



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIOAMBIENTALES

CARRERA DE ARQUITECTURA SOSTENIBLE

**EVALUACIÓN DE LA CONEXIÓN " AGREGANDO VALOR ECOLÓGICO A LAS
CONEXIONES ESTRUCTURALES CON BAMBÚ " UTILIZANDO MADERA
CLASE A EN UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

ARQUITECTA SOSTENIBLE

AUTOR

LIZBETH MARÍA PUCHAICELA LOZANO

Tena-Ecuador

2025

UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIOAMBIENTALES

CARRERA DE ARQUITECTURA SOSTENIBLE

**EVALUACIÓN DE LA CONEXIÓN " AGREGANDO VALOR ECOLÓGICO A LAS
CONEXIONES ESTRUCTURALES CON BAMBÚ " UTILIZANDO MADERA CLASE A EN UNA
VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

ARQUITECTA SOSTENIBLE

AUTOR: LIZBETH MARÍA PUCHAICELA LOZANO

TUTOR: ING.MTR ANGEL FABIAN CHICAIZA ORTIZ

COTUTOR: PH.D JORGE ALEJANDRO BATRES QUEVEDO

Tena-Ecuador

2025

Unidad de Titulación

Carrera Arquitectura Sostenible

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 25 de abril de 2025

De mi consideración:

Yo, Lizbeth María Puchaicela Lozano, con documento de identidad 1104847155, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título de Arquitecto Sostenible, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento, son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,



Lizbeth María Puchaicela Lozano

C.I: 1104847155

Unidad de Titulación

Carrera Arquitectura Sostenible

Autorización de publicación en el repositorio institucional

Tena, 25 de abril de 2025

Yo, Lizbeth María Puchaicela Lozano, con documento de identidad 1104847155 en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de la conexión "Agregando valor ecológico a las conexiones estructurales con bambú" utilizando madera Clase A en una vivienda de interés social en Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Atentamente,



Lizbeth María Puchaicela Lozano

C.I: 1104847155

Unidad de Titulación

Carrera Arquitectura Sostenible

Certificado de dirección de trabajo de titulación

Tena, 25 de abril de 2025

Certifico que el trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE LA CONEXIÓN " AGREGANDO VALOR ECOLÓGICO A LAS CONEXIONES ESTRUCTURALES CON BAMBÚ " UTILIZANDO MADERA CLASE A EN UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN ECUADOR", aprobado bajo el mecanismo de titulación de: tesis, fue realizado por: Lizbeth María Puchaicela Lozano, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.



Angel Fabjan Chicaiza Ortiz
C.I: 1500724768



Jorge Alejandro Batres Quevedo
C.I: 1756536148

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente a todas las entidades que han hecho posible este proyecto transformador. En especial, reconocemos el valioso financiamiento de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y la impecable ejecución a cargo de la Red Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR). Asimismo, extendemos nuestro sincero agradecimiento al MIDUVI. Como bien ha señalado Pablo Jácome, Director Regional para América Latina y el Caribe de INBAR, este esfuerzo colaborativo no solo refuerza el compromiso con el desarrollo sostenible, sino que también abre nuevas oportunidades para impulsar la resiliencia y el bienestar en nuestra región.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Regional Amazónica Ikiám por abrirme las puertas y permitirme formarme en la carrera de Arquitectura Sostenible. Esta experiencia ha sido verdaderamente enriquecedora y transformadora para mi desarrollo profesional.

DEDICATORIA

A mi madre, María Lozano, y a mis hermanos Marlene, Félix, Edinson, Luis y Silvia, así como a todos los docentes y personas que han sido parte de mi proceso académico, les dedico estas líneas en reconocimiento a su incondicional apoyo, paciencia y motivación, que han sido pilares fundamentales en este trayecto.

A mis amigos: Estefanía, Eduardo, Jefferson, Wilson, Jesús y Lesly, por compartir su sabiduría y amistad. Su respaldo ha sido crucial para mi desarrollo personal y académico.

Y a mi tutor, Angel Chicaiza, y a mi cotutor, Jorge Batres, por su invaluable orientación y paciencia. Su dedicación y compromiso con mi aprendizaje han enriquecido enormemente mi experiencia académica.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema a investigar	5
1.3 Justificación de la investigación	6
1.3.1 Preguntas de investigación	9
1.4 Objetivos de la investigación	9
1.4.1 General.....	9
1.4.2 Específicos.....	9
1.4.3 Hipótesis	10
CAPÍTULO II: MARCO METODOLOGÍA	11
2.1 Marco histórico	11
2.1.1 Bambú en el Ecuador	12
2.2 Marco conceptual	13
2.2.1 Guadúa Angustifolia Kunth	13
2.2.2 Crecimiento del bambú	15
2.2.3 Morfología de la Guadúa	16
2.2.4 Degradación y Factores Ambientales que afectan al Bambú Natural	18
2.2.5 Preservación de la Gak.....	18

2.2.6	Secado.....	20
2.2.6.1	Secado al ambiente.....	21
2.2.6.2	Secado artificial.....	21
2.2.7	Almacenamiento.....	22
2.2.8	Propiedades físicas del Bambú	22
2.2.9	Propiedades mecánicas del Bambú	24
2.2.9.1	El módulo de elasticidad	24
2.2.9.2	Flexión.....	24
2.2.9.3	Tracción paralela a las fibras.....	25
2.2.9.4	Compresión paralela a las fibras.....	25
2.2.9.5	Compresión perpendicular a las fibras	25
2.2.10	Modos de transmisión de esfuerzos.....	26
2.2.11	Tipos de estructuras de bambú	26
2.2.12	Conexiones para Bambú	28
2.2.12.1	Cortes en los bordes del bambú	28
2.2.12.2	Uniones y Cortes más comunes del Bambú	29
2.2.12.3	Unión en ángulo recto	30
2.2.12.4	Union compuesto.....	32
2.2.12.5	Tipos de uniones según grupos	34
2.2.13	Clasificación de conexiones para estructuras de bambú	35
2.2.14	Conexiones low tech.....	36
2.2.14.1	Conexiones amarradas	36
2.2.15	Conexiones medium tech	40
2.2.16	Conexiones High tech	45
2.2.17	Conexiones AVECE	46
2.2.17.1	Versatilidad	47
2.2.17.2	Adaptabilidad.....	47
2.2.17.3	Reutilización.....	47
2.2.17.4	Ecológica o sostenibilidad.....	48
2.2.17.5	No depende de mano de obra o trabajo especializado.....	49

2.2.17.6	Mayor maniobrabilidad en obra	49
2.2.18	Componentes de los elementos conectores	49
2.2.18.1	Elemento conector AVECE para distintos ángulos	49
2.2.18.2	Taco de relleno	51
2.2.19	Montaje del sistema AVECE	51
2.2.20	La madera	52
2.2.20.1	Estructura de la madera.....	52
2.2.20.2	Material ortotrópico (Madera)	53
2.2.20.3	Maderas Latifoliadas (tropicales).	54
2.2.20.4	Planos o secciones de la Madera	54
2.2.20.5	Norma de clasificación visual de la madera	55
2.2.20.6	Propiedades físicas de las maderas	56
2.2.20.7	Esfuerzos admisibles	57
2.2.21	Marco Normativo para la construcción en Ecuador	58
2.2.22	Vivienda de interés social	59
2.2.22.1	La vivienda de interés social en Ecuador	60
2.2.22.2	Condiciones mínimas de habitabilidad	60
2.2.23	Los sectores del país con mayor requerimiento de vivienda	61
2.2.23.1	Sector Rural-Agrario.....	61
2.2.23.2	Sector Microempresarial- Artesanal e informal	62
2.2.24	Déficit habitacional cuantitativo y cualitativo	62
2.2.24.1	Déficit habitacional cuantitativo y cualitativo en la Amazonía	62
2.2.24.2	Déficit habitacional cuantitativo y cualitativo en Tena	64
2.3	Método de diseño de los elementos estructurales	65
2.3.1	Esfuerzos admisibles	65
2.3.2	Módulo de elasticidad	66
2.3.3	Coeficientes de modificación.....	66
2.3.3.1	Coeficiente por duración de carga.....	67
2.3.3.2	Coeficientes de modificación por contenido de humedad	68
2.3.3.3	Coeficiente por temperatura (Ct)	69

2.3.3.4	Coeficiente por acción conjunta	70
2.3.4	Diseño de elementos sometidos a flexión.....	70
2.3.4.1	Deflexiones	70
2.3.4.2	Coeficiente de modificación por cortante	72
2.3.4.3	Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.....	73
2.3.5	Cortante	74
2.3.5.1	Esfuerzo cortante paralelo a las fibras	74
2.3.6	Conectores en vigas de sección compuesta	74
2.3.7	Aplastamiento.....	75
2.3.8	Diseño de elementos solicitados por fuerza axial	76
2.3.8.1	Elementos solicitados a compresión axial	76
2.3.8.2	Longitud efectiva	76
2.3.8.3	Esbeltez	76
2.3.8.4	Elementos constituidos por dos o más culmos	77
2.3.8.5	Clasificación de columnas	77
2.4	Marco metodológico.....	78
2.5	Métodos y procedimiento	79
2.5.1	Selección del objeto de estudio.....	79
2.5.2	Selección del sitio.....	83
2.5.3	Ubicación hipotética propuesta del objeto de estudio	83
2.5.3.1	Contextualización del sitio hipotético de implantación	84
2.5.3.2	Ubicación	84
2.5.3.3	Características climáticas del sitio de estudio	85
2.5.3.4	Contexto rural.....	87
2.5.3.5	Contexto urbano	87
2.5.4	Análisis de cargas actuantes en el prototipo de vivienda de interés social.	87
2.5.4.1	Cargas Permanentes (Cargas Muertas)	88
2.5.5	Procedimiento.....	88

2.5.6	Resultados de la cuantificación de las cargas actuantes en la vivienda de interés social	90
2.5.6.1	Cargas Vivas	91
2.5.7	Evaluación de las secciones transversales de las vigas secundarias de la vivienda de interés social.....	91
2.5.8	Evaluación de las secciones transversales de las vigas principales del prototipo de vivienda de interés social.	92
2.5.9	Evaluación de las secciones transversales de las columnas del prototipo de vivienda de interés social.....	93
2.6	Ensayos de materiales para las piezas de madera de la conexión AVECE	93
2.6.1	Metodología para Determinar la Densidad Básica y Propiedades Mecánicas de Madera Clase A	93
2.6.1.1	Densidad básica de la madera Avío y Chuncho	94
2.6.1.2	Procedimiento para la obtención de la densidad básica.....	94
2.6.2	Evaluación de la Conexión AVECE en la Vivienda de Interés Social	98
2.6.3	Pruebas en vigas secundarias	98
2.6.3.1	Toma de muestras	99
2.6.3.2	Dimensionamiento.....	100
2.6.3.3	Registro de las propiedades físicas y geométricas de las muestras	100
2.6.3.4	Elementos de soporte en el eje y en el punto de carga	102
2.6.3.5	Colocar la viga sobre los dos apoyos	107
CAPÍTULO III: Resultados		108
3.1	Resultados de cargas cuantificadas y verificación de vigas secundarias ..	108
3.2	Resultados de la Verificación de Vigas Principales	111
3.3	Resultados del dimensionamiento de las columnas.....	112
3.3.1	Zona sísmica (NEC-SE-DS)	112
3.4	Resultados de la Densidad básica	118
3.5	Correlación de las propiedades mecánicas (resistencia a compresión tensión, cortante y flexión) de la madera clase A.....	118
3.6	Resultados de los ensayos de vigas secundarias y conexiones AVECE	119

3.6.1	Tipos de fallas	120
3.6.2	Comparación de los esfuerzos últimos de los elementos conectores	122
	DISCUSIONES.....	126
4.1	Aplastamiento	126
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
5.1	CONCLUSIONES.....	128
5.2	RECOMENDACIONES.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.	Clasificación del nudo en tipos de estructuras de bambú.	27
Tabla 2-2.	Evaluación de los elementos de las conexiones en ángulo recto	32
Tabla 2-3.	Análisis de elementos de conexiones de ángulo recto y diagonal	33
Tabla 2-4.	Clasificación de la madera a partir de la densidad básica (DB)	57
Tabla 2-5.	Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)	57
Tabla 2-6.	Módulo de Elasticidad	58
Tabla 2-7.	Esfuerzos admisibles (MPa), con contenido de humedad al 12 %	66
Tabla 2-8.	Módulos de elasticidad del bambú, para un contenido de humedad al 12% (MPa)	66
Tabla 2-9.	Coefficientes de modificación por duración de carga (C_D)	67
Tabla 2-10.	Coefficiente de modificación por contenido de humedad	68
Tabla 2-11.	Media Anual de (HE) Humedad de equilibrio de la Madera del Cantón Tena	69
Tabla 2-12.	Coefficientes de modificación por temperatura (Ct)	69
Tabla 2-13.	Fórmulas para el cálculo de deflexiones	71
Tabla 2-14.	Deflexiones admisibles δ (mm)	72
Tabla 2-15.	Valores C_c	72
Tabla 2-16.	Cargas w para cálculo de sección y deflexiones	73
Tabla 2-17.	Coefficientes C_L para diferentes relaciones d/b	73
Tabla 2-18.	Coefficiente de longitud efectiva	76
Tabla 2-19.	Clasificación de columnas por	77
Tabla 2-20.	Principales parámetros climáticos de la Parroquia Muyuna	85
Tabla 2-21.	Pesos (P) de instalaciones (eléctricas y canal de aguas lluvias), kgf...	89
Tabla 2-22.	Carga uniformemente distribuida de instalaciones (eléctricas y canal de aguas lluvias)	89
Tabla 2-23.	Peso de un culmo en una unidad de longitud y una unidad de superficie	89
Tabla 2-24.	Cargas muertas para vigas secundarias	90

Tabla 2-25.	Valores de cargas uniforme en base a los usos u ocupación para cubiertas.....	91
Tabla 2-26.	Densidades básicas del Chuncho y del Avío.....	97
Tabla 2-27.	Datos de probetas para ensayo a vigas secundarias	101
Tabla 2-28.	Promedio de datos para ensayos de vigas secundarias.....	101
Tabla 2-29.	Dimensión de las probetas de soporte de la viga V 01_A_A	102
Tabla 2-30.	Dimensiones de las probetas de soporte de las vigas (V02, V03, V04)_A_CH	103
Tabla 2-31.	Dimensiones de las probetas de soporte V 05_P_A	104
Tabla 2-32.	Dimensiones de las probetas de soporte V 06_P_G	105
Tabla 2-33.	Dimensiones de las probetas de soporte V 07_A_G.....	106
Tabla 3-1.	Resultados de cargas y secciones transversales de vigas	108
Tabla 3-2.	Valor Z para cantones de Napo	114
Tabla 3-3.	Resultados del dimensionamiento de las columnas.....	114
Tabla 3-4.	Resultados de densidad básica de las probetas de Avío.....	118
Tabla 3-5.	Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)	119
Tabla 3-6.	Resultados de los ensayos de las vigas secundarias	119
Tabla 3-7.	Resultados de carga resistente de la conexión AVECE (boca de pez).	122
Tabla 4-1.	Carga experimental aplastamiento/carga teórica de la nec.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1.	N° de Normas/Códigos/Estándares de bambú en relación al Año de publicación	12
Figura 2-2.	Partes principales de la Guadúa.....	14
Figura 2-3.	Estados de crecimiento de la Guadúa Angustifolia Kunth	15
Figura 2-4.	Anatomía a macro escala de un culmo de bambú.....	17
Figura 2-5.	Sección transversal del culmo de bambú y distribución de los haces vasculares.....	23
Figura 2-6.	Modos de transmisión de esfuerzos	26
Figura 2-7.	1) Corte “boca de pescado”, 2) Corte “boca de pescado”	28
Figura 2-8.	Clasificación de uniones: 1) Empalme. 2) Acoplamiento. 3) Nudo	29
Figura 2-9.	Configuración de secciones de culmos y su simbología de vigas	30
Figura 2-10.	Secciones de culmos de columnas.....	31
Figura 2-11.	Tipos de amarres entre culmos.....	37
Figura 2-12.	Tipos de amarres por medio de la técnica con perforación en el culmo.....	38
Figura 2-13.	Conexión mediante pasadores de madera	39
Figura 2-14.	Unión de corte tipo cuña	40
Figura 2-15.	1) Vista frontal. 2) Vista lateral. 3) Sección transversal	41
Figura 2-16.	Conexión con pernos en una sección de culmo completo.	42
Figura 2-17.	Conexiones reforzadas con placas exteriores.....	43
Figura 2-18.	Conexiones reforzadas con placas exteriores. 1) Placa en forma de tira. 2) Placa en forma triangular.	43
Figura 2-19.	Conexiones con tornillos autorizantes. 1) Vista frontal. 2) Sección transversal. 3) Detalle de los tornillos.....	44
Figura 2-20.	Máquina para elaboración de elementos conectores AVECE a distintos ángulos de inclinación	46
Figura 2-21.	Conexión AVECE con tarugo de madera	48
Figura 2-22.	Elemento conector AVECE (Boca de pez) en cm.....	50

Figura 2-23.	Elemento conector AVECE a distintos ángulos en cm	50
Figura 2-24.	Taco de relleno en <i>cm</i>	51
Figura 2-25.	Tarugo que reemplaza la varilla roscada en aplicaciones con bajas solicitaciones estructurales en <i>cm</i>	51
Figura 2-26.	Características macroscópicas de la madera	52
Figura 2-27.	Características macroscópicas en la sección transversal, radial y tangencial del tronco de un árbol	54
Figura 2-28.	Déficit habitacional por regiones	63
Figura 2-29.	Déficit habitacional cuantitativo por provincia.....	63
Figura 2-30.	Concentración de la población en la provincia de Napo para el 2010	64
Figura 2-31.	Déficit habitacional por cantón.....	65
Figura 2-32.	Ejemplo de Sección Compuesta	73
Figura 2-33.	Detalle conectores secciones de culmos compuestos.....	75
Figura 2-34.	Vivienda de interés social propuesto por los especialistas de la Escuela Taller de Manabí - Ecuador	79
Figura 2-35.	Fachada Lateral Derecha y Fachada Frontal del Prototipo de Vivienda.....	80
Figura 2-36.	Planta arquitectónica, Sección X-X; Y-Y y detalles del Prototipo de Vivienda.....	82
Figura 2-37.	<i>Guadua Angustifolia</i> en la ciudad de Tena.....	83
Figura 2-38.	Ubicación del sitio	84
Figura 2-39.	Temperatura media mensual histórica de la estación Tena (°C)	85
Figura 2-40.	Precipitación media mensual en la estación Tena (mm)	86
Figura 2-41.	Humedad Relativa en la estación Tena (%).....	86
Figura 2-42.	Cubierta metálica DRT.....	90
Figura 2-43.	Balanza de precisión (0,001 g)	94
Figura 2-44.	Localización del aserradero situado en la parroquia Muyuna.....	95
Figura 2-45.	Dimensiones de probetas para ensayo de DB y CH.	96
Figura 2-46.	Esquema general de la prueba de cuatro puntos	99
Figura 2-47.	Ubicación del centro de preservado RAYU, Comunidad Ponce Loma	99

Figura 2-48.	Guadúa de la Asociación RAYU.	100
Figura 2-49.	Experimento de la prueba de cuatro puntos	107
Figura 3-1.	Zonas Sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor Zona Z..	113
Figura 3-2.	Planta arquitectónica vivienda de interés social modificación de sección transversal de columnas	116
Figura 3-3.	Fachada frontal modificada la pendiente y vigas secundarias y vigas principales según cálculos	117
Figura 3-4.	Falla típica en los puntos de aplicación de las cargas	120
Figura 3-5.	Comparación de la resistencia de los elementos fundamentales que conforman la conexión AVECE.	123
Figura 3-6.	Resultado de modificaciones en columnas, vigas principales y elementos conectores AVECE	124
Figura 3-7.	Conexión AVECE	124
Figura 3-8.	Elementos estructurales implementadas las conexiones AVECE	125

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	Cálculo detallado de los pesos CUDS instalaciones
ANEXO B:	Datos del ensayo de la viga V02_A_CH
ANEXO C:	Datos del ensayo de la Viga V01_A_A
ANEXO D:	Datos del ensayo de la Viga V03_A_CH
ANEXO E:	Datos del ensayo de la Viga V04_A_CH
ANEXO F:	Datos del ensayo de la Viga V05_P_A
ANEXO H:	Datos del ensayo de la Viga V06_P_G
ANEXO I:	Datos del ensayo de la Viga V07_A_G

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la conexión denominada “Agregando Valor Ecológico a las Conexiones Estructurales de Bambú” (AVECE) en una vivienda de interés social construida con *Guadua angustifolia*. El estudio comprendió el análisis estructural de vigas secundarias, vigas principales y columnas, aplicando el método de esfuerzos admisibles establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Además, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera Clase A empleada en las uniones. Con el fin de verificar la resistencia de la conexión frente a las cargas actuantes, se llevaron a cabo ensayos experimentales en vigas con cuatro puntos de apoyo. Los resultados demostraron que los elementos conectores AVECE, fabricados con madera y similares a las “bocas de pez”, resistieron adecuadamente las solicitaciones y no presentaron fallas por aplastamiento, lo que permitió una transmisión de esfuerzos de vigas a columnas. Dado que el aplastamiento constituye un parámetro crítico para la *Guadua* según la NEC, este hallazgo resultó especialmente relevante. Las viviendas de un piso edificadas con *Guadua* con la conexión AVECE “boca de pez” se presenta como una alternativa sostenible, al reducir la dependencia de materiales convencionales y fomentar el uso de recursos naturales locales. De este modo, la investigación aportó soluciones innovadoras a la construcción sostenible.

Palabras clave: Conexión AVECE, Valor Ecológico, *Guadua angustifolia*, Vivienda de interés social, Análisis estructural

ABSTRACT

In this research, the connection known as 'Adding Ecological Value to Structural Bamboo Connections' (AVECE) was evaluated in a social housing unit built with *Guadua angustifolia*. The study included the structural analysis of secondary beams, main beams, and columns by applying the allowable stress method established in the Ecuadorian Construction Code (NEC). Additionally, the physical and mechanical properties of the Class A wood used in the joints were determined. To verify the connection's resistance to the acting loads, experimental tests were carried out on beams with four support points. The results demonstrated that the AVECE connecting elements, manufactured with wood and resembling 'fish mouths,' adequately withstood the loads and did not exhibit crushing failures, thereby allowing the transfer of stresses from beams to columns. Given that crushing is a critical parameter for *Guadua* according to the NEC, this finding was particularly significant. Single-story houses built with *Guadua* using the AVECE 'fish mouth' connection present a sustainable alternative by reducing dependence on conventional materials and promoting the use of local natural resources. In this way, the research provided innovative solutions for sustainable construction.

Key words: Connection A VECE, Ecological Value, *Guadua angustifolia*, Social interest housing, Structural analysis.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El bambú es un término que se refiere a diversas especies de pastos gigantes, abarcando aproximadamente entre 1,100 y 1,500 especies y entre 60 y 90 géneros (van der Lugt et al., 2006). A diferencia de otras especies de bambú del mismo género, la especie de bambú *Guadúa Angustifolia Kunth* (Gak) tiene excelentes propiedades mecánicas estructurales en relación con su peso (NEC – SE – GUADÚA, 2016). Además, es endémica de América, común en la parte de América del Sur y América tropical. Específicamente, en los países como Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú (Cerron Oyague, 2014). Por lo tanto, es evidente que la Guadúa posee características idóneas como material estructural, destacándose por su resistencia y su disponibilidad local.

Entre las principales características distintivas de la Guadúa, cabe mencionar que es una gramínea gigante que alcanza entre 17 y 24 metros de altura (Cerron Oyague, 2014). El tallo es un cilindro hueco, dividido en segmentos por diafragmas (nodos) y compuesto por fibras que le dan al tallo resistencia mecánica (Hidalgo López, 2003). Existe variabilidad en el diámetro del tallo, tanto en diferentes secciones a lo largo de un mismo tallo como entre distintos tallos. La variación del diámetro es de entre 8 y 14 cm (Cerron Oyague, 2014). Además, una característica típica del bambú es la aparición de fisuras en la dirección longitudinal de la fibra debido a variaciones en la humedad (Kelkar et al., 2023). Por lo tanto, la guadua posee muchas cualidades. Sin embargo, posee características que implican desafíos en su utilización como material de construcción (Álvarez Castilla, 2012).

Las características principales de la Gak representan un desafío significativo en la construcción de sus conexiones (Álvarez Castilla, 2012). Con el fin de enfrentar este reto y reducir el uso de materiales convencionales, el Grupo Interdisciplinario de Estudios en Arquitectura y Construcción Sostenible de la Universidad Regional Amazónica Ikiám ha

propuesto un innovador sistema de conexiones denominado "Agregando Valor Ecológico a las Conexiones Estructurales de Bambú" (AVECE) (INBAR, 2023).

Este sistema AVECE se distingue por ser semiestandarizado y está compuesto por elementos de madera reciclada, promoviendo así el uso de materiales ecológicos. Los investigadores responsables de esta propuesta son Jorge Batres, Fredy Llulluna y Andrea Jaramillo, quienes buscan no solo mejorar la eficiencia de las conexiones estructurales, sino también fomentar prácticas sostenibles en la construcción. En fin, la implementación de este sistema representa un avance importante hacia la sostenibilidad en la arquitectura con bambú.

Además, aunque las conexiones AVECE se fabrican a medida, según las propiedades de la guadua (diámetros y espesores) y los requerimientos particulares de la estructura, facilitan el montaje de una estructura de guadua rolliza. Los elementos prefabricados que componen este sistema de conexión ofrecen una mayor maniobrabilidad durante la ejecución de la obra, permitiendo que las piezas AVECE se ensamblen fácilmente sin necesidad de maniobrar todo el tallo.

La conexión AVECE se compone de cuatro elementos fundamentales que son esenciales para el funcionamiento y eficiencia. En primer lugar, se encuentra el Elemento Conector AVECE de Madera, el cual es un cilindro de madera fabricado específicamente para ajustarse al diámetro exterior del culmo; presenta una curva de cobertura útil en uno de sus extremos, esta curva puede fabricarse en cualquier ángulo. A continuación, en el extremo donde se asienta la sección plana del elemento conector AVECE, es necesario incluir un Taco de Relleno, el cual es un cilindro de madera de entre 10 y 15 *cm* de largo, y cuyo diámetro depende del diámetro interior del culmo. También están los Tarugos de madera, que sirven como refuerzo, asegurando la unión entre la pared del culmo y el taco de relleno interno, cuyo diámetro es de 3/8", y 4 *cm* de largo. Por último, la Varilla roscada, que se adapta a la longitud necesaria para conectar el elemento conector AVECE, el taco de relleno al culmo, asegurando la unión entre las partes mediante tuercas y arandelas.

