Codificación	BF-[13-15]-30°S-C07
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	106.54
Espesor (mm)	9.12
Entrenudo (mm)	315
Humedad (%)	15.7
Densidad (kg/m ³)	544.2
Carga (kg)	1680



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-08

Codificación	BF-[18-22]-30°S-C08
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	100.67
Espesor (mm)	9.73
Entrenudo (mm)	280
Humedad (%)	15.3
Densidad (kg/m ³)	484.3
Carga (kg)	1550



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-09

Codificación	BF-[14-19]-30°S-C09
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	102.43
Espesor (mm)	9.58
Entrenudo (mm)	300
Humedad (%)	15.5
Densidad (kg/m ³)	493.0
Carga (kg)	1300



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-10

Codificación	BF-[01-05]-30°C-C10
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	95.94
Espesor (mm)	7.83
Entrenudo (mm)	252
Humedad (%)	15.3
Densidad (kg/m ³)	584.3
Carga (kg)	1700



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-11

Codificación	BF-[02-04]-30°C-C11
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	102.88
Espesor (mm)	9.64
Entrenudo (mm)	265
Humedad (%)	17.3
Densidad (kg/m ³)	533.5
Carga (kg)	1880



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 30°-12

Codificación	BF-[13-16]-30°C-C12
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	106.36
Espesor (mm)	9.23
Entrenudo (mm)	270
Humedad (%)	15.7
Densidad (kg/m ³)	567.2
Carga (kg)	1840



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-01

Codificación	BF-[13-16]-45°S-B01
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	91.83
Espesor (mm)	7.33
Entrenudo (mm)	320
Humedad (%)	16.8
Densidad (kg/m ³)	613.5
Carga (kg)	1630



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-02

Codificación	BF-[12-14]-45°S-B02
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	95.73
Espesor (mm)	7.49
Entrenudo (mm)	290
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	522.8
Carga (kg)	1150



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-03

Codificación	BF-[04-07]-45°S-B03
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	92.62
Espesor (mm)	7.37
Entrenudo (mm)	250
Humedad (%)	15.8
Densidad (kg/m ³)	470.7
Carga (kg)	1650



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-04

Codificación	BF-[12-07]-45°C-B04
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	90.23
Espesor (mm)	7.32
Entrenudo (mm)	300
Humedad (%)	15.0
Densidad (kg/m ³)	516.6
Carga (kg)	1500



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-05

Codificación	BF-[04-22]-45°C-B05
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	92.75
Espesor (mm)	8.38
Entrenudo (mm)	260
Humedad (%)	15.6
Densidad (kg/m ³)	517.5
Carga (kg)	1590



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-06

Codificación	BF-[11-15]-45°C-B06
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	102.21
Espesor (mm)	7.54
Entrenudo (mm)	315
Humedad (%)	16.3
Densidad (kg/m ³)	508.7
Carga (kg)	1350



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
 Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-07

Codificación	BF-[15-19]-45°S-C07
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	103.74
Espesor (mm)	9.12
Entrenudo (mm)	270
Humedad (%)	14.4
Densidad (kg/m ³)	628.0
Carga (kg)	1200



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-08

Codificación	BF-[13-10]-45°S-C08
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	107.54
Espesor (mm)	10.22
Entrenudo (mm)	270
Humedad (%)	16.5
Densidad (kg/m ³)	573.6
Carga (kg)	1250



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.
Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-09

Codificación	BF-[22-20]-45°S-C09
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	100.73
Espesor (mm)	9.91
Entrenudo (mm)	265
Humedad (%)	15.5
Densidad (kg/m ³)	641.5
Carga (kg)	1350



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-10

Codificación	BF-[12-15]-45°C-C10
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	106.27
Espesor (mm)	9.71
Entrenudo (mm)	240
Humedad (%)	15.1
Densidad (kg/m ³)	557.9
Carga (kg)	1240