A continuación, se detallan las características específicas de los elementos que componen la conexión AVECE. En primer lugar, tanto el Elemento Conector AVECE como el Taco de Relleno deben poseer un orificio en el centro del eje longitudinal para permitir el paso de la varilla roscada de 3/8". Además, es necesario perforar el otro culmo con un orificio que coincida con el diámetro de la varilla roscada, así como con el ángulo de inclinación del elemento conector AVECE.

Una vez realizado este proceso, es fundamental ajustar la conexión utilizando tuercas y arandelas en cada extremo. Por último, se debe fijar el taco, que se sitúa en la parte interior del culmo, a la pared del culmo enroscando un tarugo de madera de 3/8" de diámetro a una distancia de 5 *cm* del extremo exterior del culmo. Este conjunto de acciones asegura la estabilidad y eficacia de la conexión

Las características favorables del sistema de conexiones AVECE incluyen la simplicidad en el corte del culmo y la sustitución de materiales convencionales. Esta simplicidad se debe a que, para unir los elementos, solo es necesario que el culmo donde se asienta el elemento conector AVECE tenga un corte perpendicular preciso, mientras que el otro debe tener un orificio céntrico que atraviese de forma paralela al otro culmo con respecto al culmo donde se asienta el elemento conector AVECE, esto depende del ángulo de inclinación de la curva de cobertura. Además, el taco de relleno embebido en la parte interna del culmo reemplaza el uso de mortero de cemento.

Así también, las conexiones AVECE, debido a sus características únicas, permite una amplia variedad de aplicaciones en diseño y construcción. Un elemento conector AVECE puede fabricarse con un ángulo específico de cobertura útil para cada pieza, lo que facilita la creación de estructuras con diversas configuraciones. Esta característica hace que los conectores AVECE sean una alternativa que reemplaza los cortes tradicionales utilizados para conectar distintos culmos, como los de tipo 'boca de pez' o 'pico de flauta'. Gracias a esta versatilidad, se facilita la construcción de pórticos en ángulos de 45° y en diagonales con distintos grados de inclinación. En resumen, esta flexibilidad en el diseño y la funcionalidad de los elementos de conexión AVECE permite desarrollar estructuras adaptadas a las necesidades específicas de cada proyecto.

En base a que las conexiones son un grupo de elementos que se acoplan en un nodo con el propósito de transmitir esfuerzos generados por las cargas actuantes en la estructura. Estos elementos o piezas de madera deben tener la capacidad de resistir las cargas actuantes generadas por cargas externas (NEC – SE – GUADÚA, 2016). En esta investigación se examina el comportamiento mecánico de las conexiones estructurales AVECE de madera Clase A para bambú en una vivienda de interés social. Tomando en consideración que la madera clase A tiene una densidad básica entre 0.71 y 0.90 g/cm^3 (Avío) (NEC - SE - MD, 2014). Específicamente, la propiedad física de la madera estudiada es la densidad básica que permite obtener su clasificación. En resumen, la finalidad es evaluar al sistema de conexiones AVECE con maderas Clase A disponibles en la Amazonía ecuatoriana. A fin de ampliar la gama de usos posible de la madera.

En el contexto de un análisis de caso de una vivienda de interés social, se incorporan conexiones estructurales AVECE, empleando madera de Clase A o Grupo A, así como *Guadúa Angustifolia Kunth* (Gak). El diseño de vigas y columnas se lleva a cabo de acuerdo con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para estructuras de Guadúa (NEC – SE – GUADÚA, 2016). Esta normativa detalla las propiedades mecánicas que se deben considerar, incluyendo flexión, tracción, compresión y cortante.

Esta investigación se basa en un prototipo de vivienda de interés social de bambú propuesto por los especialistas de la Escuela Taller de Manabí - Ecuador. Como lugar de construcción hipotética se eligió la localidad de San Antonio de la ciudad de Tena. Este enfoque no solo asegura el cumplimiento de los estándares normativos y optimización de la resistencia y durabilidad de la estructura, sino que también tiene como objetivo determinar si las uniones AVECE satisfacen los requisitos estructurales para unir componentes de bambú, empleando madera de Clase A en una vivienda de interés social.

Por otro lado, para entender las diversas alternativas de conexiones estructurales para bambú rollizo que se están estudiando recientemente, se detalla un estudio centrado en los tipos de conexiones que unen piezas de bambú rollizo, que se utiliza como punto de partida en la investigación de parámetros de análisis.

1.2 Planteamiento del problema a investigar

La guadua ha sido denominada “acero vegetal” debido a su notable capacidad para resistir cargas a flexo compresión y a la tracción. De forma comparativa, una varilla de hierro, con una sección de aproximadamente 1 cm^2 resiste una tracción de 41 kN (Kilonewtons), mientras que una Gak con una sección de 3 cm^2 resiste alrededor de 35.1 kN (Urueña, 2001, citado en Castiblanco & Torres, 2019). Pese a su excelente rendimiento estructural, la Gak no muestra una conducta parecida a la del acero. Este material resiste de manera excelente la compresión, flexión y tensiones paralelas a las fibras, tal como sucede en las columnas. No obstante, resulta más frágil que la madera al ser sometida a esfuerzos perpendiculares, tal como sucede con las vigas (Kaminski et al., 2016; Hong et al., 2019). También presenta menor resistencia al corte paralelo a las fibras (Guzmán Yara & Hernandez Bustos, 2021).

Por lo tanto, es necesario minimizar el daño potencial que puede causar la conexión de guadua por fuerzas de corte paralelo a la fibra; a su vez, es necesario trasladar de manera eficaz y segura las cargas actuantes (Guzmán Yara & Hernandez Bustos, 2021). Además, el escaso espesor de las paredes del culmo, hace que las uniones representen el aspecto más difícil de resolver del diseño estructural, representando sus puntos más débiles y poco fiables. Por ello, estas uniones todavía representan un desafío por solucionar (Kaminski et al., 2016; Hu et al., 2021).

En este contexto, actualmente existen alternativas de conexiones para bambú que emplean varilla roscada y mortero de cemento para garantizar su estabilidad, siendo este un modelo predominantemente en las normas de la construcción (Batres Quevedo et al., 2023). No obstante, las primeras publicaciones de construcción con bambú se

publicaron a comienzos del siglo XXI, por lo que no se pueden considerar como concluidas (Jaramillo Hurtado, 2023).

Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo investigaciones sobre alternativas de conexiones para las construcciones que utilicen bambú. Estas investigaciones deben incluir ensayos y estudios experimentales enfocados en las uniones de bambú, con el fin de evaluar su desempeño estructural. De igual manera definir las limitaciones para facilitar la construcción con bambú mediante la creación de piezas estandarizadas y variabilidad dimensional; adaptándose así a las diferentes formas, requisitos estructurales y morfologías de las cañas (García et al., Martínez-Ferero, 2018, como se citó en Jaramillo Hurtado, 2023).

El Grupo Interdisciplinario de Estudios en Arquitectura y Construcción Sostenible, de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, con fondos obtenidos en la Convocatoria de Financiamiento de Innovaciones en Construcción Sostenibles del proyecto AECID-INBAR “Apoyo a la Investigación, Desarrollo e Innovación y la Educación Superior en Construcción Sostenible en Ecuador”, plantea un sistema semiestandarizado de conexiones estructurales de piezas de madera reciclada para el bambú (INBAR, 2023).

En este contexto, el sistema de conexiones AVECE es novedoso e innovador, por lo que requiere de investigaciones para evaluar su capacidad de resistencia y pertinencia en distintas tipologías de construcción. Así, se buscará verificar su la resistencia a las solicitaciones estructurales en el contexto de vivienda de interés social. En consecuencia, esta investigación contribuirá con la evaluación de la resistencia a las solicitaciones estructurales de los materiales que conforman un prototipo de vivienda de interés social.

1.3 Justificación de la investigación

Es fundamental enfocar la atención en propuestas innovadoras de conexiones estructurales, como el sistema AVECE, en el contexto de vivienda de interés social en Ecuador. La investigación sobre la resistencia a las solicitaciones estructurales de los

elementos que conforman la estructura vigas, columnas y conexiones AVECE se vuelve crucial, especialmente en regiones poco estudiadas como el oriente amazónico ecuatoriano, que presenta un clima húmedo tropical. Si bien existen estudios sobre la resistencia de elementos de guadua en las zonas de costa y sierra, estas áreas no enfrentan los mismos desafíos asociados con las condiciones climáticas que afectan el bambú. Por lo tanto, es esencial centrarse en la resistencia de la guadua en combinación con la unión AVECE para garantizar tanto la resistencia a las solicitaciones estructurales de la conexión AVECE como la sostenibilidad de las construcciones en esta región.

Además de ello. Cabe mencionar que el bambú es abundante en diversas regiones del país, lo que lo convierte en una opción accesible y sostenible. Su rápida renovación y su resistencia tanto en compresión como en flexión lo posicionan como una alternativa viable frente a materiales tradicionales. Al aprovechar este recurso local, no solo se generan soluciones económicas para la construcción de viviendas en áreas con recursos limitados, sino que también se fomenta el desarrollo de la industria nacional. Además, el uso de técnicas constructivas amigables con el medio ambiente es vital para el futuro de la construcción en Ecuador.

En 1985, en una de las actas de los simposios acerca de métodos de producción de leña en pequeñas fincas, se describió a la *Guadúa Angustifolia Kunth* como una especie importante en el avance cultural, económico y preservación de recursos acuáticos en ciertos países de América Latina, como México, Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador y Brasil. Por sus propiedades físicas, costos reducidos y accesibilidad, es un material perfecto para individuos con escasos recursos financieros (Nieto, 1985) como es el caso de la Amazonia, ecuatoriana.

El bambú está disponible en muchos lugares tropicales y subtropicales. Un bosque de bambú además de ser una zona para la extracción de un material de construcción es un hábitat para diversas especies, que van desde hormigas, aves y hasta orangutanes. Además de algunas flores, hiervas y hongos. Sumado a eso, funciona como medio para contrarrestar la erosión, evitar deslizamientos y rehabilitar la tierra. La amplia red de rizomas entrelazadas conserva los márgenes de los ríos (Janssen, 2000).

El bambú tiene incontables beneficios para la recuperación, rehabilitación y protección del ambiente en el que crece; reservorio natural de agua, fuente importante de biomasa y gran fijador de carbono atmosférico (Hidalgo López, 2003). El carbono total del ecosistema (biomasa de carbono sobre el suelo, biomasa de carbono bajo el suelo, el carbono orgánico del suelo) oscila entre 94 y 394 Mg C/ha (Yuen et al., 2017; Huy & Long, 2019). La biomasa alta en carbono se asocia con especies de bambú “gigante” de los géneros *Bambúsa*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa* y *Guadúa* (Yuen et al., 2017).

Además, los estudios confirman que las mayores diferencias en los beneficios del bambú se producen durante la fase de recolección, es decir, debido a su rápido crecimiento (Barbaro, 2007). El acero es un material industrializado que requiere más energía; dado que la energía necesaria para elaborar un metro cúbico de bambú equivale únicamente al 0.1 % de la que se necesita para fabricar el mismo volumen de acero (Albermani et al., 2007).

El bambú es económicamente rentable con un correcto manejo en la obtención de adecuada materia prima, adaptación de tecnología, inversión e instalaciones adecuadas (Hidalgo López, 2003; Muraleedharan et al., 2006). Debido a su extensa cantidad de usos, desde los más elementales hasta innovaciones en la construcción, transporte, alimentación entre otros.

Por otro lado, la madera tiene bajo impacto de carbono y sostenibilidad. También es un material que requiere una cantidad mínima de procesamiento energético. El aprovechamiento de la madera en la Amazonía es importante puesto que contribuye al ingreso económico total promedio de los hogares rurales (Erazo et al., 2014).

Además, se ha evidenciado que los árboles destinados a la madera contribuye a luchar contra retos a nivel mundial, tales como la pobreza en zonas rurales, la erosión del suelo, la deforestación, el crecimiento urbano y el cambio climático (Yuen et al., 2017; Huy & Long, 2019). En base a lo expuesto y al impulso de proponer alternativas más ecológicas en la industria de la construcción. Se crea el sistema semiestandarizado de conexiones y ensambles a partir de madera reciclada para bambú que busca adaptarse a las

características del bambú. Por lo cual se analizará el comportamiento físico y mecánico de una madera de clase A como conexión estructural del sistema AVECE.

1.3.1 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las secciones transversales adecuadas de los elementos estructurales para satisfacer los requerimientos estructurales de la vivienda de interés social del caso de estudio?
- ¿Cuál es el comportamiento mecánico de las conexiones con maderas clase A aplicando el sistema "Agregando valor ecológico a conexiones estructurales para bambú"?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 General

Evaluar la conexión AVECE "Agregando valor ecológico a las conexiones estructurales con bambú" utilizando madera clase A para unir piezas de bambú en base a un prototipo de vivienda de interés social desarrollado por la Escuela Taller de Manabí en Ecuador.

1.4.2 Específicos

- Cuantificar las cargas actuantes en la vivienda de interés social para evaluar las dimensiones adecuadas de las vigas y columnas del caso de estudio (prototipo de vivienda de interés social desarrollado por la Escuela Taller de Manabí).
- Evaluar las secciones transversales de las vigas secundarias, vigas principales y columnas del caso de estudio.
- Definir las propiedades físicas (Densidad) y mecánicas (resistencia a compresión tensión, cortante y flexión) de la madera clase A utilizadas en las conexiones AVECE.
- Verificar que las piezas de las conexiones AVECE cumplen con los requerimientos estructurales para ser usadas en la vivienda de interés social del caso de estudio.

1.4.3 Hipótesis

Se plantea que las maderas clase A son adecuadas para ser usadas en las conexiones estructurales AVECE por sus propiedades de soportar cargas.

2 CAPÍTULO II: MARCO METODOLOGÍA

El procedimiento se llevó a cabo mediante distintas fases como primera fase se encuentra la revisión bibliografía, la cual se llevó a cabo a para poder establecer el marco teórico. Por ende, en la fase 1 de revisión bibliográfica, las fuentes mayormente consultadas fueron la norma NEC-SE-GUADÚA y NEC-SE-MADERA. Además de los artículos científicos referentes a investigaciones de conexiones estructurales para bambú. La búsqueda se realizó con las siguientes palabras clave: guadua angustifolia, NEC-SE-GUADÚA, Guadúa Ecuador, conexiones estructurales, resistencia de maderas y de guadua.

2.1 Marco histórico

El uso del bambú como material para la construcción de viviendas tiene raíces profundas y ancestrales. Desde tiempos inmemoriales, las civilizaciones que se han desarrollado en zonas donde crece el bambú han aprovechado sus múltiples propiedades. El bambú cubre todas las necesidades para construir una casa desde marcos mediante tallos, paredes por medio de esterilla y pisos con bambúes aplanados, techos con tejas de bambú inclusive usados como conectores tanto como pasadores y cuerdas (Widyowijatnoko, 2012).

En este contexto, actualmente existe un creciente interés a nivel mundial de perfeccionar los procesos de diseño y edificación de estructuras de bambú. Este fenómeno se evidencia en el notable aumento de normas, estándares y códigos que abarcan desde diseño de estructuras, construcción técnica y caracterización físico-mecánica del bambú. Estos avances se pueden evidenciar numéricamente en la siguiente gráfica (Chicaiza et al., 2024). Es importante destacar que existe un número limitado de normas y códigos que se centran exclusivamente en el diseño estructural de las conexiones de bambú, así como en las diversas configuraciones y elementos utilizados para interconectar componentes estructurales (Chicaiza et al., 2024).

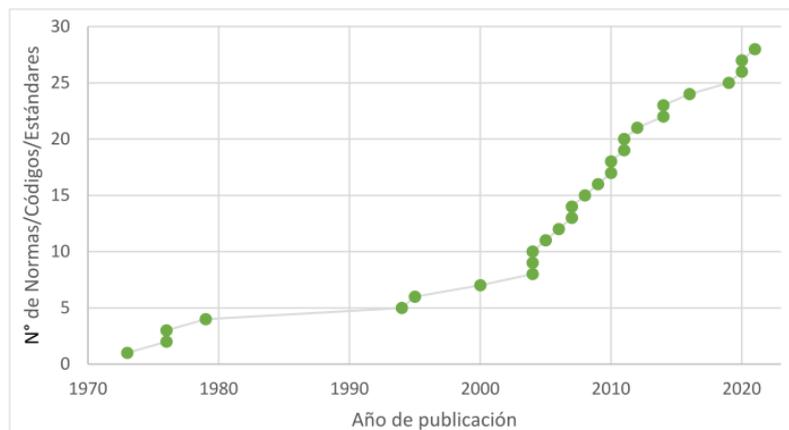


Figura 2-1. N° de Normas/Códigos/Estándares de bambú en relación al Año de publicación
Fuente: (Chicaiza et al., 2024, p. 41).

2.1.1 *Bambú en el Ecuador*

A nivel global, se han reportado 1681 especies de bambú. En Ecuador, se han identificado 47 especies de bambú distribuidas en cinco géneros: *Arthrostylidium* (3 especies), *Aulonemia* (5 especies), *Chusquea* (33 especies), *Guadua* (3 especies) y *Rhipidocladum* (3 especies). De estas especies doce son endémicas, y alrededor de diez especies no son endémicas. Las cuales incluyen: *Bambusa tulda* (Bambú de la India); *Bambusa ventricosa*, *Dendrocalamus asper* (bambú gigante), *D. latiflorus*, *D. longispiculata*, *D. oldhamii*, *Melocanna baccifera*, *Phyllostachys aurea*, *P. nigra* y *P. pubescens* (bambú moso de China) nótese que son sus nombres científicos (Izquierdo & Moreno, 2019). Además, las especies no endémicas han sido introducidas de diferentes partes del mundo.

La *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) pertenece al género *Guadua*, y es más predominante en el mundo. La GaK es un bambú leñoso que crece en regiones tropicales y puede alcanzar una altura aproximada de 30m. El bambú está dentro de la subfamilia de las gramíneas conocida como bambusoideae. A diferencia de las maderas, crecen rápidamente y se propagan fácilmente sin la necesidad del resembrarlas después de la cosecha adecuada, lo que representa ventajas económicas y productivas en las zonas donde se reproduce (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2016).

Los bambúes del género *Guadua* son originarios de Centro y Sudamérica, con aproximadamente 32 especies. Entre ellas, la Gak es propia de Colombia, Ecuador y Perú. Sin embargo, debido a su gran potencial para diversos usos, como la construcción, plantaciones de banano, la fabricación de muebles, artesanías y laminados, su cultivo se ha extendido a otros países, aprovechando sus destacadas propiedades físicas y mecánicas (MIDUVI, 2016).

Según la Normativa Ecuatoriana de Construcción desde tiempos precolombinos, la Gak ha sido un material clave en la construcción de diversas estructuras. En Ecuador, su durabilidad se evidencia en edificaciones que han perdurado por más de 100 años en ciudades como Guayaquil, Jipijapa y Montecristi. Su uso en la construcción de viviendas ha sido una tradición arraigada, especialmente en la región costera en zonas vulnerables, donde se valora por su resistencia y sostenibilidad (MIDUVI, 2016).

La *Gak* se destaca dentro de su género por las propiedades estructurales de sus tallos, especialmente su alta relación peso-resistencia, comparable o incluso superior a la de algunas maderas. Su desempeño ha sido comparado con el acero y ciertas fibras de alta tecnología, debido a su capacidad para absorber energía y su flexibilidad, lo que la convierte en un material innovador para construcciones sismo-resistentes.

Además, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, la Gak es una materia prima local que se encuentra mayormente en la Costa (66,5%) y Amazonía (23,5%) y un recurso renovable, su uso en la construcción contribuye a reducir la huella ecológica de las edificaciones ecuatorianas (MIDUVI, 2016).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 *Guadúa Angustifolia Kunth*

El nombre científico de la guadua es *Guadúa Angustifolia Kunth* (Gak). Originaria de Colombia, Ecuador y Perú, pero se ha expandido a otras naciones de Centroamérica y Sudamérica, Europa y Asia. La *Guadúa* es una especie de la familia Poaceae,

perteneciente a la subfamilia Bambúsoideae (Castaño Nieto & Moreno Orjuela, 2004). El Gak es una gramínea gigante que puede alcanzar hasta 30 metros de altura, aunque comúnmente se encuentra entre los 17 y 23 metros. El culmo es un cilindro hueco dividido en segmentos por diafragmas (nodos) y compuesto por fibras que dan al tallo resistencia mecánica. Los diámetros de los culmos son entre 8 y 14 cm (Liese & Kim Tang, 2015).

La Guadúa destaca por sus propiedades físico mecánicas y su adaptabilidad a distintos climas. La caña Guadúa consta de dos variantes denominadas caña brava o caña mansa. La caña brava se caracteriza por tener espinas y por resistir más que la caña mansa, esta última no presenta espinas y tiende a doblarse al sobrepasar la altura de 5m (García & Puma, 2016). En la Gak se puede diferenciar sus partes como raíces, rizoma, base, tallo o culmo, sobretallo, palanca, ramas y hojas como se aprecia en la Figura 2-2.



Figura 2-2. Partes principales de la Guadúa
Fuente: Imagen DALL.E 3, Información (Salazar & Moreno, 2018, p. 33).

2.2.2 Crecimiento del bambú

El tiempo de crecimiento del bambú varía entre 3 y 6 años comenzado desde el estado de brote, tierno, maduro y seco como se puede observar en la Figura 2-3. En comparación con los árboles maderables, su crecimiento es hasta 10 veces más rápido (Hong et al., 2019; Cerron Oyague, 2014). Asimismo, tanto el eucalipto, el álamo como el bambú se clasifican como especies de crecimiento acelerado. No obstante, el bambú crece tres veces más rápido que el eucalipto. Por lo tanto, en cada recolección de eucaliptus es posible obtener hasta 4 bambúes por generación (Gonzales, 2024).



Figura 2-3. Estados de crecimiento de la Guadúa Angustifolia Kunth
Fuente: Registro fotográfico INBAR 2018 (Salazar & Moreno, 2018, p.46).

Al récord temporal se agrega el numérico. En el caso de la madera, la cantidad de individuos permanece invariable una vez que se han plantado; sin embargo, esto es diferente en el caso de los bambúes, que se multiplican de manera progresiva (Barbaro, 2007). Asimismo, dado que se está haciendo una comparación, es importante mencionar que, durante los primeros 6 o 7 años posteriores al trasplante, el bambú se enfoca en fortalecer su estructura, lo que ralentiza temporalmente su crecimiento. Sin embargo, una vez completado este proceso, su crecimiento se acelera significativamente, superando a competidores como el eucalipto o el álamo (Barbaro, 2007).

2.2.3 Morfología de la Guadúa

El término “rizoma” se refiere al tallo subterráneo de la planta, que brinda estabilidad al suelo, retiene nutrientes y conforma el fundamento estructural de la planta. Además, el rizoma funciona como “semilla” para reproducir asexualmente nuevos bambúes. La palabra “culmo” se refiere a los tallos o cañas de los bambúes, que crecen a partir del rizoma y brotan del suelo con el mismo diámetro que conservan en la edad adulta, lo que los distingue de las maderas auténticas, cuyos tallos aumentan en grosor a medida que maduran (Álvarez Castilla, 2012). Los culmos tienen forma cilíndrica hueca con tendencia a la conicidad. Su grosor y dureza dependen de la concentración de celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice (Álvarez Castilla, 2012).

Los culmos de bambú se componen de nodos y entrenodos. Los culmos presentan entrenodos huecos, en la cavidad interna del culmo existen particiones horizontales delgadas que son sólidas denominadas “diafragmas” que comunican los entrenodos, en la parte exterior estas particiones se manifiestan por anillos que rodean el tallo (Janssen, 2000). En conjunto tanto la partición horizontal interna y el anillo exterior forman un “nodo”. A partir de los nudos se desarrollan las ramas partiendo de un brote abombado ligeramente agudo.

Los nodos delgados dividen el culmo y acumulan sustancias nutritivas. A su vez dan resistencia, flexibilidad y dureza (Álvarez Castilla, 2012). Los nodos del bambú son zonas del tallo donde las fibras se entrelazan, optimizando sus características isotrópicas. En estos puntos, la estructura se vuelve más homogénea en todas las direcciones del área. Sin embargo, la resistencia a la tracción se reduce en los nodos, convirtiéndolos en puntos débiles cuando se traccionan a lo largo de su eje. A pesar de esta vulnerabilidad, el módulo de elasticidad (E) permanece relativamente estable y similar al de los entrenodos, por lo que no afecta significativamente la rigidez global del tallo del bambú (Jakob et al., 2022). La representación de la anatomía del culmo se puede visualizar en la **Figura 2-4**.



Figura 2-4. Anatomía a macro escala de un culmo de bambú
 Fuente: (Gangwar & Schillinger, 2019, p. 8)

La estructura de la sección entre dos nodos denominada “entrenodo” está compuesta por la “pared de culmo” que contiene una “cavidad” en el interior o parte hueca (Janssen, 2000). La forma del entrenudo es cilíndrica y larga, conformada por haces vasculares orientados longitudinalmente que funcionan como tejido transportador (Kelkar et al., 2023).

El diseño, la predicción y el modelado de las propiedades del bambú presentan dificultades debido a la gran variabilidad en la morfología del culmo. El bambú presenta variaciones en la dimensión del entrenudo, la presencia de nudos y el agrietamiento. Asimismo, la variación en el diámetro y el grosor de la pared se extiende a lo largo de todo el culmo. Estas modificaciones morfológicas dificultan el aprovechamiento eficiente de la materia prima durante su procesamiento, lo que genera residuos y complica la unión entre elementos de bambú (Kelkar et al., 2023). Por esta razón, se ha priorizado el desarrollo de conexiones estandarizadas para optimizar su uso en la construcción.

2.2.4 Degradación y Factores Ambientales que afectan al Bambú Natural

El bambú natural es susceptible a la degradación por hongos, termitas y otros agentes biodegradantes, lo que afecta su durabilidad. Los componentes del bambú, como la lignina, hemicelulosa y celulosa, favorecen el desarrollo de estos agentes. En particular el bambú y la madera son gravemente perjudicados por una variedad de hongos que comúnmente se clasifican en hongos de podredumbre parda, podredumbre blanca y podredumbre blanda. Asimismo, las termitas se distribuyen según su entorno de anidación como en subterráneas, arbóreas, epigeas y de madera (Kelkar et al., 2023).

Además, la exposición al aire libre y factores abióticos como la radiación UV, los cambios de humedad y las variaciones de temperatura periódicas contribuyen a la formación de grietas, lo que aumenta la vulnerabilidad del bambú y lo expone aún más a los agentes biodegradantes (Elejoste et al., 2022). Un estudio de Suarez et al., (2022) mostró que, tras exponer la *Guadúa angustifolia* a condiciones ambientales durante dos años, su resistencia a la compresión disminuyó un 9%, aunque no se observaron efectos en la flexión o tracción en contraste con las medidas de muestras no expuestas (Suarez et al., 2022).

2.2.5 Preservación de la Gak

La preservación es el método mediante el cual los culmos de GaK son tratados para asegurar su durabilidad y resistencia, evitando que sean deteriorados por organismos xilófagos u otros factores biológicos que puedan comprometer sus propiedades físico-mecánicas y afectar su uso en la construcción. Para preservar de mejor manera la Gak se utiliza el método de impregnación de sustancias preservantes. Sin embargo, para elegir al preservante se deben considerar tres factores como efectividad de preservación, menor impacto ambiental y bajos niveles de toxicidad que puede afectar al ser humano. Según lo establece la NEC-SE-GUADÚA para la preservación de la Gak se puede utilizar dos tipos de conservantes: (a) preservantes hidrosolubles y oleo solubles (MIDUVI, 2016).

Según la NEC-SE-GUADÚA se deben utilizar los siguientes métodos de preservación. El primero conocido como preservación por Avinagrando, este método es reconocido como natural porque no involucra el uso de aditivos. Puede realizarse en la plantación después del corte preservando el culmo con sus respectivas hojas y ramas, apoyando el resto de culmos de forma vertical durante tres semanas antes del tumbado definitivo.

El segundo método conocido es el método por inmersión ampliamente utilizado. Inicialmente, se perforan longitudinalmente los diafragmas interiores utilizando una varilla de acero de 12 *mm* (1/2") a 16 *mm* (5/8") de diámetro. Luego, se realiza un lavado del culmo y prevenir la contaminación del líquido preservante. Posteriormente, los culmos se introducen en un tanque de preservación con una solución formulada de bórax y ácido bórico en una proporción de 2 *kg* por cada 96 *litros* de agua, asegurando su disolución óptima al diluir los polvos en recipientes con agua a una temperatura entre 50°C y 80°C. Durante la inmersión, se debe posicionar el extremo superior del culmo por encima del agua para facilitar la salida del aire contenido, evidenciada por la formación de burbujas. El tiempo de inmersión recomendado es de al menos cinco días a temperatura ambiente o seis horas aplicando temperaturas entre 60°C y 80°C para la GaK rolliza. Luego de la extracción, los culmos se colocan en posición inclinada con la parte basal hacia arriba para permitir el escurrimiento del exceso de preservante antes del secado final. Para asegurar una adecuada absorción del preservante, el contenido de humedad de la GaK debe ser como mínimo del 30%, medido con un higrómetro digital calibrado para maderas duras tipo A (MIDUVI, 2016).

El tercer método establecido se conoce como preservación por presión o Boucherie, en el cual se utiliza un sistema de compresión que inyecta el líquido preservante en cada culmo. En este método es importante el tiempo de corte, porque el método funcionara de mejor manera en culmos de reciente corte (máximo 8 horas desde realizado el corte). El proceso de este método es el siguiente, el líquido preservante se coloca en un tanque de presión, con los culmos en posición horizontal y conectados mediante mangueras con boquillas de caucho, sin perforar los diafragmas. Segundo, el flujo de aire y

preservante se regula con válvulas de calibración propias del sistema. Así, la absorción se verifica mediante medidores de ácido o tinturas de color, y el excedente debe recolectarse y tratarse adecuadamente para prevenir el incremento de la contaminación ambiental (MIDUVI, 2016).

El cuarto método establecido por la NEC-SE-GUADUA es la preservación por difusión vertical. Un parámetro esencial para la aplicación de este método es que los culmos no deben presentar fisuras ni agujeros que puedan causar la pérdida del preservante. El método consiste en primero se perforar los diafragmas internos de los culmos, excepto el último, utilizando una varilla de acero de 12 a 16 *mm* de diámetro. Segundo, los culmos se colocan en posición vertical con la base hacia arriba y el diafragma sin perforar en la parte inferior. Se llenan por la parte superior con el líquido preservante, manteniendo esta posición durante tres semanas y asegurando un nivel constante del líquido. Pasado este tiempo, se perfora el último diafragma para drenar el excedente, el cual debe recolectarse y tratarse adecuadamente para reducir impactos ambientales y riesgos para la salud humana y animal (MIDUVI, 2016).

2.2.6 Secado

La NEC-SE-GUADUA subraya que la Gak es un material poroso e higroscópico, lo que le permite absorber humedad del entorno tanto en estado líquido como en forma de vapor. Si la Gak aumenta su contenido de humedad, se vuelve susceptible a la acción de agentes biológicos. De esta manera, cuando los culmos se destinan a la construcción, es importante secarlos hasta alcanzar un nivel de humedad igual o inferior a la humedad de equilibrio del lugar, garantizando así la conservación de sus propiedades y evitando que sufran deformaciones, fisuras o daños irreversibles causados por el exceso de humedad. Para medir el contenido de humedad de los culmos, se debe emplear un higrómetro calibrado específicamente para maderas tipo A de baja calibración. La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece dos métodos de secado: el secado al ambiente y el secado artificial (MIDUVI, 2016).

2.2.6.1 Secado al ambiente

Los culmos pueden secarse de forma vertical en lugares bien ventilados o abiertos, evitando el deterioro por el clima o agentes biológicos. Para esto, deben colocarse en un caballete, con los extremos basales apoyados sobre caña picada para evitar el contacto con el suelo. La altura del caballete debe ser dos tercios de la longitud de los culmos, y estos deben sujetarse con cuerdas para evitar deslizamientos. Además, los culmos deben colocarse de manera alternada al montar y desmontar para prevenir que el caballete se voltee. Para un secado uniforme, se recomienda girar los culmos diariamente durante los primeros 15 días y luego con menor frecuencia. El proceso puede durar entre dos y seis meses, dependiendo del clima. Una vez alcanzada la humedad adecuada, los culmos se almacenan bajo techo (MIDUVI, 2016).

2.2.6.2 Secado artificial

Se conoce como artificial porque se modifican parámetros del ambiente. En la literatura se reportan varias técnicas como parte del secado artificial que se caracterizan por el control de los grados de temperatura mediante hornos o controlando la calidad del aire a través de la temperatura y la humedad. Garantizando la integridad de los culmos evitando rajaduras, o aplastamientos. Antes de emplear el método de secado artificial se debe implementar un proceso de secado 8 días antes utilizando el método de secado al ambiente descrito anteriormente (MIDUVI, 2016).

El secado artificial presenta ventajas sobre la otra técnica de secado natural. La primera es que esta técnica permite controlar la temperatura, humedad relativa, flujo de aire, sobre todo requiere menos tiempos. Los sistemas empleados en el secado artificial son tres. Los cuales son hornos de secado, inyección de aire caliente y secado solar. El sistema de secado solar involucra la acción del sol y participación de equipos mecánicos (MIDUVI, 2016).

Los secadores solares pueden clasificarse en pasivos y activos, según su método de funcionamiento. Los secadores solares pasivos utilizan la energía del sol junto con un

colector solar para generar flujos de aire mediante el efecto termo-sifónico, permitiendo la entrada de aire frío y la salida de aire caliente saturado de humedad a través de compuertas. Mientras que, los secadores solares activos incorporan equipos mecánicos, impulsados por energía eléctrica, para acelerar la circulación del aire dentro de la cámara de secado, mejorando el proceso y disminuyendo el tiempo necesario para eliminar la humedad de los productos en este caso los culmos (MIDUVI, 2016).

2.2.7 Almacenamiento

Una vez realizado el corte, la preservación, y el secado procede la etapa del almacenamiento para luego ser utilizado en diferentes campos como la construcción. Tanto de la forma horizontal y vertical son formas de almacenamiento de la Gak (MIDUVI, 2016).

Para almacenarlos de forma vertical se deben considerar los siguientes parámetros, los culmos deben apoyarse en un caballete, aislando sus extremos del suelo. La altura del caballete debe ser $2/3$ de la longitud de los culmos, y estos deben sujetarse con cuerdas para evitar deslizamientos. Si se almacenan al aire libre, el caballete debe orientarse este-oeste para minimizar la exposición solar. Para el almacenamiento horizontal, los culmos deben colocarse sobre soportes de madera dura y preservada, evitando el contacto directo con el suelo. Se deben apilar en pisos, sin superar los 2 metros de altura. Además, es necesario mantener una separación de 20 a 30 *cm* entre los culmos, tanto vertical como horizontalmente, para permitir una adecuada circulación del aire y evitar la acumulación de humedad (MIDUVI, 2016).

2.2.8 Propiedades físicas del Bambú

Una de las propiedades físicas del bambú es la densidad básica que tiene un rango variable de 0,4 a 0,8 g/cm^3 (Kelkar et al., 2023). De acuerdo con Razak et al., (2010) la densidad del bambú está estrechamente vinculada con los porcentajes de haces vasculares y tejidos principales mismos que se muestran en la Figura 2-5. La cantidad de haces vasculares no se altera con la altura; en cambio, la cantidad de tejido

parenquimatoso se reduce con la altura (Liese & Kim Tang, 2015). Por lo cual la combinación de mayor proporción de tejido fibroso y la recurrencia de haces conductores en la parte superior del culmo podrían ser la razón de mayor densidad básica (Sadiku et al., 2019; Liese & Kim Tang, 2015). Es decir, la disminución del diámetro está acompañada de una reducción del espesor, por lo que aumenta la densidad total (Liese & Kim Tang, 2015).

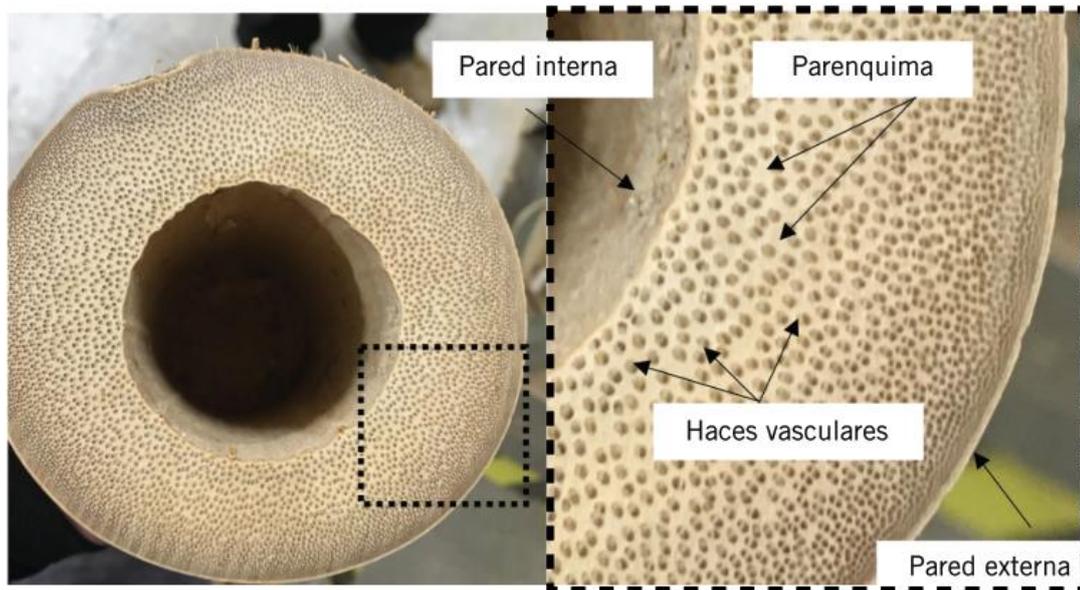


Figura 2-5. Sección transversal del culmo de bambú y distribución de los haces vasculares
Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p.36)

La densidad básica del bambú aumenta de abajo hacia arriba a lo largo de su longitud, y también lo hace desde el interior hacia el exterior. La sección exterior del culmo, compuesta principalmente por fibras y con mayor densidad, tiene altas probabilidades de experimentar cambios dimensionales significativos durante el proceso de secado, en comparación con las secciones internas, que contienen menos fibra y están formadas por fragmentos con menor volumen. Esto se debe a que el nivel de variabilidad dimensional de las fibras es mayor que el de las células parenquimatosas. Otro factor que influye en la densidad básica es la edad del bambú. Entre los 2 y 3 años, la densidad varía, pero esta variación disminuye a medida que el bambú alcanza los 4 años (Razak et al., 2007; Razak et al., 2010). El uso de la guadua depende de su densidad básica, que

varía según la edad y la posición a lo largo de su longitud, lo que afecta sus propiedades mecánicas y su comportamiento durante el procesamiento.

2.2.9 Propiedades mecánicas del Bambú

El cambio en las características mecánicas está relacionado con las propiedades físicas específicas del material empleado, como la edad, el origen, la especie, el grosor de las paredes y la porción del culmo. Esto implica que no es posible generalizar con otras muestras, dado que los factores de condicionamiento pueden fluctuar significativamente (Nolivos Valiente & Yacelga Díaz, 2010, p. 31).

Entre las propiedades mecánicas de la Gak se encuentra el esfuerzo que se clasifican según la dirección de la fuerza a las que están sometidos. Entre las cuales, se distingue la tracción, la compresión paralela, el cizallamiento y la compresión perpendicular.

2.2.9.1 El módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad (E), conocido como módulo de Young, es una propiedad de los materiales que indica su capacidad para sufrir deformaciones elásticas cuando se aplica una fuerza externa. Se define como la relación entre el esfuerzo (σ) aplicado y la deformación (ε) resultante en la zona elástica lineal de la curva de esfuerzo frente a deformación unitaria. Es decir, el módulo de elasticidad (E) se refiere a la capacidad de deformación elástica bajo carga. El módulo de elasticidad (E) se disminuye entre un 5% a un 10% a mayor tensión actuante. En el laboratorio de Stuttgart dedicado al ensayo de materiales se realizaron pruebas para el módulo de elasticidad de la Gak con un diámetro de 12 *cm*, donde los resultados fueron empleados en el cálculo estructural del pabellón ZERI en la EXPO 2000 para la compresión el valor E fue 13 500 *MPa* a 27 700 *MPa*, con un promedio de 21500 *MPa* (Minke, 2022).

2.2.9.2 Flexión

La flexibilidad se refiere a la habilidad de un material de ser doblado o curvado longitudinalmente sin quebrarse, y de retomar su estado original una vez que la fuerza

que ha provocado la deformación ha disminuido. Esta característica es propia de algunos tipos de madera, además del bambú. Adicionalmente, el bambú muestra una capacidad destacada para exceder el límite de elasticidad por flexión sin que ocurra una fractura instantánea (Ministerio de Desarrollo Urbana y Vivienda del Ecuador (NEC-SE-GUADÚA), 2016).

2.2.9.3 Tracción paralela a las fibras

Según el portal de Huellas de la Arquitectura la mejor propiedad mecánica del bambú es su alta resistencia a tracción al producirse de forma paralela a la fibra (200-300 N/mm^2), llegando a ser cuatro veces más fuerte que en compresión para una misma especie.

2.2.9.4 Compresión paralela a las fibras

La compresión paralela es cuando al culmo se le aplasta a lo largo del eje longitudinal.

2.2.9.5 Compresión perpendicular a las fibras

En la composición anatómica de la Gak, las fibras están alineadas al eje axial, razón por la cual el esfuerzo que resiste en el sentido perpendicular a la fibra ante el aplastamiento es bajo. Los resultados del comportamiento perpendicular del material son relevantes, primordialmente cuando existen cargas puntuales o localizadas.

Según (Rueda Vega, 2023) basándose en los resultados del último esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras, se muestra el estudio estadístico de las tres porciones del culmo. Los hallazgos indican que la parte superior de culmo posee el promedio más bajo, con un valor de 6,72 MPa, mientras que la parte inferior posee el promedio más alto, con un valor de 8,11 MPa. Según Rueda se llevaron a cabo 70 muestras, divididas en 10 en la parte basal, 30 en la parte intermedia y 30 en la superior, se puede deducir que la parte más resistente a la compresión perpendicular es la parte basal.

2.2.10 Modos de transmisión de esfuerzos

Existen dos modos de transmisión de esfuerzos, la transmisión directa y la transmisión indirecta. La transmisión directa de esfuerzos ocurre en culmos unidos por sus bordes o puntas, los mismos transmiten las cargas directamente por la pared del bambú. Existen accesorios para concretar este tipo de transmisión, lo cuales son: pernos, amarres que actúan como rigidizadores y para la resistencia a la compresión se rellenan como mortero de cemento en la parte hueca del culmo. Por otro lado, en la transmisión indirecta se utilizan componentes de conexión para vincular y comunicar los esfuerzos. Los complementos empleados son varilla roscada y placas de metal.



Figura 2-6. Modos de transmisión de esfuerzos

Nota: 1) Transmisión indirecta 2) Transmisión directa (Aguilar Larrinaga, 2022).

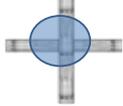
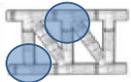
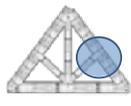
Las conexiones en las estructuras de bambú se pueden clasificar según el tipo de estructura (planas, como lineales y triangulares, y espaciales), la transmisión de esfuerzos, el número de culmos que conforman la estructura más la posición del culmo. Esta clasificación permite comprender mejor las conexiones y su función dentro de las estructuras de bambú. Por ejemplo, las estructuras lineales, como el nudo, la unión de columna y la viga, dependiendo de la posición parietal, permiten la transferencia de esfuerzos de las cargas, generando diversos nudos (Aguilar Larrinaga, 2022).

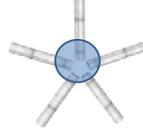
2.2.11 Tipos de estructuras de bambú

Las estructuras tradicionales y modernas se distinguen por su conexión y suelen estar formadas por componentes estructurales como vigas y columnas. No obstante, estas se distinguen porque las tradicionales suelen situarse en sitios donde se originó el bambú, es decir, en regiones como América o Asia. En el caso de las estructuras modernas, se pueden hallar en cualquier rincón del planeta. Además, se pueden distinguir diversas

clases de estructuras, incluyendo las estructuras en un solo plano y las espaciales (Aguilar Larrinaga, 2022).

Tabla 2-1. Clasificación del nudo en tipos de estructuras de bambú.

Tipo de unión de acuerdo al tipo de estructura				
Estructura	Nudo	Ejemplo	Descripción	Elementos de fijación
Estructuras lineales (Estructuras planares)			Combinación de componentes verticales y horizontales de bambú, que pueden estar formados por una única caña o múltiples de manera perpendicular entre los culmos.	1.- Amarres con cuerdas sintéticas. 2.-Varillas roscadas de 10 mm, con relleno en los entrenudos de mortero. 3.- Placas metálicas o de madera.
	En el ángulo recto			
				
	Compuesto			
Estructuras triangulares (Estructuras planares)			Unión de culmos formando geometrías triangulares en las estructuras. Estas actúan a tracción o compresión dependiendo de la carga y la dirección impuesta.	
	Vigas			
				
	Cerchas			
				
Marquesinas				

Estructuras en tres dimensiones	 Estructuras en diferentes planos		Unión de varios componentes estructurales en diferentes planos X Y y Z.	
	 Malla		Unión de elementos para fijación.	Conectores de acero inoxidable, galvanizados y aluminio.

Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p.72, Imágenes Varios autores)

2.2.12 Conexiones para Bambú

Las conexiones en general son un conjunto de elementos que se interceptan en un nodo con el fin de transmitir esfuerzos entre si mediante las uniones.

2.2.12.1 Cortes en los bordes del bambú

Los tipos de corte más comunes en el bambú se denominan según su forma. A continuación, se describen los cortes más comunes: el corte "boca de pescado" es un corte angular, el corte "pico de flauta" es un corte chaflán, el corte recto es un corte transversal y, finalmente, el corte bisel se realiza en un ángulo diagonal. Estos cortes tienen variantes con "orejas" o "sin orejas", las orejas sirven para fijarse clavos o pernos entre las "orejas" según lo afirmado por el arquitecto Óscar Hidalgo López en su libro *The Gift of the Gods* (Hidalgo López, 2003).



1)



2)

Figura 2-7. 1) Corte "boca de pescado", 2) Corte "boca de pescado"

Fuente: civilgeeks.com

2.2.12.2 Uniones y Cortes más comunes del Bambú

Usualmente en construcciones livianas con bambú, los culmos se vinculan a través de sus bordes, superficies o a través de elementos de unión.

De acuerdo con la categorización de uniones de madera presentada por (Argüelles Álvarez, 2013, como se citó en Aguilar Larrinaga, 2022), se establece una clasificación específica para las conexiones de Guadúa. Esta clasificación incluye tres tipos principales de uniones como empalme, acoplamiento y nudo (Figura 2-8), que se detallan a continuación:

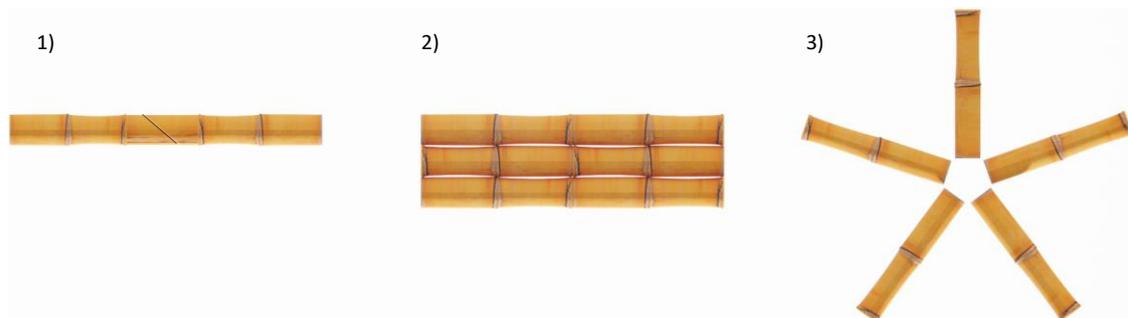


Figura 2-8. Clasificación de uniones: 1) Empalme. 2) Acoplamiento. 3) Nudo

Empalme: Los tallos de la Guadúa normalmente se unen por medio de sus bordes o plano transversal, con relación a las estructuras de madera se usa para prolongar la longitud. Sin embargo, al bambú no se usa frecuentemente, a menos que sea por un motivo decorativo, ya que las cañas de la Guadúa miden hasta 30 metros (Aguilar Larrinaga, 2022).

Acoplamiento: Es la unión de dos o más culmos por una pared en dirección longitudinal. Se emplean en vigas para cubrir grandes luces y en columnas para que se repartan los esfuerzos de compresión. La fijación de los culmos para esta clase de unión se lleva a cabo mediante varillas roscadas, amarres con cuerdas naturales o sintéticas, y en determinadas ocasiones se rellenan con mortero de cemento o adhesivos en la parte hueca del culmo (Aguilar Larrinaga, 2022).

Nudo: Esta clase de uniones se caracterizan por la intercesión de culmos en un solo punto, estos pueden ser desde dos a más culmos. El contacto de los nudos se da de

forma directa e indirecta, esta última se da por medio de elementos de conexión (Aguilar Larrinaga, 2022). El arquitecto Simón Vélez, quien ha explorado una opción de conexión con varilla roscada y relleno con mortero de cemento para analizar los puntos críticos como la concentración de esfuerzos. El objetivo de este método es incrementar la resistencia a la compresión en las uniones de los pilares (Salas Delgado, 2006).

2.2.12.3 Unión en ángulo recto

La unión en ángulo recto se forma por la intersección de viga y columna de forma perpendicular. Estas se organizan según el número de culmo que forman parte del componente estructural y la forma de transmisión de esfuerzos. En general hay un número máximo de 8 bambús en las columnas unidas por acople. Por un lado, las vigas de bambú son elementos horizontales conformados por uno o varios culmos.

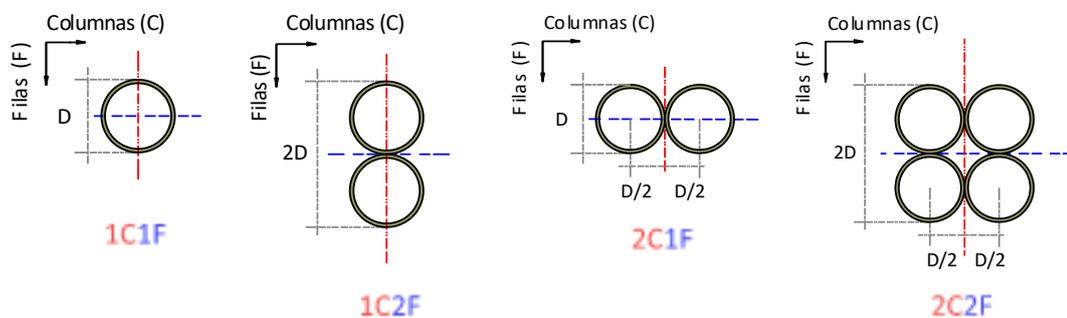


Figura 2-9. Configuración de secciones de culmos y su simbología de vigas

Nota: **C:** Número de columnas (elementos en dirección X), **F:** Número de filas (elementos en dirección Y).