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-11

Codificación	BF-[10-16]-45°C-C11
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	110.31
Espesor (mm)	10.05
Entrenudo (mm)	245
Humedad (%)	16.0
Densidad (kg/m ³)	484.9
Carga (kg)	1400



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 45°-12

Codificación	BF-[14-18]-45°C-C12
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	108.36
Espesor (mm)	9.15
Entrenudo (mm)	280
Humedad (%)	16.3
Densidad (kg/m ³)	505.4
Carga (kg)	1550



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-01

Codificación	BF-[08-09]-60°S-B01
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	101.36
Espesor (mm)	9.06
Entrenudo (mm)	240
Humedad (%)	15.9
Densidad (kg/m ³)	626.7
Carga (kg)	1160



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.
Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-02

Codificación	BF-[13-10]-60°S-B02
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	95.81
Espesor (mm)	8.51
Entrenudo (mm)	215
Humedad (%)	18.1
Densidad (kg/m ³)	577.4
Carga (kg)	1150



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.
Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-03

Codificación	BF-[10-12]-60°S-B03
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	98.92
Espesor (mm)	8.91
Entrenudo (mm)	320
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	481.1
Carga (kg)	1100



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-04

Codificación	BF-[08-10]-60°C-B04
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	106.81
Espesor (mm)	8.91
Entrenudo (mm)	235
Humedad (%)	16.4
Densidad (kg/m ³)	486.9
Carga (kg)	1390



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-05

Codificación	BF-[14-16]-60°C-B05
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	96.14
Espesor (mm)	8.44
Entrenudo (mm)	225
Humedad (%)	15.0
Densidad (kg/m ³)	608.6
Carga (kg)	1340



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-06

Codificación	BF-[16-11]-60°C-B06
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	100.12
Espesor (mm)	9.16
Entrenudo (mm)	315
Humedad (%)	16.1
Densidad (kg/m ³)	609.7
Carga (kg)	1850



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-07

Codificación	BF-[13-16]-60°S-C07
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	107.47
Espesor (mm)	9.62
Entrenudo (mm)	235
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	488.5
Carga (kg)	1600



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
 Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-08

Codificación	BF-[20-16]-60°S-C08
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	108.21
Espesor (mm)	10.03
Entrenudo (mm)	245
Humedad (%)	18.4
Densidad (kg/m ³)	492.1
Carga (kg)	1500



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
 Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-09

Codificación	BF-[19-08]-60°S-C09
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	103.74
Espesor (mm)	9.12
Entrenudo (mm)	330
Humedad (%)	15.7
Densidad (kg/m ³)	596.8
Carga (kg)	1560



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
 Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.
 Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-10

Codificación	BF-[19-21]-60°C-C10
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	103.82
Espesor (mm)	9.71
Entrenudo (mm)	220
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	497.0
Carga (kg)	1450



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-11

Codificación	BF-[11-21]-60°C-C11
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	104.28
Espesor (mm)	10.12
Entrenudo (mm)	230
Humedad (%)	14.5
Densidad (kg/m ³)	622.9
Carga (kg)	1190



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN DIAGONAL INCLINADA 60°-12

Codificación	BF-[08-13]-60°C-C12
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	98.85
Espesor (mm)	8.78
Entrenudo (mm)	320
Humedad (%)	18.7
Densidad (kg/m ³)	485.5
Carga (kg)	1780



TIPO DE FALLA

Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleces de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN PERPENDICULAR-01

Codificación	BF-[08-09]-90°S-B01
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	97.12
Espesor (mm)	7.84
Entrenudo (mm)	300
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	501.0
Carga (kg)	980



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.
Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN PERPENDICULAR-02

Codificación	BF-[13-15]-90°S-B02
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	98.81
Espesor (mm)	7.64
Entrenudo (mm)	255
Humedad (%)	15.5
Densidad (kg/m ³)	486.1
Carga (kg)	1000