Por otro lado, las columnas de bambú están formadas por un culmo o más, y pueden ser fijadas mediante acoplamiento o por elementos de conexión. El método utilizado es el uso de amarres para unirlos y pernos de métrica (M10) con hormigón inyectado en los entrenudos más próximos a los bordes (Aguilar Larrinaga, 2022)

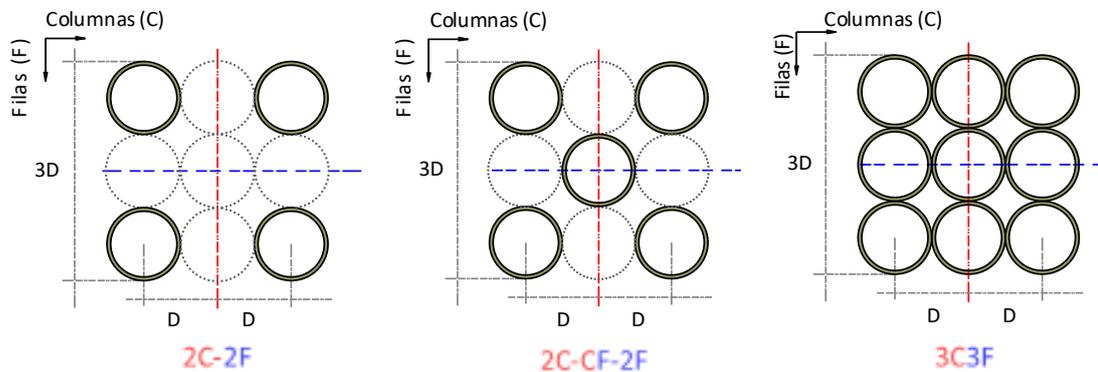


Figura 2-10. Secciones de culmos de columnas

Nota: **C:** Número de columnas (elementos en dirección X), **F:** Número de filas (elementos en dirección Y).

Para denominar las secciones transversales de vigas y columnas en una unión en ángulo recto, se emplea la nomenclatura C y F, donde C representa el número de elementos en la dirección X y F el número de elementos en la dirección Y. Esta clasificación se aplica tanto a vigas (elementos horizontales) como a columnas (elementos verticales). Por ejemplo, una sección identificada como 2C2F indica que hay 2 elementos en dirección X y 2 elementos en dirección Y. Este sistema permite describir con precisión la disposición de los elementos en la unión estructural, facilitando su análisis y diseño, como se muestra en la Tabla 2, así como en las Figuras 2-9 y 2-10.

Tabla 2-2. Evaluación de los elementos de las conexiones en ángulo recto

Unión ángulo recto											
			Fila	Columna	Fila	Columna	Fila	Columna	Fila	Columna	
Elementos verticales	1						x		x		
	2		x	x				x			
	3				x	x				x	
	4										
	Total		2C2F		3C3F		1F2C		1F3C		
Elementos horizontales	Dirección x	1	x			x	x			x	
		2		x	x		x				
		3									
		4									
		5								x	
	Total		2C1F		1C2F		2C1F		1C5F		
	Dirección y	1				x	x				x
		2	x	x	x			x	x		
		3									
		4									
Total		2C2F		1C2F		2C1F		1C2F			
Transmisión de esfuerzos			 Indirecta con elementos de conexión				 Directa por medio de la pared del culmo				

Fuente: Imágenes varios autores

2.2.12.4 Unión compuesto

Un nudo compuesto se refiere a la unión de elementos estructurales en diferentes direcciones, incorporando no solo elementos verticales y horizontales, sino también diagonales. Estas diagonales pertenecen a los planos X y Y, pero en distintas direcciones, formando conexiones en ángulos rectos y diagonales. Para su clasificación, se emplea la misma metodología de denominación de secciones transversales utilizada en vigas y columnas, donde C representa el número de elementos en dirección X y F el número de elementos en dirección Y. La transmisión de esfuerzos en estos nudos puede darse de

forma directa o indirecta, dependiendo de la configuración y conexión entre los elementos, como se detalla en la **Tabla 2-3**.

Tabla 2-3. Análisis de elementos de conexiones de ángulo recto y diagonal

Uniones con ángulos rectos y diagonales								
								
		Filas	Columna	Fila	Columna	Filas	Columna	
Elementos verticales	1							
	2	x				X	X	
	3		x	x	x			
	4							
	Total	3C2F		3C3F		2C2F		
Elementos horizontales	Dirección x	1		x		x	X	
		2	x		x		X	
		3						
		Total	1C2F		1C2F		2C1F	
	Dirección y	1		x		x	X	
		2	x		x			X
		3						
Total		1C2F		1C2F		2C1F		
Elementos con inclinación	Dirección x	1	x	x	x	x	x	
		2						
		3						
		Total	1		1 en cada lado		1 en cada lado	
	Dirección y	1	x	x	x	x	x	x
		2						
		3						
		Total	1		1 en cada lado		1 en cada lado	
	Otro plano	N/A		N/A		4		
Transmisión de esfuerzos	Directa por contacto							

Fuente: Imágenes varios autores

2.2.12.5 Tipos de uniones según grupos

En la literatura, en la investigación desarrollado por el Institute for Lightweight Structures de la Universidad de Sttugart, Klaus Dunkelberg (2000) llevó a cabo una categorización de las uniones de bambú basándose en la arquitectura tradicional de Indonesia. La categorización de las conexiones se divide en tres categorías: (1) conexiones entre elementos horizontales, (2) conexiones entre elementos horizontales y verticales, y (3) conexiones entre elementos verticales, horizontales y diagonales. En estas uniones se utilizan elementos como la madera, el bambú y las fibras naturales (Dunkelberg, 2000 como se citó en Aguilar Larrinaga, 2022).

Asimismo, Álvarez Castilla (2012) estudio las uniones metálicas con paradores consolidados con concreto y las uniones con amarres con cuerda de fibra sintética. En resumen, se segmentaron en 7 grupos: uniones clavadas, uniones con pernos, uniones zunchadas, uniones estructurales, uniones cimiento-muro, uniones con pieza de madera aserrada y uniones con piezas de bambú.

De la misma manera, Jules Janssen (2000), señaló que es primordial estandarizar el bambú y estructurar las uniones de bambú para que se convierta en un material común a nivel internacional y se utilice en edificaciones y en industrialización de nuevos materiales. Por ende, propuso 8 grupos para categorizar las uniones.

- Grupo 1: Conexión entre secciones transversales
- Grupo 2 y 3: Conexión en la parte interna del bambú con una pieza paralela (Grupo 2) o perpendicular (Grupo 3)
- Grupo 4 y 5: Conexión desde el plano transversal con una pieza paralelo (Grupo 4) o perpendicular (Grupo 5)
- Grupo 6 y 7: Conexión del exterior del culmo a un elemento paralelo (Grupo 6) o perpendicular (Grupo 7)
- Grupo 8: Uniones de tiras de bambú

Por otro lado, Andry Widyowijatnoko (2012), inicialmente dividió en dos categorías: edificaciones tradicionales con bambú y edificaciones que utilizan bambú como sustituto de otros materiales. Donde reconoció dos grupos: dentro de la cavidad del bambú y en sentido perpendicular. Su estudio se fundamenta en el estudio de Jules Janssen (2000) y descarto dos grupos: el grupo 7 y el grupo 8, ya que el grupo 7 no se utiliza estructuras de bambú y el grupo 8 se utilizan tiras de bambú y no en culmos completos.

La clasificación consta de los siguientes grupos:

- Grupo 1: Transmisión de esfuerzo a compresión en toda la sección del culmo
- Grupo 2: Transmisión de esfuerzo a fricción en las caras internas o de compresión en el diafragma.
- Grupo 3: Transmisión de esfuerzo de fricción en la cara exterior
- Grupo 4: Transmisión de esfuerzo con ayuda de tracción y cortante del bambú a partir de una pieza perpendicular contactada en el interior del culmo.
- Grupo 5: Trasmisión de esfuerzo adyacente a las fibras.

2.2.13 Clasificación de conexiones para estructuras de bambú

En la investigación de Aguilar Larrinaga (2022), reportó una clasificación de tipo gráfico-descriptivo en relación a la tecnología empleada. Afirmando que la clasificación ayuda a una elección optima en proyectos arquitectónicos, misma que se detalla a continuación. Es importante destacar que gran cantidad de las conexiones de bambú se fabrican de forma artesanal y sin reglas que establezcan su uso. Con el objetivo de entender las técnicas de montaje a continuación, se categorizan las conexiones en función de la información relacionada con las técnicas de montaje.

Las conexiones *low tech* engloban las conexiones con fibras naturales, pasantes con madera o bambú. Estas técnicas de unión se usan usualmente en construcciones vernáculas. Las cuerdas de fibra natural se emplean para atar los culmos; esta técnica es muy antigua, con esta técnica se pueden conformar vigas y columnas para rigidizar la

unión. La misma se emplea en empalmes, acoplamientos y nudos. Por otro lado, se suelen usar pasadores de bambú o madera para atravesar los culmos a modo de cuña para rigidizar las uniones.

Las conexiones de tecnología media y alta son las utilizadas en la arquitectura moderna, ofreciendo diversas alternativas de conexión, muchas de ellas diseñados para el tipo de edificación a edificar. Los componentes de conexión más habituales son los pernos, las placas de metal, el reforzamiento interno con mortero de cemento y los adhesivos. A continuación, se presenta una descripción detallada a partir de la clasificación de conexiones realizada por Aguilar Larrinaga (2022).

2.2.14 Conexiones low tech

Las conexiones low tech aparecen en el período de las construcciones autóctonas, en donde comúnmente se emplean materiales de origen local. Además, para sujetar los culmos se realizan con técnicas empíricas, difundidas de generación en generación. En este contexto, estas conexiones se distinguen por utilizar tecnología obsoleta, es decir, carecen de equipos especializados para su elaboración.

En las conexiones diseñadas a partir de la experiencia, se utilizan diferentes materiales como cuerdas, madera o incluso el bambú. Esta gama de conexiones puede clasificarse de acuerdo a: conexiones amarradas, conexiones con pasadores, conexiones acopladas y conexiones híbridas, donde se incluyen todas o algunas de las técnicas mencionadas previamente.

2.2.14.1 Conexiones amarradas

Es un método muy común para fusionar dos componentes de bambú. Esta técnica permite unir dos o más cañas a través de amarres con cuerdas naturales como el sisal, o cuerdas artificiales. Las clases de amarres que componen las estructuras varían en función de la cultura, el emplazamiento y el tipo de cuerda. El bambú, con su forma conoidal y hueca, facilita la realización de este tipo de conexiones, dado que su

estructura permite la creación de orificios que sobrepasan cada extremo de la pared del culmo.

2.2.14.1.1 Amarre entre culmos completos

No es necesario perforar o alterar la caña para sujetar culmos completos de dos o más cañas de bambú. En este escenario, la cuerda opera en modo de fricción. Estas uniones en estructuras pueden clasificarse en función de su naturaleza en nudos, empalmes o acoplamientos. Es un método utilizado en la arquitectura tradicional asiática, así como en construcciones temporales como pabellones o andamios en Hong Kong. Esta técnica es perfectamente utilizada en Indonesia, dado que forma parte de la tradición. En este lugar se pueden observar estructuras completas diseñadas con este método para vincular bambús, que se convierten en paneles para coberturas, techos e incluso muebles. En la figura 2-11, se observan los tipos de amarre.

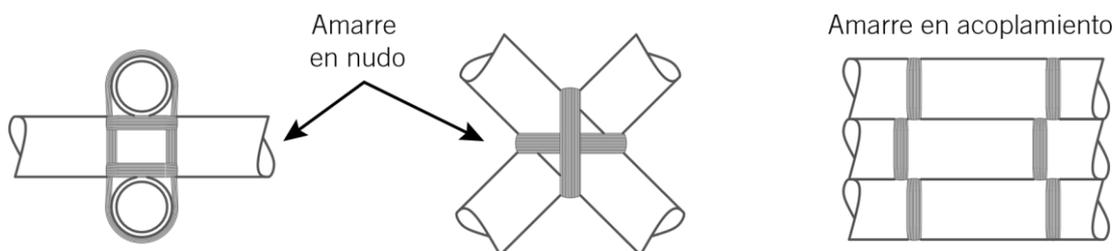


Figura 2-11. Tipos de amarres entre culmos

Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 87)

Esta técnica todavía está en vigencia, ya que se puede observar en estructuras contemporáneas. Un ejemplo claro se dio en la Bienal de Venecia del 2018, exposición en la que el estudio *Vo Trong Architecture* exhibió un pabellón con el montaje de uniones con amarre para bambú, con un refinado diseño paramétrico. Las conexiones amarradas en culmos completos benefician el funcionamiento de la unión, ya que evitan que el bambú se raje porque no tiene cortes. No obstante, se deben realizar con una buena técnica y deben ser protegidas de los factores ambientales como la humedad, radiación solar y el viento, ya que causan que la cuerda pierda propiedades de fricción, llegando a fallar.

2.2.14.1.2 Amarre mediante perforación

Este tipo de conexión consiste en traspasar el bambú con una cuerda para realizar la unión con él o con los otros culmos de bambú. En general, es suficiente con que uno de los culmos tenga un orificio y el otro culmo se mantenga intacto. Sin embargo, el número de agujeros dependerá del número de culmos que se van a unir. Además, se necesita un corte específico en el borde del culmo para poder encajar los culmos; comúnmente se realiza el corte boca de pescado. Este proceso es más refinado porque se produce un aumento en la técnica a comparación del anterior mediante el uso de herramientas para agujerear de forma precisa el culmo como se puede ver en la figura 2-12.

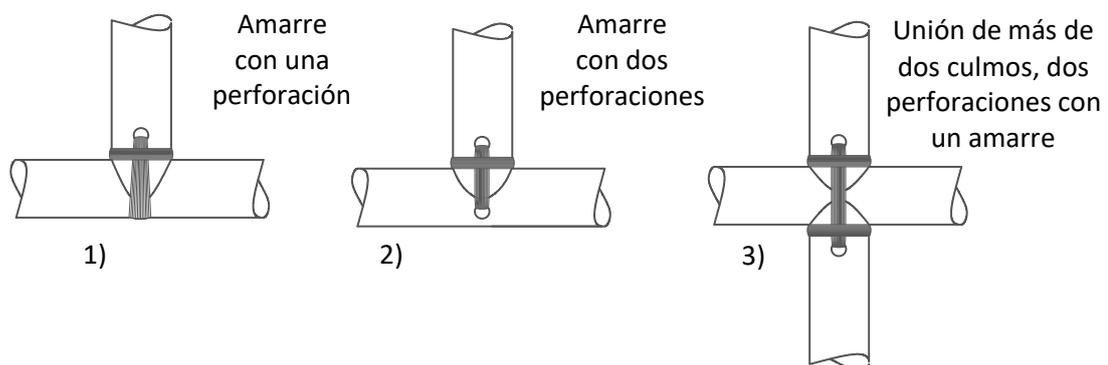


Figura 2-12. Tipos de amarres por medio de la técnica con perforación en el culmo
Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 89)

2.2.14.1.3 Conexiones mediante pasadores

Esta metodología utiliza pasadores de madera o del mismo material para conectar los culmos. Es imprescindible que el pasador se ajuste perfectamente al bambú para que genere tensión, para lograrlo se requieren ciertas herramientas para fabricar los pasadores. Además, en una de las cañas es necesario efectuar un corte de boca de pescado para unir el culmo al culmo entero.

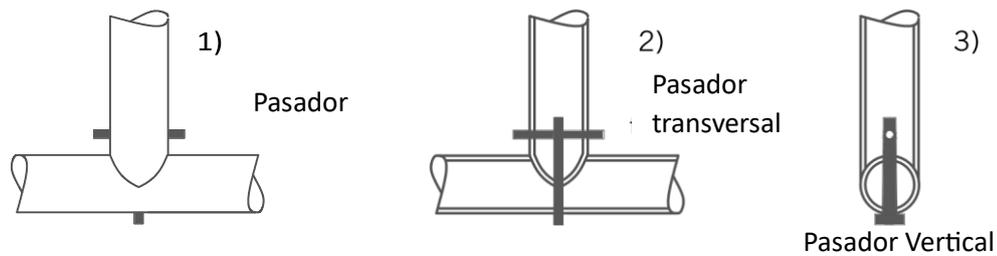


Figura 2-13. Conexión mediante pasadores de madera
 Nota: 1) Vista frontal. 2) Sección Transversal. 3) Sección lateral (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 90)

Es posible realizar como una unión rígida, siempre y cuando no exista movimiento en el punto de penetración del pasador, ya que el bambú puede rajarse. Los sujetadores que se mueven de un lado a otro transmiten esfuerzos de flexión, tracción y compresión hacia el culmo como ejemplo de este tipo de conexiones se tiene la figura 2-13 (Dunkelberg, 1985 como se citó en Aguilar Larrinaga, 2022).

2.2.14.1.4 Conexiones encajadas

Estas conexiones constan de un culmo con un corte determinado que sirve para acoplarse a otro culmo. Existen muchas variantes de estas conexiones; un ejemplo consiste en incrustar un bambú de diámetro inferior en un orificio realizado en un bambú de diámetro superior como se puede ver en la figura 2-14. Este tipo de unión actúa mejor a esfuerzos de compresión y generalmente se usa en los marcos que conforman los paneles de bambú.

Otro ejemplo consiste en cortar el borde de uno de los culmos a modo de cuña y en el otro culmo realizar un orificio en la pared para encajar el anterior culmo. Sin embargo, la humedad interfiere en el funcionamiento de las conexiones con este patrón, ya que afecta y debilita la junta. En consecuencia, son menos resistentes por la poca estabilidad a causa de la dilatación y al cambio de dimensión hidrotérmica propia del material (Aguilar Larrinaga, 2022).

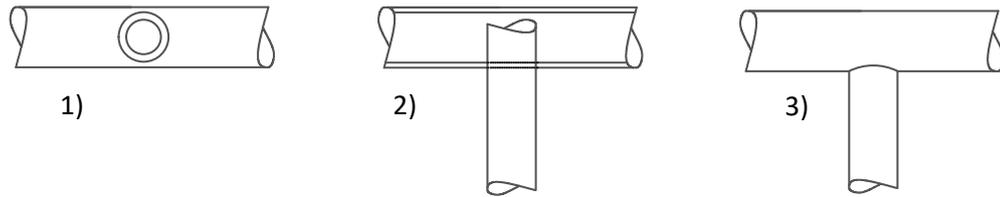


Figura 2-14. Unión de corte tipo cuña

Nota: 1) Vista superior. 2) Sección Transversal. 3) Vista frontal (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 91).

2.2.14.1.5 Conexiones híbridas

Las conexiones híbridas, son derivadas de la mezcla de las conexiones *low tech* previamente mencionadas, buscan crear uniones más robustas ante los esfuerzos de compresión y tracción. Cuando los conjuntos de conexiones se unen, surgen las siguientes variantes: pasadores y amarres, pasadores con cortes y cortes junto a amarres.

2.2.15 Conexiones *medium tech*

Las conexiones de tecnología media implican ciertos procesos de industrialización. A su vez, están compuestas por componentes que se pueden encontrar en el mercado; dado que no son componentes diseñados específicamente para la construcción en bambú, sino que se ajustan para su uso en las conexiones. Los elementos que conforman las conexiones son distribuidos a gran escala y, en consecuencia, los costos son accesibles. Además, estos elementos son de uso frecuente, por lo que se comercializan en lugares donde crece el bambú. Los elementos que mayormente se usan son la varilla roscada, tornillos y abrazaderas. Además, son reforzadas con mortero de cemento como relleno en la parte hueca del entrenudo, en el punto de unión, mediante el vaciado por medio de un orificio de alrededor de 20 *mm* de diámetro realizado en la pared del culmo; esta técnica hace más fuerte la compresión.

2.2.15.1.1 Conexiones con pernos

Las uniones con pernos son las más empleadas en estructuras livianas, ya que el tornillo, al igual que la varilla roscada, es un elemento universal y es de fácil localización en el mercado. No obstante, deben ajustarse para su uso a través de la utilización de herramientas. Además, es imprescindible emplear instrumentos y maquinaria especializada para perforar los culmos. Es importante destacar que las perforaciones deben ser lineales; de lo contrario, resultaría complicado atravesar el perno. Este tipo de conexión puede ser utilizado en acoplamientos y nudos. La NEC-SE GUADÚA dicta que, al menos, se debe utilizar un perno de 10 *mm* para la unión de bambú.

Las conexiones con pernos se catalogan en seis tipos: culmos completos, pernos en una sección transversal, pernos y placas, reforzamiento con hormigón, tornillos autorroscantes y abrazaderas.

2.2.15.1.2 Conexiones con pernos en culmos completos

La colocación y el ajuste del perno en las conexiones con culmos completos son ligeramente más fáciles en comparación con las distintas variaciones de conexiones con pernos. Como su denominación lo indica, las conexiones se realizan en culmos completos como se puede ver en la figura 2-15; además, no se tiene que hacer otros cortes, únicamente el corte perpendicular de acuerdo con las dimensiones requeridas. Sin embargo, como el perno transfiere totalmente los esfuerzos y trabaja principalmente a tracción, se necesita que la perforación sea precisa para que este esté estático, con la finalidad de que se mantenga la apariencia formal de diseño.

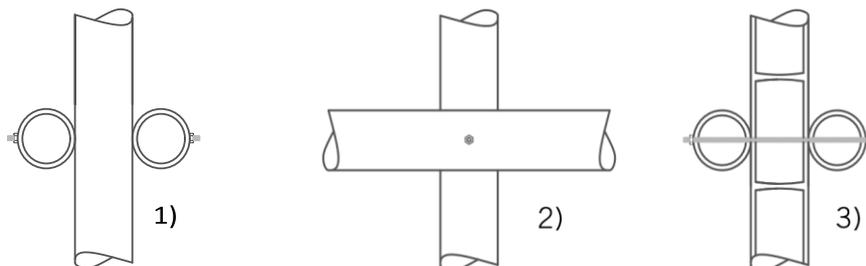


Figura 2-15. 1) Vista frontal. 2) Vista lateral. 3) Sección transversal
Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 93).

2.2.15.1.3 Conexiones con pernos en sección transversal

Estas conexiones se utilizan cuando uno de los culmos requiere un corte exacto en su borde. Las formas de corte más utilizadas para la construcción de estas conexiones son la *boca de pescado*, el *pico de flauta* y el *bisel*, ya que este tipo de conexión contiene nudos articulados.

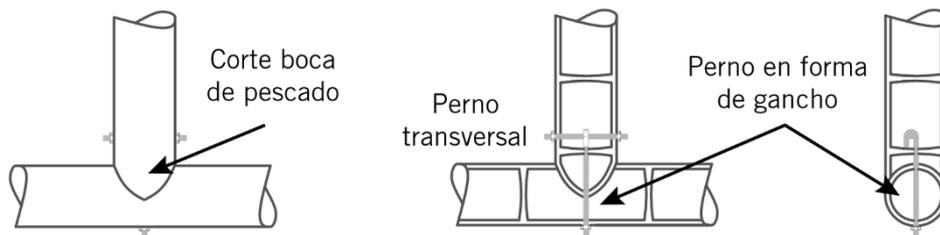


Figura 2-16. Conexión con pernos en una sección de culmo completo.
Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 93).

La unión está compuesta por un perno transversal, con un extremo enganchado a un segundo perno transversal, apretado o traccionado con una arandela y una tuerca, como se ve ilustrado en la figura 2-16. Este tipo de unión soporta eficientemente los esfuerzos; sin embargo, su montaje no es tan simple debido al emplazamiento de las varillas, a causa de la modificación realizada en la varilla que se adhiere a la varilla transversal. Los materiales usados son varilla roscada para poder alcanzar la dimensión necesaria.

2.2.15.1.4 Conexiones con pernos y placas

Estas conexiones tienen tecnología adicional en contraste con las otras conexiones catalogadas como *medium tech*, debido a que en estas se fabrican placas de madera o metal que se unen mediante pernos. Las placas son en forma de banda que rodea a los dos culmos; también pueden ser de forma triangular, circular o cuadrada, como se ve en la figura 2-17. Estas conexiones obedecen al diseño para poder conocer el número de pernos a emplearse y la cantidad de culmos a conectar.

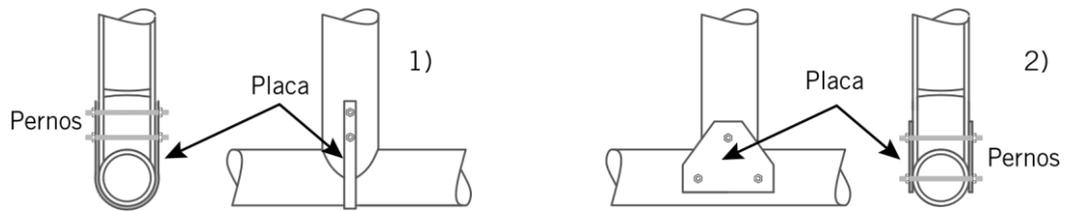


Figura 2-17. Conexiones reforzadas con placas exteriores.

Nota: 1) Placa en forma de tira. 2) Placa en forma triangular (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 94).

2.2.15.1.5 Conexiones reforzadas con mortero de cemento

Es común reforzar con mortero de cemento las conexiones con pernos y placas. El procedimiento consta de agujerear un orificio de 10 mm de diámetro; una vez introducido el perno, se vierte el mortero de cemento autocompactante en la parte hueca del culmo, en la figura 2-18 se observa como el hormigón es introducido.

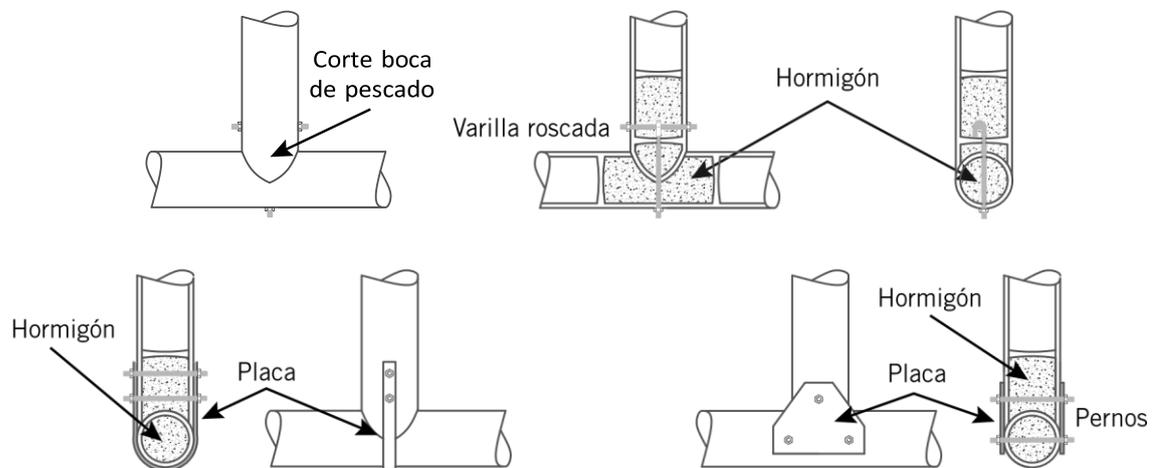


Figura 2-18. Conexiones reforzadas con placas exteriores. 1) Placa en forma de tira. 2) Placa en forma triangular.

Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 94).