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN PERPENDICULAR-03

Codificación	BF-[08-12]-90°S-B03
Basa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	95.81
Espesor (mm)	7.78
Entrenudo (mm)	270
Humedad (%)	19.1
Densidad (kg/m ³)	490.3
Carga (kg)	900



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Doblez de la varilla roscada, pieza inferior.
Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN PERPENDICULAR-04

Codificación	BF-[21-16]-90°C-B04
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	106.23
Espesor (mm)	8.51
Entrenudo (mm)	310
Humedad (%)	16.2
Densidad (kg/m ³)	436.9
Carga (kg)	1150



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Dobleza de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN PERPENDICULAR-05

Codificación	BF-[09-10]-90°C-B05
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	96.12
Espesor (mm)	8.16
Entrenudo (mm)	215
Humedad (%)	15.7
Densidad (kg/m ³)	518.0
Carga (kg)	1320



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Dobleza de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN PERPENDICULAR-06

Codificación	BF-[09-12]-90°C-B06
Basa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	100.27
Espesor (mm)	7.81
Entrenudo (mm)	280
Humedad (%)	16.2
Densidad (kg/m ³)	641.5
Carga (kg)	1200



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Tensión y pandeo general de las fibras.
Dobleza de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN PERPENDICULAR-07

Codificación	BF-[11-13]-90°S-C07
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	110.71
Espesor (mm)	9.82
Entrenudo (mm)	270
Humedad (%)	16.7
Densidad (kg/m ³)	557.1
Carga (kg)	1070



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Tensión perpendicular de las fibras.
Dobleza de la varilla roscada, pieza inferior.

UNIÓN PERPENDICULAR-08

Codificación	BF-[14-16]-90°S-C08
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	100.55
Espesor (mm)	10.62
Entrenudo (mm)	220
Humedad (%)	15.2
Densidad (kg/m ³)	578.8
Carga (kg)	1280



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN PERPENDICULAR-09

Codificación	BF-[19-21]-90°S-C09
Cepa	Sin Refuerzo
Diámetro (mm)	106.72
Espesor (mm)	8.73
Entrenudo (mm)	250
Humedad (%)	15.7
Densidad (kg/m ³)	592.6
Carga (kg)	1030



TIPO DE FALLA

Tensión perpendicular de las fibras.
Dobleza de la varilla roscada, pieza inferior.
Enderezamiento de la varilla de dos ojos.

UNIÓN PERPENDICULAR-10

Codificación	BF-[19-21]-90°C-C10
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	112.54
Espesor (mm)	8.62
Entrenudo (mm)	285
Humedad (%)	17.8
Densidad (kg/m ³)	512.8
Carga (kg)	1180



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Doble de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN PERPENDICULAR-11

Codificación	BF-[10-13]-90°C-C11
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	111.23
Espesor (mm)	10.51
Entrenudo (mm)	220
Humedad (%)	15.9
Densidad (kg/m ³)	570.8
Carga (kg)	1530



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Doble de la varilla roscada, pieza superior.

UNIÓN PERPENDICULAR-12

Codificación	BF-[03-06]-90°C-C12
Cepa	Con Refuerzo
Diámetro (mm)	105.32
Espesor (mm)	8.75
Entrenudo (mm)	280
Humedad (%)	18.9
Densidad (kg/m ³)	535.1
Carga (kg)	1420



TIPO DE FALLA

Enderezamiento de la varilla de dos ojos.
Doble de la varilla roscada, pieza superior.

Anexo 4

Codificación de probetas

La codificación que se usó en los especímenes para su identificación fue la siguiente:

Codificación de probetas para ensayo de compresión paralela a la fibra

Tabla A7

Codificación de probetas de ensayo a compresión paralela a la fibra

1	BF.SN.C08.COM01	6	BF.SN.B12.COM06
2	BF.SN.C21.COM02	7	BF.SN.B19.COM07
3	BF.SN.C21.COM03	8	BF.SN.B13.COM08
4	BF.SN.C24.COM04	9	BF.SN.B12.COM09
5	BF.SN.C10.COM05	10	BF.SN.B09.COM10

Codificación de probetas para ensayo de corte paralelo a la fibra

Tabla A8

Codificación de probetas de ensayo a corte paralelo a la fibra

1	BF.CN.C01.COR01	6	BF.CN.B11.COR06
2	BF.CN.C16.COR02	7	BF.SN.C20.COR07
3	BF.CN.C20.COR03	8	BF.SN.C10.COR08
4	BF.CN.B14.COR04	9	BF.SN.B04.COR09
5	BF.CN.B21.COR05	10	BF.SN.B11.COR10

Codificación de probetas para ensayo de tensión paralela a la fibra

Tabla A9

Codificación de probetas de ensayo a tensión paralela a la fibra

1	BF-C20-TEN01	6	BF-B04-TEN01
2	BF-C20-TEN02	7	BF-B04-TEN02
3	BF-C16-TEN03	8	BF-B08-TEN03
4	BF-C16-TEN04	9	BF-B08-TEN04
5	BF-C16-TEN05	10	BF-B08-TEN05

Codificación de probetas para ensayo de flexión a escala natural

Tabla A10

Codificación de probetas de ensayo a flexión (escala natural)

1	7-FLEX-C-1
2	23-FLEX-C-2
3	3-FLEX-C-3
4	17-FLEX-B-4
5	25-FLEX-B-5
6	18-FLEX-B-6

Codificación de probetas para ensayo de tracción en uniones estructurales colineales

Tabla A11

Codificación de probetas de uniones colineales, inclinadas, de 30° y 45°

n	COLINEAL	n	UNIÓN DE 30°	n	UNIÓN DE 45°
1	BF-11-0°S-B01	13	BF-[21-14]-30°S-B01	25	BF-[13-16]-45°S-B01
2	BF-13-0°S-B02	14	BF-[15-12]-30°S-B02	26	BF-[12-14]-45°S-B02
3	BF-20-0°S-B03	15	BF-[23-21]-30°S-B03	27	BF-[04-07]-45°S-B03
4	BF-08-0°C-B04	16	BF-[08-09]-30°C-B04	28	BF-[12-07]-45°C-B04
5	BF-16-0°C-B05	17	BF-[13-16]-30°C-B05	29	BF-[04-22]-45°C-B05
6	BF-19-0°C-B06	18	BF-[15-6]-30°C-B06	30	BF-[11-15]-45°C-B06
7	BF-11-0°S-C07	19	BF-[13-15]-30°S-C07	31	BF-[15-19]-45°S-C07
8	BF-14-0°S-C08	20	BF-[18-22]-30°S-C08	32	BF-[13-10]-45°S-C08
9	BF-25-0°S-C09	21	BF-[14-19]-30°S-C09	33	BF-[22-20]-45°S-C09
10	BF-05-0°C-C10	22	BF-[01-05]-30°C-C10	34	BF-[12-15]-45°C-C10
11	BF-12-0°C-C11	23	BF-[02-04]-30°C-C11	35	BF-[10-16]-45°C-C11
12	BF-22-0°C-C12	24	BF-[13-16]-30°C-C12	36	BF-[14-18]-45°C-C12

Tabla A12

Codificación de probetas de uniones inclinadas de 60° y perpendiculares

n	UNIÓN DE 60°	n	PERPENDICULAR
37	BF-[08-09]-60°S-B01	49	BF-[08-09]-90°S-B01
38	BF-[13-10]-60°S-B02	50	BF-[13-15]-90°S-B02
39	BF-[10-12]-60°S-B03	51	BF-[08-12]-90°S-B03
40	BF-[08-10]-60°C-B04	52	BF-[21-16]-90°C-B04
41	BF-[14-16]-60°C-B05	53	BF-[09-10]-90°C-B05
42	BF-[16-11]-60°C-B06	54	BF-[09-12]-90°C-B06
43	BF-[13-16]-60°S-C07	55	BF-[11-13]-90°S-C07
44	BF-[20-16]-60°S-C08	56	BF-[14-16]-90°S-C08
45	BF-[19-08]-60°S-C09	57	BF-[19-21]-90°S-C09
46	BF-[19-21]-60°C-C10	58	BF-[19-21]-90°S-C10
47	BF-[11-21]-60°C-C11	59	BF-[10-13]-90°C-C11
48	BF-[08-13]-60°C-C12	60	BF-[03-06]-90°C-C12