El Arq. Simón Vélez, pionero en la utilización del proceso de rellenar los entrenudos con mortero de concreto para reforzar las juntas, ha utilizado estas conexiones en construcciones que se caracterizan por su monumentalidad. Tal es el caso de que en Alemania construyó el *Pabellón Zeri*, en México el *Museo Nómada* y en Colombia la *Iglesia Sin Religión*, así como otras en sitios públicos del eje cafetero colombiano.

La estructura actúa mejor a compresión, tracción y flexión cuando se rellenan los entrenudos. Sin embargo, esto se hace más costoso, se triplica su peso y se reduce la sostenibilidad. Otra desventaja es que tanto el bambú como la conexión no pueden ser reemplazados debido a que están embebidos en el mortero de cemento (Aguilar Larrinaga, 2022).

2.2.15.1.6 Conexiones con tornillos autorroscantes

La instalación de estas conexiones es sencilla, ya que en esta situación no es necesario perforar el bambú para ubicar los tornillos. No obstante, para trabar los culmos, generalmente se emplea una placa, ya sea de madera o de metal, con un espesor máximo de 3 mm, de manera que los tornillos puedan atravesar con facilidad.

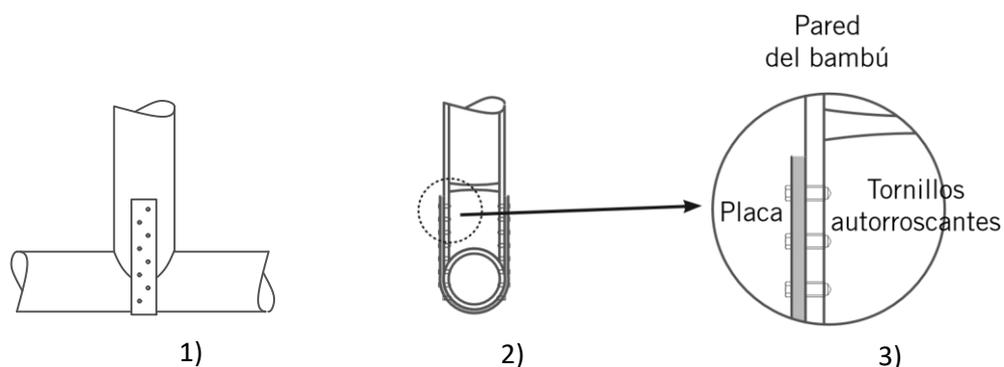


Figura 2-19. Conexiones con tornillos autorroscantes. 1) Vista frontal. 2) Sección transversal. 3) Detalle de los tornillos.

Fuente: (Aguilar Larrinaga, 2022, p. 93).

No es necesario que los tornillos atraviesen completamente el bambú, ya que, al ser autorroscantes, se adhieren a la pared del culmo. Usualmente se utilizan brocas con medidas de 3 mm por 20 mm de longitud de acero inoxidable como se observa en la figura 2-19.

2.2.15.1.7 Conexiones mediante abrazaderas

Se ajustan de manera eficaz a las anomalías de la pared exterior del culmo. Estas se adaptan a la porción del diámetro que está expuesta a fricción y presión. Existen diversas clases de abrazaderas que unen uno o varios culmos.

La compañía alemana *Cobam* desarrolló un sistema conocido como *Bambootix*, compuesto por placas y abrazaderas, generando una estructura ligera de una sola planta. No es necesario perforar el bambú, lo que permite prescindir de herramientas complicadas para la realización de la construcción.

2.2.16 Conexiones High tech

Las conexiones de alta tecnología se componen de aleaciones metálicas que mejoran su resistencia mediante mortero de cemento o adhesivos, frecuentemente empleadas en la arquitectura efímera, motivo por el cual la mayoría se vuelven inservibles, y emplean las conexiones antes descritas en el presente trabajo. Además, este tipo de conexiones utiliza tecnologías avanzadas, como programas informáticos para el diseño y maquinaria de control numérico para su implementación.

Hay múltiples conexiones de alta tecnología llevadas a cabo por arquitectos, constructores e investigadores. No obstante, algunas de estas permanecen únicamente en prototipos debido al alto costo de su producción. Hay escasas conexiones de este tipo en el mercado, debido al alto costo de producción, y la mayoría no cumplen con los criterios necesarios para ser comercializadas.

A partir de la gran cantidad de grupos de conexiones, se catalogan en tres grupos las conexiones metálicas conocidas como: reforzadas con pernos, a fricción y reforzadas con hormigón.

2.2.17 Conexiones AVECE

A partir de la clasificación anterior de las conexiones para bambú, las conexiones AVECE se catalogan dentro de las conexiones *medium-tech*, ya que incluye cierto grado de tecnología. El Grupo Interdisciplinario de Estudios en Arquitectura y Construcción Sostenible ha desarrollado una máquina específica para agilizar la elaboración del elemento conector AVECE como se observa en la figura 2-20. Además, en su fabricación se emplean materiales comúnmente utilizados en las conexiones *medium-tech*, como varilla roscada y madera.



Figura 2-20. Máquina para elaboración de elementos conectores AVECE a distintos ángulos de inclinación

El enfoque de la fabricación de las piezas abarca aspectos de las conexiones *high-tech*, ya que consiste en la creación de elementos conectores AVECE específicos y semi estandarizados para su comercialización. Estos conectores pueden fabricarse a diferentes ángulos y se producen bajo pedido, lo que permite que el sistema sea flexible a las demandas del usuario. De esta manera, se promueve la estandarización de elementos prefabricados, adaptados a los requerimientos y características de cada edificación.

Para garantizar la estabilidad y el buen funcionamiento de las conexiones, se establecen factores y parámetros que intervienen en las conexiones AVECE. A continuación, se detallan las características y consideraciones del sistema de conexiones AVECE.

2.2.17.1 Versatilidad

El sistema de conexión AVECE tiene la capacidad de ajustarse a diversas clases de estructuras y elementos de construcción, como vigas, columnas, pórticos y estructuras de forma triangular. Estas uniones pueden emplearse tanto en estructuras permanentes como efímeras.

2.2.17.2 Adaptabilidad

En el estudio de la clasificación de las conexiones (*low-tech*, *medium-tech* y *high-tech*) mencionado anteriormente, se observó que muchas de ellas no se ajustan a la variabilidad de los diámetros y grosores de los tallos, ya que están diseñadas para operar con un tallo específico, lo que requiere personalización para cada tipo de bambú. Esta situación complica la estandarización en la producción, aumentando los costos y el tiempo de ejecución. Como consecuencia, se incrementa la necesidad de mano de obra especializada para la fabricación y el montaje de las conexiones, lo que puede afectar la viabilidad de la edificación con bambú.

En este contexto, si bien el sistema AVECE está diseñado para operar con un tallo específico, teniendo en cuenta la variabilidad en los diámetros y grosores de las paredes. Una de las ventajas de las conexiones AVECE es que los componentes de madera pueden ser lijados para adaptarse a la variabilidad de los tallos. Además, aunque se requiere tecnología específica para la fabricación de las piezas, el proceso de montaje es sencillo, lo que permite que las piezas de madera se ajusten fácilmente a las dimensiones necesarias mediante lijado.

2.2.17.3 Reutilización

Uno de los inconvenientes de muchas de las conexiones analizadas es que no pueden ser reutilizadas debido a las deformaciones que sufren durante su montaje y desmontaje, o porque se adhieren al entrenudo con aglomerantes como el mortero de cemento para solidificarlas, lo que lleva a su desintegración total. En este contexto, las

conexiones AVECE pueden ser fácilmente cambiadas; ya que, antes de colocar la goma, las piezas de las conexiones pueden ser modificadas. Sin embargo, una vez puesta la goma, el cambio de las piezas se complica ligeramente. Además, dado que estas conexiones no requieren embebido de hormigón en el bambú, el material puede ser reutilizado.

2.2.17.4 Ecológica o sostenibilidad

La conexión AVECE reduce el uso de mortero de cemento y hierro en la construcción con bambú mejorando su sustentabilidad. Esta reducción se logra porque los Tacos de Relleno de Madera sustituyen al mortero de cemento. Además, es importante destacar que existe una variante de la conexión AVECE que prescinde de la varilla roscada en uniones que tienen un menor compromiso de carga o transmisión de esfuerzo estructural. Esta innovación no solo mejora la sostenibilidad de las construcciones, sino que también conserva las propiedades del bambú como material ecológico, esta variación se puede observar en la **Figura 2-21**.



Figura 2-21. Conexión AVECE con tarugo de madera

2.2.17.5 No depende de mano de obra o trabajo especializado

El sistema de conexiones AVECE, al estar estandarizado, ofrece ventajas significativas en términos de maniobrabilidad y facilidad de utilización en obra. Esta estandarización permite que los elementos de conexión sean fabricados con precisión y disponibilidad, lo que simplifica el proceso de construcción.

Una de las principales ventajas de las conexiones estandarizadas es que facilitan el ensamblaje y permiten una mayor rapidez en la ejecución de las obras. Los trabajadores pueden manipular y ajustar las conexiones de forma más efectiva, lo que reduce el tiempo necesario para la instalación y mejora la productividad en el sitio.

2.2.17.6 Mayor maniobrabilidad en obra

El sistema de conexiones AVECE proporciona un notable incremento en la maniobrabilidad en obra, aportando un mayor grado de sujeción y flexibilidad en la instalación. Gracias a su diseño estandarizado, las conexiones pueden ser rápidamente conectadas y desconectadas, lo que permite a los trabajadores ajustar las estructuras de manera eficiente y sin complicaciones.

2.2.18 Componentes de los elementos conectores

Las conexiones AVECE tienen diferentes componentes que se describen a continuación.

2.2.18.1 Elemento conector AVECE para distintos ángulos

Con el avance actual en la producción de piezas, la máquina AVECE permite la fabricación de piezas con cualquier ángulo, lo que aporta mayor dinamismo a las exigencias estructurales relacionadas con el uso del bambú. Para unir los componentes de bambú, se utilizan elementos de madera, donde también se utiliza una varilla roscada a sí misma como tuercas y arandelas.

La conexión AVECE se compone de un elemento de madera de forma cilíndrica con una curvatura útil en uno de sus extremos en forma de arco. Facilita el montaje ya que al ser piezas pequeñas facilita la maniobrabilidad de los bambús. Este elemento conector AVECE fluctúa en su diámetro de acuerdo a los diámetros del culmo y posee una longitud aproximada de 8 cm. El montaje del conector del sistema AVECE se ilustra en las figuras 2-22 y 2-23.

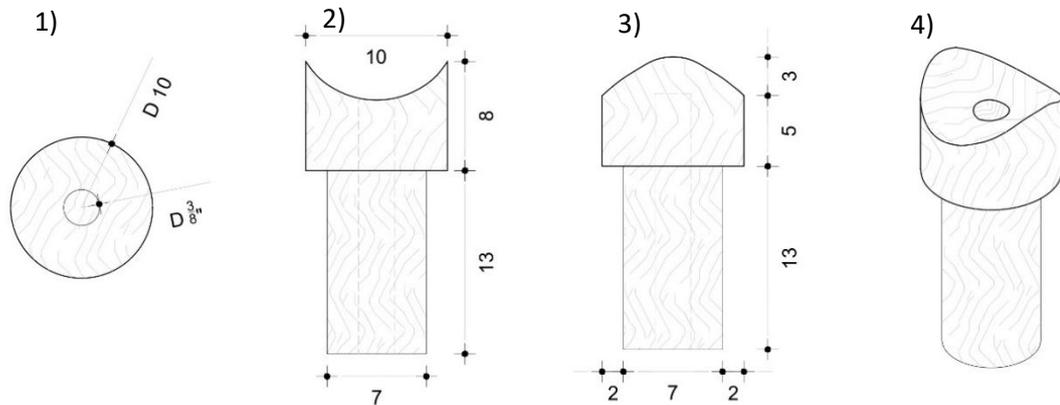


Figura 2-22. Elemento conector AVECE (Boca de pez) en cm
Nota: 1) Vista superior. 2) Vista frontal. 3) Vista lateral. 4) Isometría

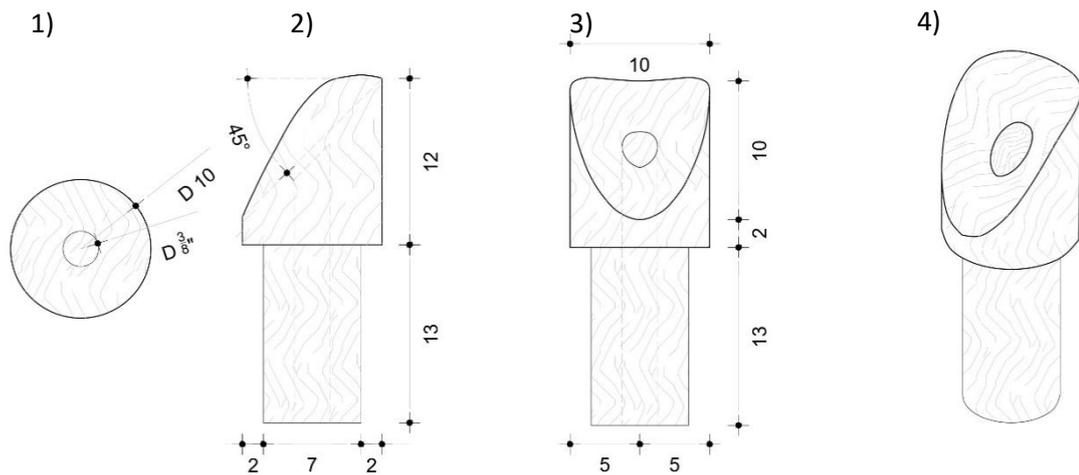


Figura 2-23. Elemento conector AVECE a distintos ángulos en cm
Nota: 1) Vista superior. 2) Vista lateral. 3) Vista frontal. 4) Isometría

2.2.18.2 Taco de relleno

Se describe como una pieza cilíndrica que va dentro del culmo como relleno que sustituye al hormigón utilizado convencionalmente. Este puede tener de 10 y 15 cm de largo, y cuyo diámetro depende del diámetro interior del culmo. En la imagen 2-24 se puede observar la forma cilíndrica del taco de relleno. En la figura 2-25 se observa el tarugo de madera que reemplaza la varilla roscada en conexiones de menos solicitaciones estructurales.

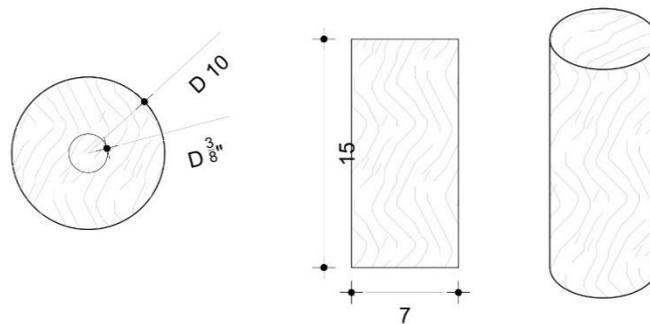


Figura 2-24. Taco de relleno en *cm*.

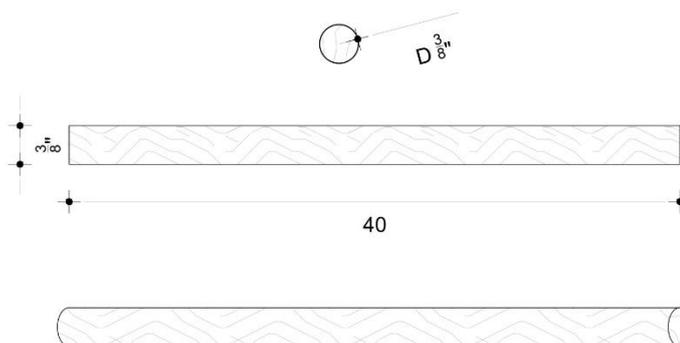


Figura 2-25. Tarugo que reemplaza la varilla roscada en aplicaciones con bajas solicitaciones estructurales en *cm*

2.2.19 Montaje del sistema AVECE

Para el montaje de la conexión AVECE, primero se corta uno de los culmos de bambú de forma transversal. A continuación, se determina el diámetro requerido, tanto interno como externo, para asegurar un ajuste preciso al elaborar el elemento conector AVECE en base al diámetro externo y el taco de relleno con el diámetro interno. Luego, se

prepara la varilla roscada según la longitud necesaria para unir los elementos de la conexión. Una vez listos estos componentes, se ensambla la conexión y se ajustan los extremos con las tuercas y rodela. Para asegurar un ajuste óptimo de la conexión, se puede usar una mezcla de goma con aserrín tamizado en las uniones de madera con bambú. En todos los casos se debe asegurar que los elementos queden firmemente ensamblados y alineados.

2.2.20 La madera

2.2.20.1 Estructura de la madera

El tronco o parte inferior: La sección transversal del tronco tiene diferentes partes que se describen en la Figura 2-26.

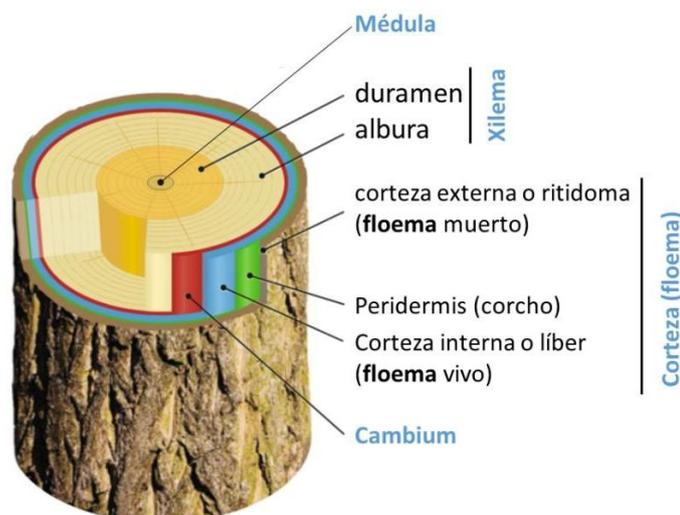


Figura 2-26. Características macroscópicas de la madera
Fuente: (Schweingruber et al., 2019).

Corteza exterior: Es la parte superficial que protege el árbol de los elementos atmosféricos, como la insolación; el tejido que conforma la corteza se conoce como floema.

Corteza interior: Capa que cumple la función de dirigir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, raíces y tronco, está integrado por el tejido flemático vivo (líber).

Cambium: Se refiere al tejido situado entre la corteza interna y el leño. Las células del cambium tienen la capacidad de fragmentarse y conservar dicha capacidad hasta que el árbol muera. El cambium genera células de madera en el interior, así como floema o líber en el exterior.

La Madera o xilema: Se trata de la parte del tronco, donde se pueden apreciar la médula, el duramen y la albura.

Albura: Es la parte exterior de la xilema, su función principal consiste en llevar el agua y las sales minerales desde las raíces hasta las hojas. Su color es más claro que el duramen y su ancho varía dependiendo del tipo de especie. La zona activa de la xilema se encuentra en la albura.

Duramen: Estructura inactiva y su función es proporcionar resistencia para el sostenimiento del árbol. Durante el proceso de crecimiento, en la albura se reduce el agua y los nutrientes almacenados que se infiltran de diferentes tipos de sustancias orgánicas, como resinas, gomas, aceites, taninos, tintes y compuestos aromáticos. La penetración de estas sustancias altera la uniformidad de la madera, esta parte se vuelve más oscura y adquiere mayor resistencia frente a ataques de hongos e insectos, este atributo distingue al duramen de la albura.

Médula: Es la sección central del tronco y está compuesta por tejido parenquimático.

2.2.20.2 Material ortotrópico (Madera)

La madera es un material ortotrópico y heterogéneo, lo que significa que sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas varían en las tres direcciones ortogonales: longitudinal, radial y tangencial (Dassault Systemes, 2010). En particular, la madera, presenta diferencias significativas en estas direcciones debido a su estructura interna. En cuanto al comportamiento térmico, la pérdida de humedad de la madera provoca variaciones dimensionales en este material (Razak, Mahmud, et al., 2010).

2.2.20.3 Maderas Latifoliadas (tropicales).

El Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino simplifica la planificación de la edificación con maderas provenientes de bosques andinos, que suelen ser tropicales y subtropicales. Las variedades que forman parte de estos bosques se conocen como maderas tropicales, también conocidas como maderas latifoliadas o frondosas. Las maderas latifoliadas o frondosas se diferencian de manera interna y externa de las maderas coníferas. En la subregión, las especies tropicales constituyen un volumen significativo en contraposición a las coníferas, que constituyen una proporción considerablemente inferior.

Las coníferas y las latifoliadas presentan diferencias en su comportamiento mecánico o su habilidad para experimentar deformación. Por lo general, cuando las maderas latifoliadas y coníferas exhiben la misma densidad, las latifoliadas de los bosques andinos muestran una mayor resistencia. Además, sus rangos de elasticidad son similares y raramente superan la media (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1982).

2.2.20.4 Planos o secciones de la Madera

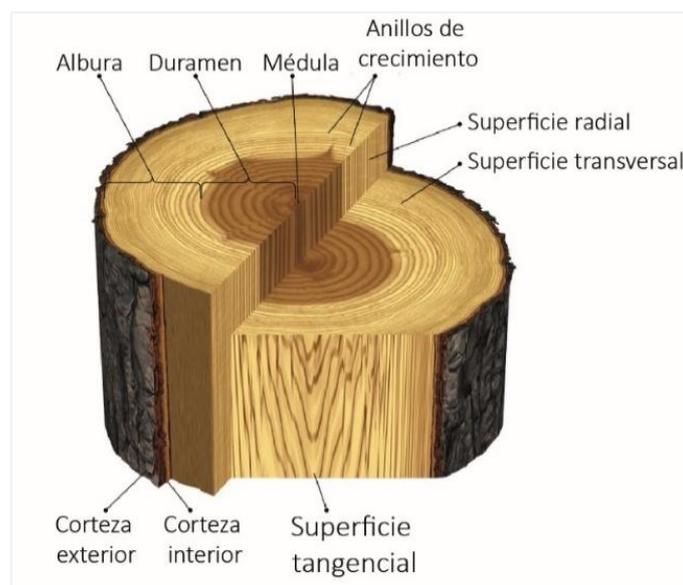


Figura 2-27. Características macroscópicas en la sección transversal, radial y tangencial del tronco de un árbol
Fuente: (Tsoumis, 2024).

Para la comprensión de los componentes dilemáticos, es necesario conocer los distintos planos o secciones. Se denomina sección transversal al corte que se lleva a cabo en sentido perpendicular al eje axial del tronco. En caso de que el corte se realice en una dirección paralela al eje central del tronco, se obtiene la sección longitudinal; esta será tangencial si se ubica en la dirección de los anillos de crecimiento y en sentido perpendicular a los radios y a la corteza. La sección radial se encuentra en línea recta con los anillos de dirección desde la médula hasta la corteza como se muestra en la figura 2-27. En las secciones se pueden observar todos los componentes celulares que constituyen la madera, aunque cada sección muestra características diferentes dependiendo del corte examinado (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1982)

2.2.20.5 Norma de clasificación visual de la madera

Para la clasificación visual de las estructuras de madera, se deben tener en cuenta las siguientes normas como referencia.

- Normas NTE INEN 2579 (2011) y NTE INEN 2580 (2011).
- PADT-REFORT/JUNAC; Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural. Junta del Acuerdo de Cartagena. JUNAC, 198442
- Sección 3.4 del Manual de diseño para Maderas
- Título G de la NSR 2010 (en particular en su sección G.11.2.1 – Secado de la NEC de madera) (MIDUVI, 2014, p. 43-45).

El manual detalla los distintos defectos que se debe tomar atención por parte el diseñador tales como los defectos relacionados al crecimiento y secado.

La madera estructural debe cumplir con una clasificación y verificación de las tolerancias permitidas. Según la Norma de Clasificación Visual por Defectos PADT-REFORT, la madera aserrada destinada al uso estructural se clasifica en función de sus defectos, considerando diversos criterios para garantizar su calidad y resistencia. Los defectos a considerar son los siguientes:

- Alabeo: Deformación de la madera que implica la curvatura de los ejes longitudinal, transversal o ambos. Se clasifica en: abarquillado, arqueadura, encorvadura y torcedura.
- Arista faltante
- Duramen quebradizo
- Escamadura o acebollado
- Fallas de compresión
- Grano inclinado
- Grieta
- Médula
- Nudos
- Parénquima
- Perforaciones por insectos
- Rajaduras

2.2.20.6 Propiedades físicas de las maderas

2.2.20.6.1 Densidad básica

Las maderas se clasifican según su densidad básica. La densidad básica se refiere a la relación entre la masa seca y el volumen de un elemento maderero. Además, es la característica que se utiliza como indicador para correlacionar la resistencia de la madera como se observa en la tabla 4, los grupos de madera A, B, y C tienen su densidad básica establecida.

Tabla 2-4. Clasificación de la madera a partir de la densidad básica (DB)

Clase de Madera	DB g/cm ³
• A	0.71 - 0.90
• B	0.56 - 0.70
• C	0.40 - 0.55

Fuente: (Norma Ecuatoriana de La Construcción. Estructuras de Madera, 2014, p.61)

2.2.20.7 Esfuerzos admisibles

El diseño estructural debe utilizar la información de esfuerzos permisibles definida en la normativa ecuatoriana de la construcción. La información proporcionada se aplica a la madera estructural, que se adhiere completamente a la norma de clasificación visual del capítulo 13 del Manual mencionado. La JUNAC divide la madera estructural en tres categorías: "A", "B" y "C". Se pueden incluir nuevas especies cuyas densidades básicas sean conocidas en los grupos estructurales adecuados. En la tabla 5 se tiene la clasificación de las maderas según los esfuerzos admisibles en base de la NEC.

Tabla 2-5. Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)

ESFUERZOS ADMISIBLES DE MADERAS (MPa)					
Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8

Fuente: NEC de estructuras de maderas (MIDUVI, 2014, p. 62).

2.2.20.7.1 Compresión perpendicular

Se produce cuando un elemento de madera se encuentra bajo una carga que le comprime o aplasta de manera perpendicular a las fibras (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1982).

2.2.20.7.2 Módulo de elasticidad (E)

Es una propiedad mecánica de los materiales que contribuye a la rigidez del elemento estructural. El $E_{promedio}$ o valor medio que se emplea en la planificación de componentes sometidos a una acción colectiva, como viguetas para entablados y pies derechos en tabiques y entramados para los grupos de madera A, B, y C se muestran en la tabla 6.

Tabla 2-6. Módulo de Elasticidad para Madera MPa

Grupo o Clase	$E_{promedio}$
A	13000
B	10000
C	9000

Fuente: NEC-SE-MD (MIDUVI, 2014, p. 63)

2.2.21 Marco Normativo para la construcción en Ecuador

La norma ecuatoriana para la construcción con guadua (NEC-SE-GUADÚA), elaborada por un equipo de trabajo bajo la dirección del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), se enmarca dentro de las regulaciones de diseño estructural. Esta norma establece los principios fundamentales para el dimensionamiento de estructuras sismorresistentes, proporcionando un conjunto de pautas y directrices que abarcan aspectos clave como el diseño, la construcción, la supervisión y el mantenimiento de edificaciones. Su propósito es garantizar la calidad del ambiente construido, beneficiando así a los usuarios (MIDUVI, 2016).

El vínculo con este trabajo se establece a partir de las pautas y directrices para el manejo de estructuras de bambú, que incluyen requisitos de calidad, fundamentos para el diseño estructural, y estrategias para la edificación con guadua. Esta conexión es relevante debido a las restricciones y esfuerzos permitidos que la norma establece, los cuales son aplicables a la estructura analizada. Además, la norma analiza los efectos de las cargas, que incluyen deformaciones, fuerzas y momentos. La norma determina que

el diseño de los componentes estructurales de bambú debe elaborarse considerando las cargas de servicio, empleando el método de esfuerzos admisibles (Ministerio de Desarrollo Urbana y Vivienda del Ecuador (NEC-SE- GUADÚA), 2016).

2.2.22 *Vivienda de interés social*

Los cambios sociales, productivos y económicos actuales han sido impulsados por procesos como la industrialización, modernización, globalización y explotación de los recursos naturales. Sin embargo, estos procesos han generado impactos negativos, especialmente en las poblaciones más vulnerables. En Latinoamérica, la sobreexplotación y el uso inadecuado de los recursos naturales han provocado desequilibrios ambientales, evidenciados en fenómenos climáticos adversos, como inundaciones, que han afectado a países con altos índices de pobreza, como Ecuador.

Ante esta problemática, surgen iniciativas que buscan mitigar los efectos del cambio climático a través del uso de materiales sostenibles en la construcción. Una de ellas es el Programa de Desarrollo Económico y Adaptación al Cambio Climático con Bambú, impulsado por la Red Internacional del Bambú y Ratán. Este programa promueve la mejora y optimización de las viviendas de interés social en países latinoamericanos, con especial atención en las comunidades costeras de Ecuador, donde el bambú es un recurso natural abundante y forma parte de la tradición y economía local (Cangás, 2014).

Las zonas costeras, al ser altamente vulnerables a los efectos del cambio climático, como inundaciones, pérdida de cultivos y deslizamientos de tierra, requieren soluciones constructivas que utilicen materiales locales y sostenibles. En este contexto, la presente investigación tiene como propósito analizar e incorporar las conexiones estructurales AVECE en proyectos de vivienda de interés social, tomando como referencia la propuesta generada por la Escuela Taller de Manabí. De esta manera, se busca contribuir al desarrollo de soluciones constructivas más eficientes y resilientes frente a los desafíos ambientales actuales adaptada para un entorno amazónico como es la ciudad de Tena.

2.2.22.1 La vivienda de interés social en Ecuador

En Ecuador, el sector de la construcción es activo, destacando por un crecimiento sostenido. Los elementos que han influido en el crecimiento son: disponibilidad de terrenos, no obstante, en Ecuador se registra un déficit de viviendas cercano a 750 mil unidades en el año 2013, según la Cámara de la Construcción de Quito.

Esta cifra comprende diversos niveles de mercado, situación de pobreza, capacidad de compra de cada individuo y la ausencia de políticas de vivienda que permitan un constante desarrollo y modificación acorde a las necesidades. No obstante, el segmento específico de la población al que se dirige todo su trabajo de venta y comercialización de viviendas ha cambiado. Considerando que, hasta hace poco, solo se ofrecían viviendas y departamentos asequibles para la mayoría de la población, debido a que no se podían adquirir ni con préstamos. Por otro lado, en la actualidad, el 70% de la oferta de viviendas se enfoca en proporcionar viviendas a grupos sociales que usualmente tienen un acceso limitado a recursos financieros, oportunidades y servicios básicos en comparación con otros.

Además, es importante mencionar que el sector de bienes raíces ofrece viviendas y departamentos, cuyo costo oscila entre USD 25.000 y USD 35.000. Igualmente, otros programas de vivienda de empresas de construcción y municipios ofrecerán alojamientos desde USD 12.000 hasta USD 20.000 (Cangás, 2014).

2.2.22.2 Condiciones mínimas de habitabilidad

La funcionalidad, seguridad, privacidad y posibilidad de ampliación de la vivienda en las viviendas rurales y en áreas marginales urbanas deben ser prioritarias, garantizando que el espacio disponible no sea inferior a 36 m^2 . Además, es fundamental que estas viviendas se encuentren cercanos a una unidad de salud y de servicios básicos necesarios, como el suministro de agua, el sistema de evacuación de aguas hervidas y de instalaciones eléctricas (Cangás, 2014).

En cuanto al tratamiento de aguas residuales, se optará por la instalación de un sistema biodigestor o pozo séptico reduciendo la contaminación el entorno. Si no se dispone de un suministro de agua, se considerará la elaboración de pozos como una solución alternativa (Cangás, 2014).

Aún más, para garantizar la inclusión de personas discapacitadas, las viviendas deben cumplir con la normativa de accesibilidad al medio físico, eliminando las barreras físicas según los lineamientos establecidos por el INEN y el CONADIS (Cangás, 2014).

2.2.23 Los sectores del país con mayor requerimiento de vivienda

2.2.23.1 Sector Rural-Agrario

El sector rural representa un 37% de la población total; de estos, el 67 % se dedica principalmente a la agricultura, según los datos del INEC. Provincias como Manabí, Guayas, Loja, Los Ríos y Esmeraldas poseen 7,3 millones de hectáreas destinadas a la actividad agrícola. Sin embargo, la región rural-agrícola presenta niveles de complejidad en el país con respecto a la vivienda. Esto ocurre debido a la ausencia de estímulos, procesos tecnológicos avanzados, apoyo técnico, y normativas que impulsen su producción y controlen el mercado. Todos estos elementos son algunos que inciden en este sector ecuatoriano.

Las familias rurales afirman que su nivel de ingresos está directamente relacionado con el nivel de producción y otros beneficios generados por actividades económicas, como el trabajo de "jornaleros" o la "venta de productos de la cosecha", como maíz, papa, cacao y arroz. En ocasiones, de estos ingresos se destinan fondos para cubrir los costos familiares básicos, aunque con menor frecuencia se reinvierte o ahorra en la actividad productiva. Este valor varía según la ubicación, tanto entre diferentes lugares como entre regiones (Cangás, 2014). Debido a esta situación cada vez se vuelve más complejo adquirir una vivienda propia en los sectores rurales más empobrecidos.

El organismo público del MIDUVI otorga prioridad a los grupos rurales que requieren un estímulo financiero para edificar o renovar su hogar. No obstante, las condiciones y

requisitos se tornan complicadas debido al desconocimiento, la informalidad, y la complejidad de administrar y gestionar las alternativas de beneficio crediticio e incentivos para la vivienda (Cangás, 2014).

2.2.23.2 Sector Microempresarial- Artesanal e informal

El 95% de las pequeñas, medianas y microempresas forman parte del conjunto empresarial y económico nacional. En este grupo, la mayor actividad productiva está centrada en los sectores agroindustrial, alimentos, bebidas y artesanal, según la opinión de la exministra de MIPRO. Además, el representante de la Junta Nacional de Defensa de Artesanos (JNDA) menciona que alrededor del 28% de la población económicamente activa (PEA) en Ecuador está compuesta por el sector artesanal, el cual podría aprovechar la versatilidad del bambú para la producción de artesanías (Cangás, 2014).

2.2.24 Déficit habitacional cuantitativo y cualitativo

2.2.24.1 Déficit habitacional cuantitativo y cualitativo en la Amazonía

El déficit habitacional cuantitativo se refiere a las viviendas que no cumplen con las características “mínimas de habitabilidad” en función de su estructura y el estado de los materiales predominantes. Estas viviendas son catalogadas como irrecuperables debido a su condición desfavorable para realizar una intervención, por lo que deben ser reemplazadas. El déficit habitacional cualitativo se refiere a las viviendas que no cumplen con los estándares de viviendas "aceptables". Estas viviendas son catalogadas como recuperables y deben ser sometidas a procesos de mejora o rehabilitación para cumplir con las condiciones adecuadas de habitabilidad (Gobierno de Napo, 2020).

En la figura 2-29 se muestra en déficit habitacional tanto para viviendas recuperables e irrecuperables por regiones en Ecuador. El déficit habitacional del Oriente en el 2020 fue de 541 459 viviendas recuperables situándose en tercer lugar en contraste con el déficit habitacional de las regiones Costa, Sierra y Galápagos. En donde es primordial

encontrar soluciones habitacionales con materiales locales y económicos de acuerdo a cada zona.

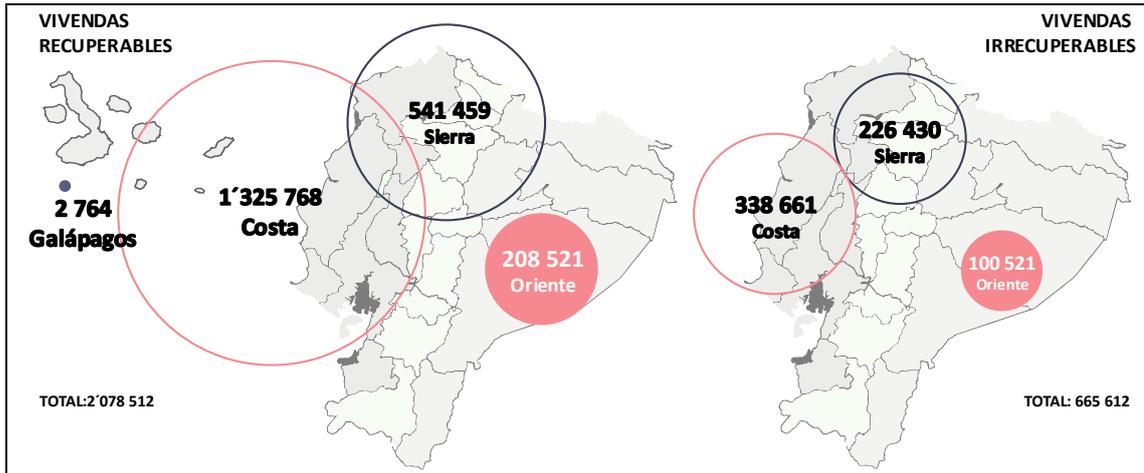


Figura 2-28. Déficit habitacional por regiones

Fuente: INEC – Encuesta Nacional de empleo, desempleo y subempleo – ENENDU, corte a diciembre de 2020.

2.2.24.1.1 Déficit habitacional cuantitativo y cualitativo en el Napo

El déficit habitacional cuantitativo, expresado como el porcentaje del total de viviendas, en Napo en el 2016 fue del 14,23% de viviendas irrecuperables. Este porcentaje superó ligeramente al promedio nacional que era de 12,3% como se puede observar en la Figura 2-29. En este contexto es necesario dirigir soluciones habitacionales enfocadas en cada provincia, por lo cual la presente investigación se enfoca en una propuesta de vivienda de interés social para la provincia de Napo y de forma particular en la ciudad de Tena.

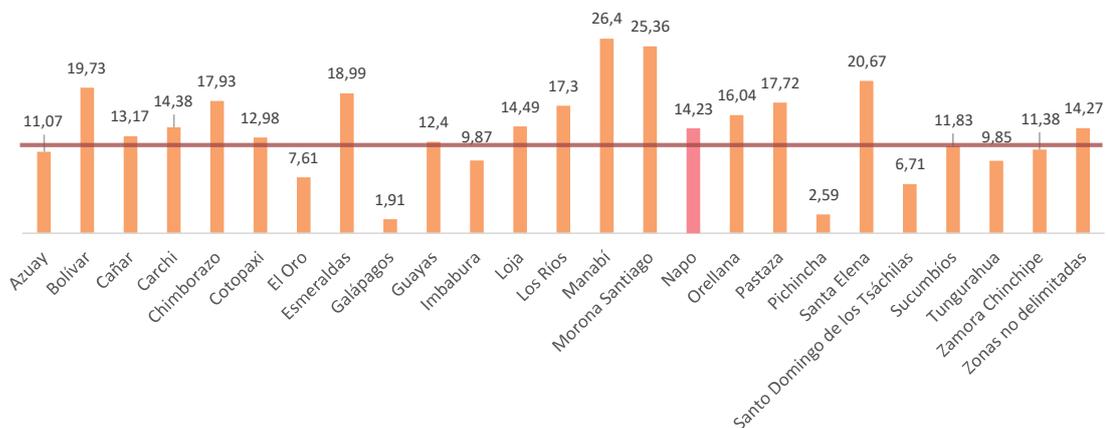


Figura 2-29. Déficit habitacional cuantitativo por provincia

Fuente: NEC-ENEMDU, 2009 – 2017, citado por Empresa Pública para Todos (2018).

2.2.24.2 Déficit habitacional cuantitativo y cualitativo en Tena

El mayor porcentaje de viviendas irrecuperables y que deben ser reemplazadas se localiza en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola que presenta el valor de 47%. Mientras que la ciudad de Tena tiene un valor ligeramente menor que los demás cantones de Napo, llegando a un porcentaje del 38,1 % este valor es menor que el promedio de 42,43 % de todos los cantones de Napo. El porcentaje de viviendas catalogadas como recuperables o irrecuperables en el año 2010 se localizaba principalmente en los cantones de Tena y Archidona, tal como se muestra en la Figura 2-31. En cuanto al déficit cualitativo de viviendas, el cantón Archidona tenía un valor alto del 28%. Por su parte, el cantón Tena registró un 22,2% de déficit habitacional cualitativo, ocupando el segundo lugar en la provincia de Napo en 2020, con un promedio provincial de 22,15%. En la figura 2-32 se visualiza el déficit habitacional por cantón en Napo.

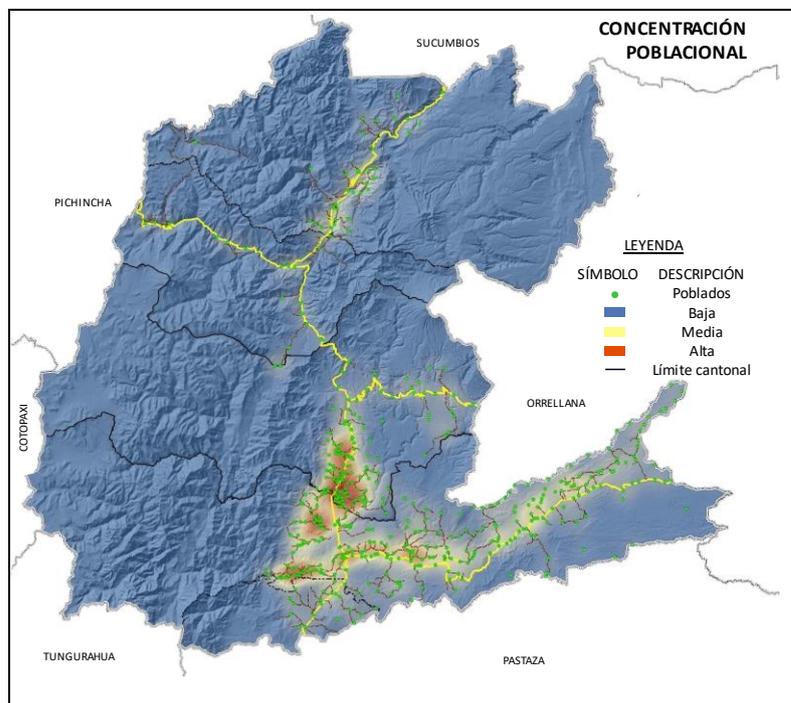


Figura 2-30. Concentración de la población en la provincia de Napo para el 2010

Fuente: INEC 2010, GADP NAPO 2019.

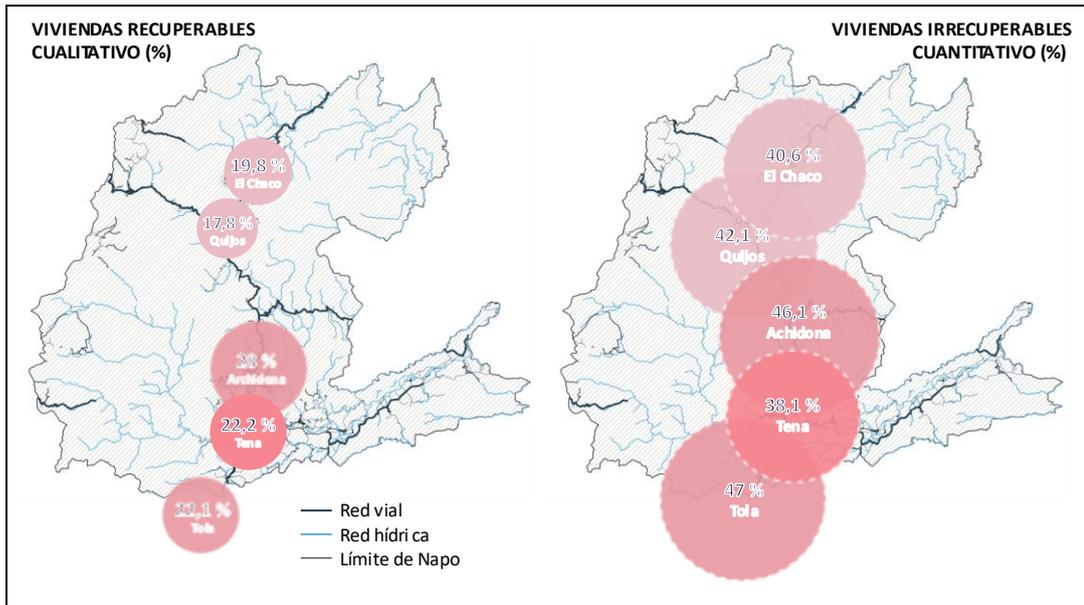


Figura 2-31. Déficit habitacional por cantón
Fuente: INEC 2010 citado en (Gobierno provincial de Napo, 2020)

2.3 Método de diseño de los elementos estructurales

En el método de esfuerzos admisibles, se comprueba que los esfuerzos admisibles de los materiales sean superiores a los esfuerzos generados por las cargas externas, incluyendo cargas sísmicas. Esto garantiza que los elementos estructurales puedan soportar las cargas sin riesgo de falla. La guadua al ser un material usado en la construcción, en la vida útil de la edificación debe resistir distintas cargas externas sin deformarse o romperse. En este enfoque, las uniones se consideran articuladas, lo que implica que no hay transmisión de momentos entre los elementos conectados, a menos que uno de los elementos sea continuo, en cuyo caso sí se produce transmisión de momentos en el elemento continuo (MIDUVI, 2016).

2.3.1 Esfuerzos admisibles

Para efectos de cálculo, los elementos de Gak se acogen a los esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad que se establecen a continuación en la Tabla 2-7 y Tabla 2-8 (MIDUVI, 2016).

Tabla 2-7. Esfuerzos admisibles (MPa), con contenido de humedad al 12 %

F_b Flexión	F_t Tracción Paralela	F_c Compresión Paralela	F_p Compresión Perpendicular	F_v Corte Paralelo
15	19	14	1.4	1.2

Nota: La compresión perpendicular fue calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento, y si no se rellena el entrenudo, el esfuerzo admisible (F_p) se reduce a $F_p/4$ (MIDUVI, 2016, p. 38, p.51).

2.3.2 Módulo de elasticidad

Para el análisis de elementos estructurales, se debe emplear $E_{0.5}$ como módulo de elasticidad de la Gak . Asimismo, es necesario emplear el módulo de elasticidad E_{min} para determinar los coeficientes de estabilidad de vigas (C_L) y columnas (C_p) (MIDUVI, 2016).

Tabla 2-8. Módulos de elasticidad del bambú, para un contenido de humedad al 12% (MPa)

Módulo percentil 50 ($E_{0.5}$)	Módulo percentil 5 ($E_{0.05}$)	Módulo mínimo (E_{min})
12 000	7 500	4 000

Fuente: (MIDUVI, 2016, p. 26).

2.3.3 Coeficientes de modificación

Para realizar el diseño estructural, es necesario multiplicar tanto el esfuerzo admisible de referencia de la Tabla 2-7 establecidos a partir de la NEC–SE–GUADÚA y los módulos de elasticidad de la Tabla 2-8 por los coeficientes de modificación relacionados. Esto implica que el esfuerzo admisible de la estructura está condicionado por los coeficientes de modificación (MIDUVI, 2016).

$$(Ec. 1) \quad F_i = C_D * C_m * C_t * C_L * C_F * C_r * C_c$$

Donde:

Símbolo Significado

- i Subíndice que depende del tipo de sollicitación (**b** para flexión, **t** para tracción paralela, **c** para compresión paralela, **p** para compresión perpendicular a las fibras, **v** para cortante paralela a las fibras)
- C_D Coeficiente de modificación por duración de carga
- C_m Coeficiente de modificación por contenido de humedad
- C_t Coeficiente de modificación por temperatura
- C_L Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas
- C_F Coeficiente de modificación por forma
- C_r Coeficiente de modificación por redistribución de cargas
- C_p Coeficiente de modificación por estabilidad de columnas
- C_c Coeficiente de modificación por cortante
- F_t Esfuerzo admisible de la sollicitación
- F'_t Esfuerzo admisible modificado para la sollicitación

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.28)

2.3.3.1 Coeficiente por duración de carga

Una carga generalmente dura 10 años por lo cual se considera como carga normal, pero existen estructuras que experimentan variaciones en la duración de carga, en este caso se debe multiplicar los valores de la Tabla 2-7 para los valores de la Tabla 2-9 según lo establecido en la NEC–SE–GUADÚA (2016).

Tabla 2-9. Coeficientes de modificación por duración de carga (C_D)

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.90	1.15	Construcción
Siete días	1.25	1.25	1.25	0.90	1.25	Construcción
Diez minutos	1.60	1.60	1.60	0.90	1.60	Viento y Sismo
Impacto	2.00	2.00	2.00	0.90	2.00	Impacto

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.29)

2.3.3.2 Coeficientes de modificación por contenido de humedad

Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad mostrados en la Tabla 2-7 y la Tabla 2-8 fueron calculados para un contenido de humedad de la Gak de CH=12%, según lo estipulado en la NEC-SE-GUADÚA (2016).

En el caso de que varíen las condiciones medioambientales en el sitio de construcción, provocan que varíe el contenido de humedad superando el 12%, por lo cual se deben ajustar los valores de la Tabla 2-7 y la Tabla 2-8 multiplicándolos por la Tabla 2-10 (MIDUVI, 2016, p.29).

Tabla 2-10. Coeficiente de modificación por contenido de humedad

ESFUERZOS		CH≤	CH=	CH=	CH=	CH=	CH=	CH=	CH≥
		12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%
Flexión	Fb	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	Ft	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión II	Fc	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión I	Fp	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	Fy	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Módulo de Elasticidad	E _{0.5}								
	E _{0.05}	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	E _{min}								

Nota: II: Paralela. I: Perpendicular (MIDUVI, 2016, p.29).

La Gak tiene la capacidad de ajustar su contenido de humedad en función del ambiente. Al secarse mecánicamente, su humedad puede bajar a menos del 12%. Sin embargo, si se construye en un lugar con alta humedad relativa y bajas temperaturas, la Gak puede absorber humedad del aire, aumentando su contenido de humedad y potencialmente causando problemas como deformaciones o moho en la estructura (MIDUVI, 2016).

En base a lo antes mencionado, es fundamental considerar la humedad de equilibrio del lugar donde se planea utilizar la Gak como material estructural. Por ello, se presenta a continuación la humedad de equilibrio correspondiente a Tena. Si se desea realizar

cálculos para otras localidades en la NEC-SE-GUADÚA, se puede consultar las humedades de equilibrio de otros cantones del Ecuador, las cuales se encuentran en el Apéndice 3 (MIDUVI, 2016, p.29).

Tabla 2-11. Media Anual de (HE) Humedad de equilibrio de la Madera del Cantón Tena

Localidad	Temperatura media anual °C	Humedad relativa promedio anual %	Humedad de equilibrio de la madera %
Tena	23,1	89,2	21,4

Fuente: Extraído de la tabla 16 apéndice 3 (MIDUVI, 2016, p. 89).

2.3.3.3 Coeficiente por temperatura (Ct)

Cuando los elementos de la Gak se expongan a elevadas temperaturas, los valores de esfuerzo admisible y módulo de elasticidad de la Tabla 2-7 y Tabla 2-8 deben ser multiplicados por los valores de la Tabla 2-12, de acuerdo a la condición de temperatura que estén expuestos (MIDUVI, 2016).

Tabla 2-12. Coeficientes de modificación por temperatura (Ct)

Esfuerzos		Condiciones de Servicio	Ct T≤37C	Ct 37C≤T≤52C	Ct 52C≤T≤65C
Flexión	Fb	Húmedo	1.0	0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
Tracción	Ft	Húmedo		0.85	0.80
		Seco		0.90	0.80
Compresión paralela	Fc	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Compresión perpendicular	Fp	Húmedo		0.80	0.50
		Seco		0.90	0.70
Corte	Fv	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Módulo de Elasticidad	E	Húmedo		0.80	0.80
		Seco		0.90	0.80

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.30)

2.3.3.4 Coeficiente por acción conjunta

Cuando exista una acción conjunta asegurada de cuatro o más elementos de igual rigidez, como por ejemplo en el caso de viguetas y pies derechos en entramados ($C_r=1.1$) los esfuerzos admisibles podrán incrementarse en un 10% con la condición de que la separación entre los elementos no sea superior a 0.6 m.

2.3.4 Diseño de elementos sometidos a flexión

El análisis a flexión se regirá por la deflexión admisible y se considerarán las resistencias a flexión, corte y aplastamiento. Para los elementos de GaK, es fundamental verificar que los esfuerzos se mantengan dentro de los límites admisibles. Además, los apoyos deben terminar en nudos para evitar fallos por aplastamiento; si esto no es posible, se requiere rellenar los entrenudos adyacentes a la carga con mortero (MIDUVI, 2016).