Anexo 5

Informe técnico de contrastación de torquímetro



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TECNICO
Lb4 - 0406 - 2022

CONTRASTACIÓN DE TORQUÍMETRO

* SOLICITANTE : **ENRIQUE LOO YEPEZ**
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 107860
* FECHA : Lima, 12 de julio de 2022

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN O MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DEL DOCUMENTO

1. ANTECEDENTES	Se recibió un (01) torquímetro, con la finalidad de realizar lo siguiente: * Contrastación de torquímetro																																		
2. DE LA MUESTRA	Se identificó según el cliente, como: Un (01) torquímetro analógico, de características: * Marca : TRUPER * Serie : - * Código : - * Capacidad : 150 lb x pie * Rango : (20 - 150) lb x pie * Aproximación : 1 lb x pie																																		
3. EQUIPOS UTILIZADOS	* Máquina universal de ensayos mecánicos, marca AMSLER. Capacidad 5 Ton.																																		
4. CONDICIONES DE ENSAYO	* T. : 21 °C * H.R. : 75 %																																		
RESULTADOS																																			
5.1 Ensayo de contrastación																																			
5.	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N° de Lectura</th> <th rowspan="2">Carga (kg)</th> <th rowspan="2">Brazo (mm)</th> <th colspan="2">Patrón</th> <th rowspan="2">Instrumento (lb x pie)</th> <th rowspan="2">Diferencia (lb x pie)</th> <th rowspan="2">Error %</th> </tr> <tr> <th>kg x mm</th> <th>lb x pie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10.0</td> <td>283</td> <td>2830.0</td> <td>20.5</td> <td>20.0</td> <td>-0.5</td> <td>-2.3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>15.0</td> <td>284</td> <td>4260.0</td> <td>30.8</td> <td>30.0</td> <td>-0.8</td> <td>-2.6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>25.0</td> <td>284</td> <td>7100.0</td> <td>51.4</td> <td>50.0</td> <td>-1.4</td> <td>-2.6</td> </tr> </tbody> </table>	N° de Lectura	Carga (kg)	Brazo (mm)	Patrón		Instrumento (lb x pie)	Diferencia (lb x pie)	Error %	kg x mm	lb x pie	1	10.0	283	2830.0	20.5	20.0	-0.5	-2.3	2	15.0	284	4260.0	30.8	30.0	-0.8	-2.6	3	25.0	284	7100.0	51.4	50.0	-1.4	-2.6
N° de Lectura	Carga (kg)				Brazo (mm)	Patrón				Instrumento (lb x pie)	Diferencia (lb x pie)	Error %																							
		kg x mm	lb x pie																																
1	10.0	283	2830.0	20.5	20.0	-0.5	-2.3																												
2	15.0	284	4260.0	30.8	30.0	-0.8	-2.6																												
3	25.0	284	7100.0	51.4	50.0	-1.4	-2.6																												
6. CONCLUSIONES	* El error menor a $\pm 4\%$. * El torquímetro esta OPERATIVO en el rango indicado en el punto 5.1																																		
* La validez de la contrastación es de 6 meses, después de la fecha indicada en el Informe Técnico.																																			
* Código de autenticación : DCLXXXII (CCXXXVII CXXX) CDI CDVI TAPI JUÑO																																			



MSC. ING. WINSTON ACEIJAS FAJARES
CIP: 34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica - Lab. N° 4