Área neta de la sección transversal del culmo

El área de la sección transversal será en base a la fórmula del círculo hueco:

(Ec. 2)

Donde:

$$A = \frac{\pi}{4} * ((D_e)^2 - (D_e - 2t)^2)$$

A Área neta de la sección transversal de la Guadúa, cm^2

D_e Diámetro exterior de la Guadúa, cm

t Espesor de la pared de la Guadúa, cm

Se tiene que acatar todos los parámetros de diseño, en especial las medidas de áreas y espesores de culmo.

2.3.4.1 Deflexiones

A continuación, se establecen los requisitos para las deflexiones admisibles para obtener la sección requerida y las deflexiones inmediatas y diferidas.

Mediante las fórmulas de la teoría elástica tradicional se deben calcular las deflexiones en elementos Gak, se debe considerar la deflexión producida por la flexión; de ser necesario se debe realizar la corrección del módulo de elasticidad (E) E0.05 por cortante.

Para calcular la deflexión en vigas simplemente apoyadas se utilizarán las fórmulas de la **Tabla 2-13** (MIDUVI, 2016).

Tabla 2-13. Fórmulas para el cálculo de deflexiones

CONDICIÓN DE CARGA	DEFLEXIÓN
Carga concentrada en el centro de la longitud.	$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$
Carga uniformemente distribuida	$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI}$

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.32)

En el caso de que se considere otras condiciones de carga se tienen que usar las fórmulas de la teoría de la elasticidad.

Inercias por demanda de diseño para control de deflexiones.

En el diseño estructural, específicamente en el diseño de vigas o columnas, se deben controlar las deflexiones o deformaciones que ocurran bajo la acción de las cargas. Para asegurar el buen comportamiento en la vida útil de la estructura y evitar problemas como vibraciones excesivas, fisuración en elementos no estructurales, etc.

Las inercias por demanda de diseño hacen referencia a que, en lugar de utilizar las inercias mínimas requeridas por norma, se puede optar por secciones con inercias mayores a las mínimas. Esto permite limitar las deflexiones del elemento y cumplir con los criterios de servicio establecidos, aun cuando las solicitaciones de diseño por resistencia no lo exijan. La inercia requerida se calcula en función de las cargas aplicadas, las condiciones de apoyo y los límites de deflexión admisibles.

$$I = \frac{5qL^4}{384E\Delta}$$

Donde:

- I** Inercia de la sección requerida para controlar la deflexión (mm⁴)
- q** Carga uniformemente distribuida actuante sobre el elemento (N/mm)
- L** Luz libre o longitud del elemento (mm)
- E** Módulo de elasticidad del material (MPa)

Δ_{adm} Deflexión máxima admisible (mm)

Las deflexiones admisibles están limitadas a los valores de Tabla 2-14, según lo establecido en la NEC-SE-GUADÚA (2016).

Tabla 2-14. Deflexiones admisibles δ (mm)

Condición de servicio	Cargas vivas (L/k)	Viento o Granizo (L/k)	Cargas totales (I/k)
Elementos de Techo / Cubiertas			
Cubiertas inclinadas			
Cielo raso de pañete o yeso	L/360	L/360	L/240
Otros cielos rasos	L/240	L/240	L/180
Sin cielo Raso	L/240	L/240	L/180
Techos Planos	NOTA 1	NOTA 1	L/300
Entre Pisos			
Elementos de entrepiso	L/360	-	L/240
Entrepisos rígidos	-	-	L/360

Fuente: Extraída de la tabla 12 (MIDUVI, 2016, p.33)

Las deflexiones para viguetas entramados, pies derechos, se calcularán con el módulo de elasticidad $E_{0.05}$ o el E_{min} .

2.3.4.2 Coeficiente de modificación por cortante

En lo que respecta al efecto cortante para los elementos que tengan una relación $I/De \leq 15$ (Inercia/Diámetro exterior), se realizará una corrección por cortante (C_c).

Tabla 2-15. Valores C_c

I/De	C_c
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.33)

En la Tabla 2-16, según la NEC-SE-GUADÚA (2016) se establecen las combinaciones de carga para el cálculo de las deflexiones inmediatas y las deflexiones diferidas a 30 años.

Tabla 2-16. Cargas w para cálculo de sección y deflexiones

Condición	$CH \leq 19\%$ $t \leq 37^\circ\text{C}$	$CH \geq 19\%$ $t \leq 37^\circ\text{C}$
	CLIMA CONSTANTE	CLIMA VARIABLE
Cálculo de sección (W)	2.0 D+L	2.0D+L (Ec. 3)
Deflexiones inmediatas (W_i)	D+L	D+L (Ec. 4)
Deflexiones diferidas (W_f)	2.8D+1.3L	3.8D+1.4L (Ec. 5)

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.34)

2.3.4.3 Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas

En el caso de vigas compuesta por dos o más culmos de Gak se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión (F_b) por el valor de C_L de la Tabla 2-27, según la NEC-SE-GUADÚA (2016).

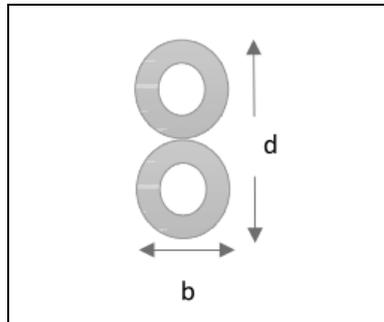


Figura 2-32. Ejemplo de Sección Compuesta

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.35).

Tabla 2-17. Coeficientes C_L para diferentes relaciones d/b

d/b	C_L
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.35).

2.3.5 Cortante

2.3.5.1 Esfuerzo cortante paralelo a las fibras

El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuantes (f_v) en una sección de Gak rolliza, no debe exceder el esfuerzo cortante en la dirección axial admisible (F'_v), ajustado por coeficientes específicos. La relación se expresa como:

(Ec. 6)

$$f_v = \frac{2V}{2A} \left(\frac{3D_e^2 - 6D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t} \right) \leq F'_v$$

Donde:

- f_v Esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante, MPa
- A Área de la sección transversal del elemento de Guadúa, mm²
- D_e Diámetro externo promedio de la sección de Guadúa rolliza, mm
- t Espesor promedio de la sección de Guadúa rolliza, mm
- F'_v Esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes que correspondan, MPa
- v Fuerza cortante en la sección considerada, N

2.3.6 Conectores en vigas de sección compuesta

Cuando se construye vigas con dos o más culmos de Gak, se tiene que asegurar la estabilidad mediante los conectores transversales, que aseguren el trabajo conjunto. El espaciamiento entre los conectores mostrados en la **Figura 2-33** deben estar justificados en el diseño estructural.

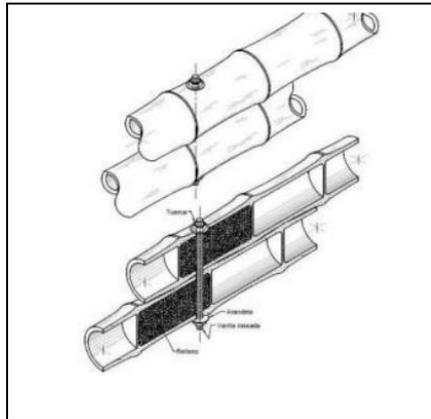


Figura 2-33. Detalle conectores secciones de culmos compuestos
Fuente: (MIDUVI, 2016, p.38).

Todos los canutos por los que se atraviese un conector en vigas de sección compuesta, deben estar rellenos con mortero de cemento, como se muestra en la **Figura 2-33**.

También, el primer elemento conector debe estar ubicado a una distancia igual a 50 mm, medidos desde la cara del apoyo.

2.3.7 Aplastamiento

Se debe verificar que los apoyos y zonas con cargas concentradas no excedan el esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras (f_p). Este esfuerzo no debe superar el esfuerzo admisible, que se ajusta mediante coeficientes de modificación según las condiciones del material.

(Ec. 7)
$$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2L} \leq F_p$$

Donde:

- F_p Esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes que correspondan, MPa
- f_p Esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, MPa
- D_e Diámetro externo promedio de la sección de GaK rolliza, mm
- t Espesor promedio de la sección de GaK rolliza, mm
- L Longitud de apoyo, mm
- R Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, N

2.3.8 Diseño de elementos solicitados por fuerza axial

Los elementos que son diseñados por fuerza axial son aquellos sometidos a cargas en la misma dirección que el eje longitudinal que pasa por el centroide de una sección transversal.

2.3.8.1 Elementos solicitados a compresión axial

2.3.8.2 Longitud efectiva

La longitud efectiva refleja la longitud teórica de una columna con articulaciones en sus extremos. La longitud efectiva se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

(Ec. 8)

Donde:

$$l_e = l_u k$$

l_u Longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm
 k Coeficiente de longitud efectiva, según las restricciones en los apoyos, ver tabla
Tabla 2-18
 l_e Longitud efectiva, en mm

Tabla 2-18. Coeficiente de longitud efectiva

Condición de los apoyos	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.1

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.40)

2.3.8.3 Esbeltez

En columnas conformadas por un culmo, la medida de esbeltez está dada por la fórmula:

(Ec. 9)

Donde:

$$\lambda = \frac{l_e}{r}$$

λ Relación esbeltez del elemento
 l_e Longitud efectiva del elemento, en mm
 r Radio de giro de la sección, en mm

El radio de giro de la sección conformada por un culmo es calculado con la fórmula:

$$(Ec. 10) \quad r = \frac{\sqrt{(D_e^2 - D_e - 2t)^2}}{4}$$

Donde:

- D_e Diámetro externo promedio de la sección de Gak rolliza, en mm
- t Espesor promedio de la sección de Gak rolliza, en mm
- r Radio de giro de la sección, en mm

2.3.8.4 Elementos constituidos por dos o más culmos

En el diseño de elementos de compresión formados por dos o más culmos, la esbeltez se calcula con la **(Ec. 9)**. Para ello, se debe determinar primero el radio de giro (r) utilizando la expresión presentada a continuación:

(Ec. 11)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

- I Inercia de la sección
- A Área neta de la sección transversal de Gak rolliza, en mm
- r Radio de giro de la sección, en mm

2.3.8.5 Clasificación de columnas

Las columnas de material rollizo (GaK) se clasifican según su relación de esbeltez en:

Tabla 2-19. Clasificación de columnas por esbeltez

Columna	Esbeltez
Corta	$\lambda < 30$
Intermedia	$30 < \lambda < Ck$
Larga	$Ck < \lambda < 150$

Fuente: (MIDUVI, 2016, p.42)

La esbeltez (C_k) marca el límite entre las columnas intermedias y largas, y se define mediante la siguiente fórmula:

(Ec. 12)

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$$

Donde:

F'_c Esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en MPa

$E_{0.05}$ Módulo de elasticidad percentil 5, en MPa

No es aceptable el uso de columnas con esbeltez superior a 150, ya que esto compromete la estabilidad y seguridad estructural (MIDUVI, 2016).

2.4 Marco metodológico

Este estudio se enfoca en la evaluación de la conexión estructural denominada AVECE que combina bambú y madera, para su aplicación en viviendas de interés social en Ecuador. Se contempla el uso del método de esfuerzos admisibles para el cálculo de elementos estructurales, así como la realización de ensayos experimentales para validar el desempeño de estos materiales sometidos a cargas perpendiculares.

La investigación es de tipo experimental y aplicada, buscando integrar teoría y práctica en campos como la resistencia de materiales, geometría, taller integral arquitectónico, estructuras, estática y dinámica.

- Selección del sitio y del prototipo de vivienda de interés social.
- Cuantificación de cargas actuantes de la vivienda de interés social.
- Evaluación de las secciones transversales (vigas secundarias, vigas principales, columnas).
- Ensayos de densidad básica para correlacionar las propiedades mecánicas de la madera Avío y Chuncho (resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión).
- Verificar que las piezas de las conexiones AVECE cumplen con las solicitaciones estructurales para ser usadas en la vivienda de interés social del caso de estudio.

2.5 Métodos y procedimiento

2.5.1 Selección del objeto de estudio

Se ha elegido una vivienda de interés social construida con caña guadua, desarrollada por la Escuela Taller de Manabí, para cuantificar las cargas mediante el método de cálculo de esfuerzos admisibles, en el contexto de los proyectos promovidos por el gobierno ecuatoriano a través del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

La vivienda tipo seleccionada tiene una superficie de 56 m² y está diseñada con un porche de entrada que proporciona un espacio previo al ingreso. Esta vivienda permite modificaciones para adaptarse a las necesidades de los propietarios, pudiendo configurarse con 2 o 3 dormitorios, además de contar con un baño compartido diseñado para garantizar la accesibilidad universal. La zona social integra la sala, el comedor y la cocina, y una zona de lavandería exterior, que incluye una piedra para lavar.



Figura 2-34. Vivienda de interés social propuesto por los especialistas de la Escuela Taller de Manabí - Ecuador

Fuente: (INBAR LAC, 2022)

El diseño de la cubierta a un agua, aunque en forma de ventolera de latilla de caña, facilita el desalojo del agua y conserva el confort térmico en el interior de la casa. El

revestimiento de la ventana superior (ventolera) en la Costa y en la Amazonía es totalmente de malla antimosquitos.

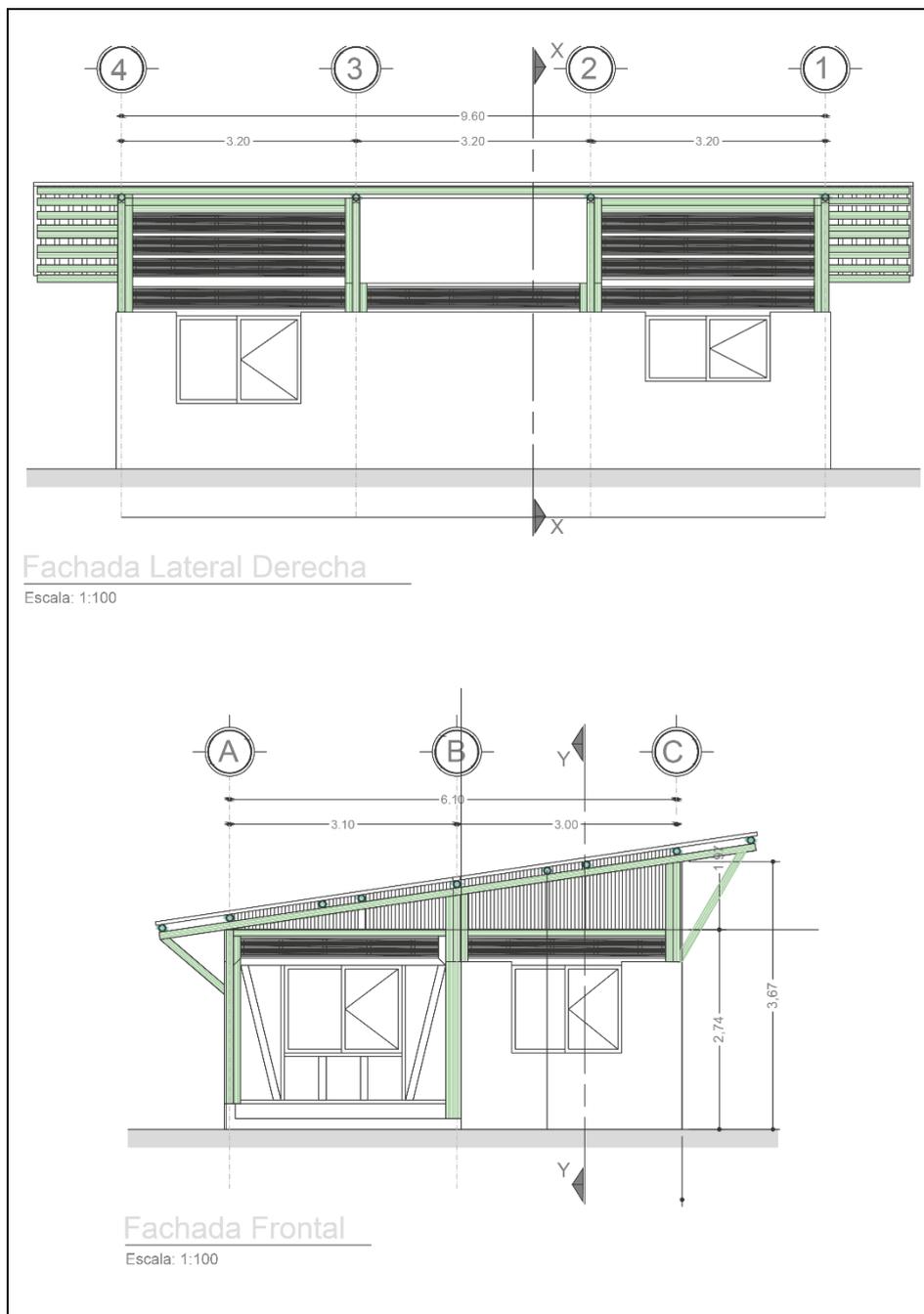
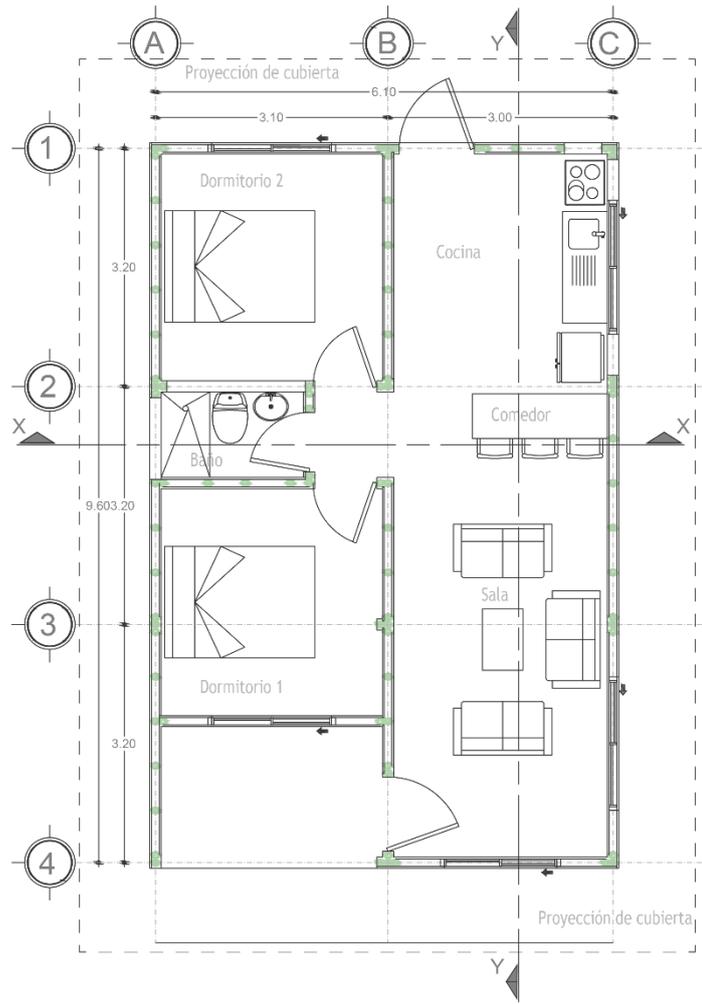


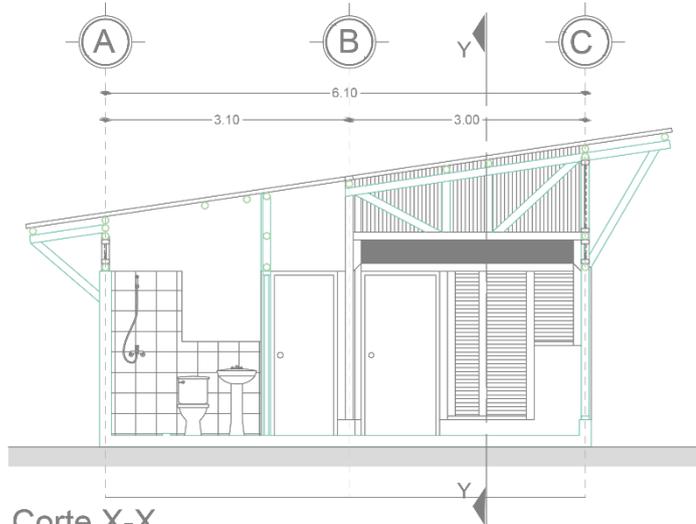
Figura 2-35. Fachada Lateral Derecha y Fachada Frontal del Prototipo de Vivienda

Fuente:(INBAR, Escuela Taller Construcciones Sostenibles con Bambú Manabí, AECID, MIDUVI, 2022).



Planta Arquitectónica

Escala: 1:100



Corte X-X

Escala: 1:100

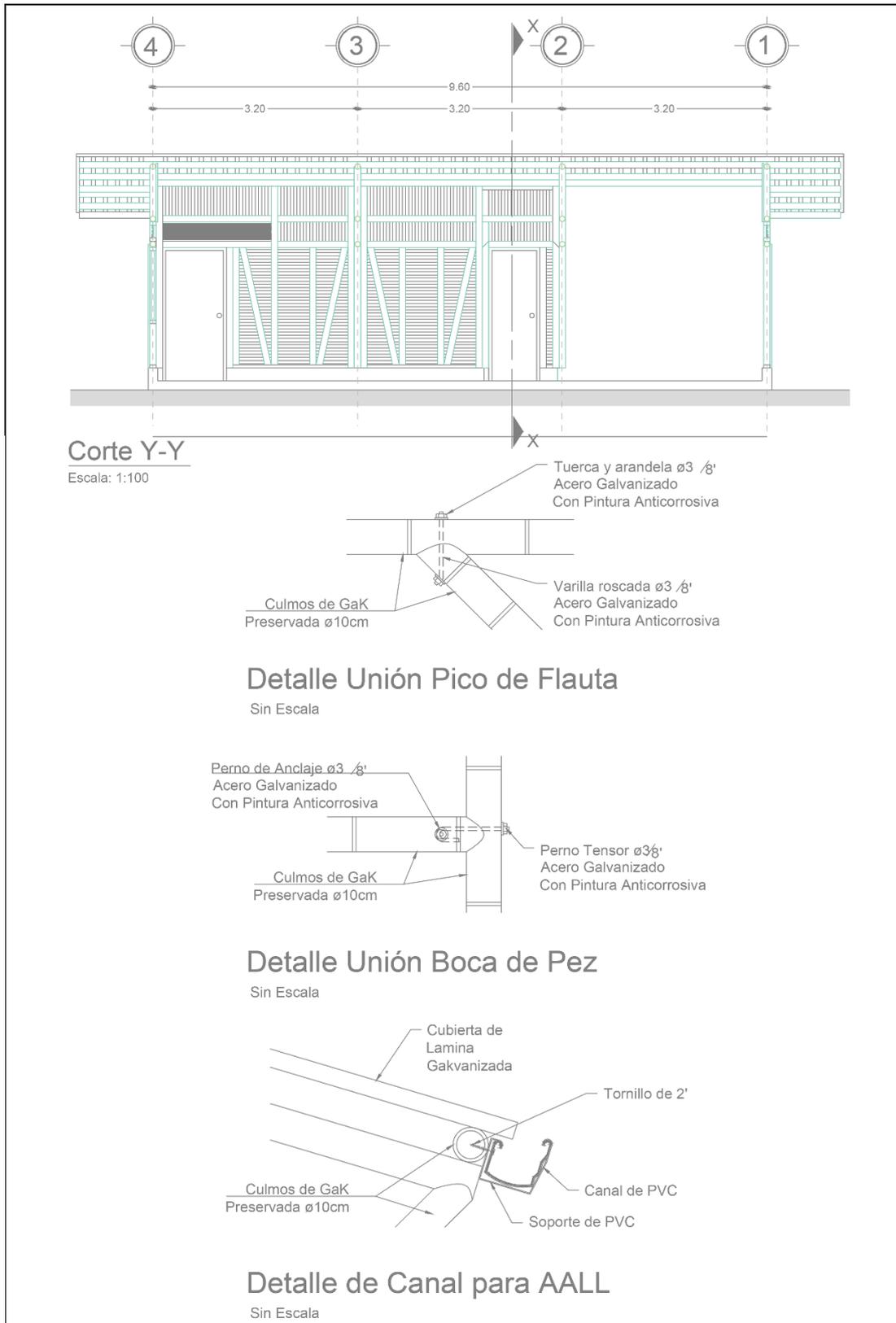


Figura 2-36. Planta arquitectónica, Sección X-X; Y-Y y detalles del Prototipo de Vivienda
Fuente: (INBAR, Escuela Taller Construcciones Sostenibles con Bambú Manabí, AECID, MIDUVI, 2022)

2.5.2 Selección del sitio

2.5.3 Ubicación hipotética propuesta del objeto de estudio

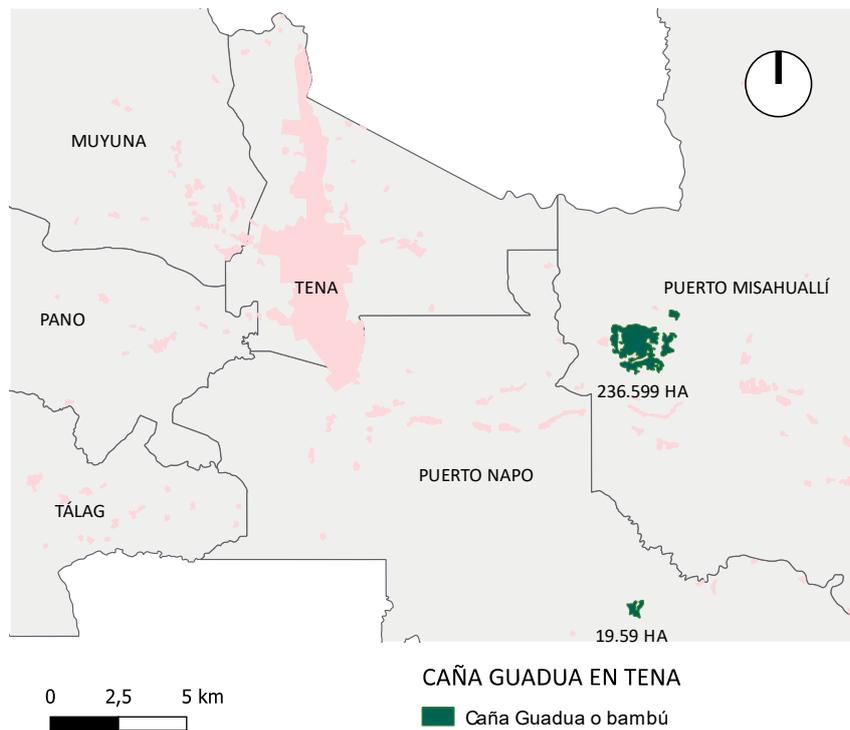


Figura 2-37. Guadua Angustifolia en la ciudad de Tena
Fuente: GAD MUNICIPAL TENA, 2018

Se propone su implementación en un área periurbana cercana a la ciudad del Tena para efectos el cálculo y estudio de las secciones de los componentes estructurales (vigas principales, vigas secundarias y columnas) debido a que la provincia de Napo es la más pobre del Ecuador, con índice de pobreza por ingreso con 73.5% y pobreza multidimensional con 87 %, según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023). Además, la universidad tiene un compromiso de poder atender a los territorios cercanos y vulnerables.

En este contexto, el uso del bambú no solo representa una alternativa sostenible para la construcción, sino que también tiene el potencial de generar empleo y dinamizar la economía local. Al fomentar su uso en la industria de la construcción, se evita la salida de divisas y se impulsa el desarrollo de la comunidad, ya que este material puede obtenerse directamente en la zona sin necesidad de importaciones. Además, se ha analizado estudios previos sobre las características físico-mecánicas de la guadua en

distintas regiones del país, como Manabí entre otros sitios de la Costa, Quito y Pichincha. Sin embargo, hasta ahora no se ha realizado una caracterización específica para el Tena, en la provincia de Napo. Esto representa una oportunidad para ampliar el conocimiento y adaptar el uso del bambú a las condiciones propias de la Amazonía.

Otro aspecto relevante es el clima. La temperatura y la humedad en esta región podrían ser factores desfavorables para la construcción con bambú, pero es necesario profundizar en este análisis. El propósito es plantear un escenario más complejo, considerando las particularidades ambientales del Tena y explorando el verdadero potencial del bambú como material constructivo y motor de desarrollo económico para la zona, especialmente en un contexto donde, según el INEC (2023), las tasas de empleo adecuado aún son bajas en varias provincias amazónicas.

2.5.3.1 Contextualización del sitio hipotético de implantación

Se hizo un breve análisis de las condiciones climáticas y contexto rural urbano.

2.5.3.2 Ubicación

Para efectos de cálculo se propone como ubicación en la ciudad de Tena.



Figura 2-38. Ubicación del sitio

Nota: El sitio está ubicado en una zona periurbana de la ciudad de Tena, colindando con la parroquia San Juan de Muyuna.

2.5.3.3 Características climáticas del sitio de estudio

El sector de estudio en Muyuna cuenta con un clima tropical lluvioso en las partes bajas con temperaturas medias anuales de 24°C. El clima de la parroquia se caracteriza por la presencia de lluvias a lo largo de todo el año (ADM Tena, 2019).

Tabla 2-20. Principales parámetros climáticos de la Parroquia Muyuna

Variable	Descripción
Pisos climáticos	Paramo Lluvioso, Tropical semihúmedo y húmedo
Precipitación	2.500 a 4.000 mm
Altitud	Altura 520 a 2.440 msnm
Temperatura	24°C
Humedad	80 - 90 %

Fuente: INHAMI.

- **Temperatura**

El análisis de registros climatológicos en la estación Tena revela que la temperatura promedio mensual es de 24 °C (+/- 0,38). Con picos de 28 °C en diciembre y enero, y mínimas de 9 °C. Junio y julio son los meses más fríos, con una media de 24,4 °C. La temperatura media anual es de 25 °C, manteniendo un clima templado durante todo el año.

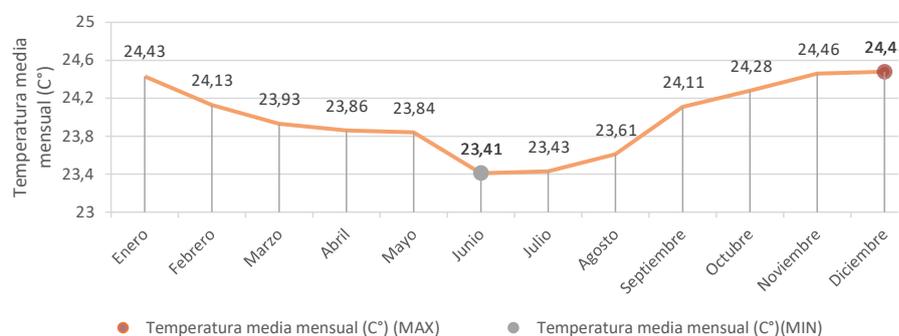


Figura 2-39. Temperatura media mensual histórica de la estación Tena (°C)
 Nota: La temperatura promedio anual es de 24,1 °C, con octubre y diciembre como los meses más cálidos y julio el más frío, con una variación de menos de 2 °C. (GADM Tena, 2019, p. 114).

- **Precipitaciones**

Las máximas precipitaciones en Tena se registran en mayo, junio y julio, destacando junio con un promedio de 462,8 mm. El promedio mensual de precipitación en el antiguo aeropuerto es de 275 mm, mientras que diciembre, enero y febrero presentan lluvias escasas, siendo febrero el mes más seco con 219 mm (GADM Tena, 2019, p. 114).

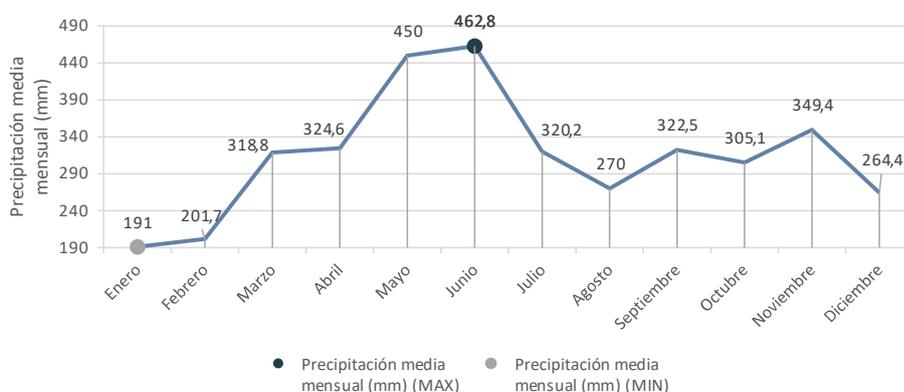


Figura 2-40. Precipitación media mensual en la estación Tena (mm)

Nota: El promedio mensual, en la estación del antiguo aeropuerto del Tena, es de 275 mm (Período de estudio: 1991 a 2005) (GADM Tena, 2019, p. 111).

- **Humedad relativa**

La ciudad de Tena es una zona húmeda donde presenta una humedad relativa media mensual de 89,15% (+/- 0.82). Los meses marzo y junio registran elevada humedad, cuya cifra media es de 90,27% de humedad, en contraste con los meses de septiembre y octubre, cuya cifra medio es de 87,73% de humedad.

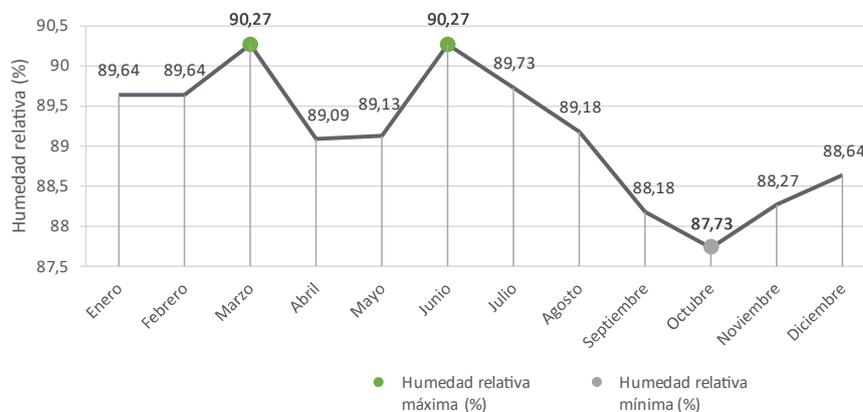


Figura 2-41. Humedad Relativa en la estación Tena (%)

Fuente: GADM-Tena, 2015(GADM Tena, 2019, p. 116).

2.5.3.4 Contexto rural

La zona rural de la parroquia Muyuna predomina, con un 44% de áreas consolidadas en las periferias, un 31% de asentamientos dispersos y un 24.2% de hogares agrupados en manzanas rurales. Las comunidades Kichwas, que representan el 92.5% de la población, se establecen alrededor de los principales ríos. Las 22 comunidades sostienen un modo de vida comunitario amazónico, en el que la plaza principal y el campo son lugares esenciales para encuentros y bendiciones. Su paisaje se distingue por viviendas de madera, espacios centrales y fincas pequeñas con variados cultivos, proporcionando una singular identidad visual, distintiva de los contextos urbanos y agrícolas actuales (Vásconez, 2021).

2.5.3.5 Contexto urbano

La parroquia Muyuna, situada a 5.7 km de Tena, está experimentando un crecimiento debido a la migración y el aumento poblacional, destacándose por su biodiversidad y paisajes fluviales. La inclusión de comunidades originarias en este desarrollo presenta desafíos, ya que, a menudo, son consideradas marginales. Para proteger su identidad cultural, es vital establecer mecanismos de integración que respeten sus valores (Vásconez, 2021). La construcción de viviendas de interés social con bambú y elementos de madera ofrece una solución sostenible que aborda la necesidad de atención habitacional, que es del 22,2%. Además, estas viviendas respetan la tradición local y se adaptan al entorno rural-urbano, promoviendo un desarrollo armonioso, la cohesión social y la inclusión de estas comunidades.

2.5.4 *Análisis de cargas actuantes en el prototipo de vivienda de interés social.*

El presente documento tiene como objetivo específico calcular las cargas actuantes de un prototipo de vivienda de interés social desarrollado por la Escuela Taller de Manabí. Este análisis considera dos categorías principales de carga: cargas permanentes y cargas variables.

2.5.4.1 Cargas Permanentes (Cargas Muertas)

Las cargas permanentes, también conocidas como cargas muertas, son aquellas que representan el peso de todos los elementos que conforman la edificación y que permanecen inalterados a lo largo del tiempo. Además, las cargas permanentes que soportan las vigas secundarias del prototipo se expresan como cargas uniformemente distribuidas.

Para determinar el peso total P de los elementos que actúan sobre la estructura, se aplica la siguiente fórmula:

(Ec. 13)

Donde:

$$P = \gamma * V$$

P	Peso total, kgf
γ	Peso específico del material, kgf/m ³
V	Volumen, m ³

A continuación, se describe la fórmula para calcular la carga uniformemente distribuida por unidad de superficie actuante sobre la estructura:

(Ec. 14)

Donde:

$$CUDS = \frac{P}{A}$$

$CUDS$	Carga uniformemente distribuida por unidad de superficie, kgf/m ²
P	Peso total, kgf
A	Área sobre la cual se distribuye la carga, m ²

2.5.5 Procedimiento

La carga permanente (CM) que soportan las vigas secundarias de la vivienda de interés social del caso de estudio incluye el peso de la cubierta metálica, las instalaciones (eléctricas y canal para aguas lluvias) y la pintura.

Para el cálculo de la carga de las instalaciones se procedió a cuantificar el peso de todos los elementos colocados sobre la cubierta.

Tabla 2-21. Pesos (*P*) de instalaciones (eléctricas y canal de aguas lluvias), kgf

Instalaciones	Unidad	Cantidad	Peso unitario	Peso total
Descripción			kgf	kgf
Cajetines pvc Octogonales	U	8	0.06	0.48
Cajetines pvc rectangulares	U	7	0.05	0.35
Interruptor simple	U	4	0.05	0.2
Interruptor doble	U	3	0.06	0.18
Tubo Conduit Pesada 1/2"	m	69.71	0.083	5.81
Circuito de iluminación cable #14	m	143.12	0.372	53.24
Peso canal aguas lluvias	m	7.98	1.1	8.778

Nota: Ver anexo de planta de instalaciones eléctricas.

Posterior a ello se calcula la carga uniformemente distribuida de las instalaciones detalladas en la **Tabla 2-21**.

Tabla 2-22. Carga uniformemente distribuida de instalaciones (eléctricas y canal de aguas lluvias)

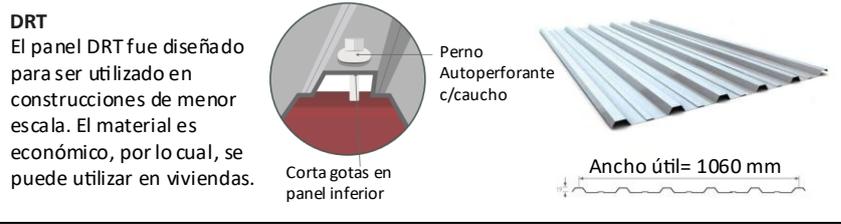
Peso total de instalaciones	Área de la cubierta del prototipo	CUDS instalaciones	Ecuación
kgf	m ²	kgf/m ²	(Ec. 14)
69.04	43.65	1.6	

Para el cálculo de la carga que recibe la viga principal, tomando como referencia los planos, las vigas secundarias se encuentran 1 metro lineal de culmo por m² por lo cual se cuantifico el peso de un culmo en un metro lineal.

Tabla 2-23. Peso de un culmo en una unidad de longitud y una unidad de superficie

Diámetro	Espesor	Área	Peso específico	Peso de un culmo de metro lineal	Peso del culmo en una unidad	Ecuación
m	m	m ²	Kgf/m ³	Kgf/m	Kgf/m ²	(Ec. 13)
0.12	0.02	6.283x10 ⁻³	900	5.65	12.84	

En el caso de panel galvanizado DRT y la pintura se obtiene a partir de su ficha técnica.



Especificaciones técnicas DRT

Ancho útil	1060				
Altura de onda (mm)	19				
Espesores (mm)	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6
Separación entre apoyos (m)	0.99	1.27	1.53	1.81	2.25
Peso (Kgf/m ²)	2.97	3.43	3.88	4.33	5.23

Figura 2-42. Cubierta metálica DRT

Nota: Selección del panel con un ancho útil 1060 mm y 0.35 mm de espesor que tiene un peso de 2.97 kg/m² (Novacero, 2024)

2.5.6 **Resultados de la cuantificación de las cargas actuantes en la vivienda de interés social**

La cubierta metálica DRT, de espesor 0.35 mm tiene un peso de 2.97 kg/m² como consta en la **Figura 2-42** extraída del Catálogo de Novacero. Adicionalmente, se consideró un peso de instalaciones (eléctricas y canal de aguas lluvias) de 1.6 kg/m². Por último, la pintura Acripol esmalte brillo + catalizador, cuyo peso es de 0.14 kg/m² según la ficha técnica del catálogo de Monto Pinturas (PINTURAS, 2012).

Tabla 2-24. Cargas muertas para vigas secundarias

CARGAS MUERTAS			
Zn	2.97	Kgf/m ²	Zinc
P	0.14	Kgf/m ²	Pintura
Ins	1.6	Kgf/m ²	Instalaciones
Peso propio Vigas	12.84	Kgf/m ²	Peso propio de la viga secundaria
CARGA M adc	17.76876296	Kgf/m ²	Carga muerta total

2.5.6.1 Cargas Vivas

Las cargas vivas, son aquellas que dependen de la función y ocupación de la edificación. Incluyen el peso de las personas, mobiliario y equipos temporales. Las sobrecargas mínimas a considerar se indican en el apéndice 4.2 de la norma (NEC-SE-CG, 2015) y se presentan en términos de carga uniformemente distribuida por unidad de superficie.

La norma NEC-SE-CG establece criterios específicos para el diseño y cálculo de cargas en estructuras. En particular, en la tabla 9 de la norma, se indican valores de carga asignados para diferentes ocupaciones y tipos de techos, ya sean cubiertas planas, inclinadas o curvas. Específicamente se estipula que, para una cubierta plana, inclinada o curva el valor es de 0.70 kN/m^2 .

Tabla 2-25. Valores de cargas uniforme en base a los usos u ocupación para cubiertas

Ocupación o Uso	Carga Uniforme (kN/m ²)
Cubiertas	
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80

En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000 m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza

Fuente: (MIDUVI, 2015, p. 27)

2.5.7 Evaluación de las secciones transversales de las vigas secundarias de la vivienda de interés social.

A partir de los planos del prototipo, se realiza la evaluación de las secciones transversales de las vigas secundarias mediante el método de esfuerzos admisibles (ASD), conforme a lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción de Estructuras de Guadúa NEC-SE-GUADÚA, (2016). Se revisa que los esfuerzos actuantes generadas por las cargas externas no superen los esfuerzos resistentes del material y se revisa que las deformaciones generadas por las cargas externas no sobrepasen los límites permisibles.

- ***Proceso de Evaluación de Secciones Transversales de Vigas Secundarias (culmos):***

Verificación de Secciones:

Se evalúan las secciones de las vigas secundarias, verificando que cumplan con las dimensiones adecuadas, específicamente se verifica diámetro exterior y espesores, así como la separación entre vigas para que no sobrepasan la resistencia del material bajo las cargas cuantificadas.

Se realizan chequeos de deflexiones para asegurar que se mantengan dentro de los límites aceptables estipulados por la norma NEC-SE-GUADÚA, (2016).

Ajuste de Secciones:

En caso de no cumplir con los requisitos de resistencia y deformación, se evalúan diferentes secciones de vigas secundarias, así como nuevas separaciones de entre vigas, hasta alcanzar que el esfuerzo resistente del material sea mayor al esfuerzo actuante y las deformaciones permisibles sean mayores a las generadas por las cargas externas.

2.5.8 *Evaluación de las secciones transversales de las vigas principales del prototipo de vivienda de interés social.*

Cuantificación de Cargas: Se realiza una cuantificación de las cargas que actuarán sobre las vigas principales.

Verificación de Secciones:

Se evalúan las secciones transversales de las vigas principales para verificar que cumplen con las dimensiones pertinentes (diámetro y espesores) con el método de esfuerzos admisibles a partir de lo estipulado en la NEC-SE-GUADÚA (2016).

Ajuste de Secciones: Si las vigas principales no cumplen con los requerimientos estructurales, se explorarán alternativas de secciones transversales y número de culmos hasta encontrar la solución adecuada.

2.5.9 Evaluación de las secciones transversales de las columnas del prototipo de vivienda de interés social

Finalmente, en función de las secciones de las vigas principales que cumplen con los requisitos estructurales, se procede a dimensionar las columnas:

Selección de Secciones: Se determina la sección de las columnas asegurándose de que cumplan con los requerimientos estructurales correspondientes a la NEC-SE-GUADÚA (2016).

2.6 Ensayos de materiales para las piezas de madera de la conexión AVECE

2.6.1 Metodología para Determinar la Densidad Básica y Propiedades

Mecánicas de Madera Clase A

En la región del Tena, se encuentran varias variedades de madera que son de uso común en la construcción, entre ellas el Avío y el Chunchu. Se está llevando a cabo un estudio para evaluar si estas maderas tienen las propiedades mecánicas necesarias para ser utilizadas en las conexiones AVECE. Como parte de este estudio, se determinó la densidad básica de las maderas Avío y Chunchu. Este dato de densidad se correlacionará con diversas propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión. El propósito es clasificar estas maderas en un grupo estructural que cumpla con los requisitos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción de Estructuras con Madera.

Dicha norma menciona que en el Manual de Diseño de la JUNAC (1984) “constan tres grupos para madera estructural “A”, “B” y “C”. Nuevas especies de madera cuyas densidades básicas se conozcan, se pueden incluir en uno de los grupos estructurales que corresponda” (MIDUVI, 2014, p. 62).

2.6.1.1 Densidad básica de la madera Avío y Chuncho

La densidad básica relacionada al Avío y el Chuncho se determinó mediante el método gravimétrico que abarca el secado controlado de una muestra, con la finalidad de obtener su masa seca en condiciones estándar y eliminar la interferencia de la humedad por medio del laboratorio de biomasa de la URAI.

2.6.1.1.1 Materiales y equipos

- Balanza de precisión (0.001 g)
- Horno de secado a 103 °C
- Probeta de muestra
- Calibrador digital de precisión (0.01 mm)



Figura 2-43. Balanza de precisión (0,001 g)

2.6.1.2 Procedimiento para la obtención de la densidad básica

Preparación de la muestra

Para este ensayo se emplearon 10 muestras de la especie maderable Avío y 10 muestras de la especie maderable Chuncho. Las muestras se recolectaron en un aserradero

situado en la parroquia Muyuna, conocido por su enfoque en la sostenibilidad y la calidad de sus productos maderables, dicho lugar se muestra en la **Figura 2-44**.



Figura 2-44. Localización del aserradero situado en la parroquia Muyuna.

Estas muestras constan de 50 mm de ancho, 50 mm de espesor por 100 mm de longitud como se muestra en la **Figura 2-45**.

Las probetas pueden variar un poco en sus dimensiones debido a las herramientas utilizadas para su fabricación o también a la mano de obra empleada, ya que puede fluctuar de una a otra. No obstante, este cambio en las dimensiones no influye de manera significativa en el volumen obtenido.

Se obtienen las muestras para obtener la masa de cada probeta mediante una balanza con exactitud de 0.001 g.

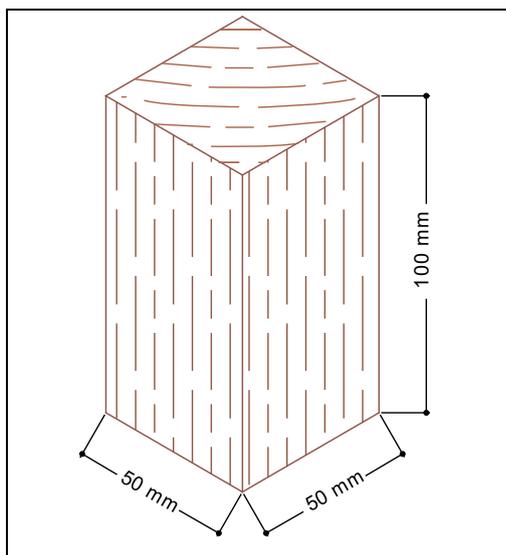


Figura 2-45. Dimensiones de probetas para ensayo de DB y CH.

Secado inicial de la muestra

En el periodo inicial se ingresa la probeta en un horno de secado a 103 °C de temperatura.

Enfriamiento y protección contra la humedad ambiental

Después de 24 horas se saca del horno, buscando evitar la ganancia de la humedad del medio ambiente se deposita en un recipiente desecador.

Pesado y monitoreo de la masa

Luego, la masa se pesa en la balanza. Se introduce nuevamente al horno manteniendo la misma temperatura. Cada 2 horas se anota el peso de la masa, hasta que se logre una diferencia entre 2 pesos seguidas que sea inferior a 0.01 g, ello sucede cuando la probeta se halla en estado anhidrido.

Determinación de la densidad básica

- Una vez lograda la condición anhidra, se anota la masa final de la muestra. Para determinar la densidad básica, también es imprescindible determinar el volumen de la muestra.

- EL volumen se calcula mediante las dimensiones de la muestra para ello se usó un calibrador de 0.01 mm de precisión.
- La densidad básica se cuantifica conforme a la siguiente ecuación:

$$DB = \frac{MS}{V}$$

DB Densidad básica
MS Masa de la probeta después del secado
V Volumen de la probeta

Tabla 2-26. Densidades básicas del Chuncho y del Avío

Código	Lado A	Lado B	Lado C	Volumen	Peso húmedo	Peso seco	DB
Chuncho	mm	mm	mm	cm ³	gr	gr	g/cm ³
CH1	51.25	51.34	102.05	268.51	178	149.73	0.558
CH1	51.35	51.81	102.08	271.58	185	155.34	0.572
CH3	51.46	51.75	101.83	271.18	184.16	154.57	0.570
CH4	51.62	51.58	102.2	272.11	187	156.98	0.577
CH5	51.51	51.41	100.54	266.24	185	154.74	0.581
CH6	51.44	51.63	102.17	271.35	177	147.65	0.544
CH7	51.58	51.37	101.94	270.11	175	147.04	0.544
CH8	51.85	51.44	102.24	272.69	179	149.84	0.549
CH9	51.82	51.33	102.17	271.76	175.99	147.47	0.543
CH10	51.42	51.78	102.2	272.11	177	148.57	0.546
Promedio							0.558
Avío	mm	mm	mm	cm ³	gr	gr	g/cm ³
AV1	52.08	51.47	102.35	274.36	248	198.82	0.725
AV2	51.96	51.6	102.25	274.15	243	195.31	0.712
AV3	51.54	52.17	102.38	275.28	248	198.94	0.723
AV4	51.72	52.6	102.4	278.58	246	195.88	0.703
AV5	51.93	51.54	102.36	273.96	245.57	196.05	0.716
AV6	51.57	51.79	102.28	273.17	252	199.08	0.729
AV7	51.71	51.67	102.38	273.54	250	198.57	0.726
AV8	51.62	52.4	102.26	276.60	250	199.26	0.720
AV9	52.61	51.85	101.59	277.12	242.36	211.02	0.761
AV10	51.32	50.71	100.37	261.21	236.07	206.08	0.789
Promedio							0.730

2.6.2 Evaluación de la Conexión AVECE en la Vivienda de Interés Social

El propósito es verificar que los elementos de las conexiones AVECE cumplen con los requisitos estructurales necesarios para su aplicación en el prototipo de vivienda de interés social. Para ello, se llevó a cabo una comparación entre las resistencias de la madera de clase A y los datos experimentales obtenidos de vigas de guadúa, así como aquellos relacionados con la compresión paralela según la norma (NEC-SE-GUADÚA, 2016) para las columnas de guadúa. Esta comparación permitirá evaluar la idoneidad de las conexiones en función de los estándares establecidos.

2.6.3 Pruebas en vigas secundarias

Los ensayos se realizaron de acuerdo con los principios de física, mecánica de materiales, estática y estructuras, empleando metodologías utilizadas en experimentos llevados a cabo en países como Colombia, Estados Unidos y en Balí. Es relevante mencionar el trabajo de Fúquene Giraldo, (2019) quien condujo ensayos en campo que respaldan este enfoque. Esto es especialmente relevante, dado que las normas presentan valores fluctuantes.

Como parte significativa de la investigación y paso para dar cumplimiento al segundo objetivo específico se evalúa la sección transversal en vigas secundarias a escala 1:1. Para lo cual, se llevó a cabo 7 ensayos en las que se analizó el comportamiento de la viga secundaria de Guadúa Angustifolia Kunth al estar sometido a cargas puntuales perpendiculares, con el uso de la prueba de cuatro puntos. Este experimento consiste en establecer dos puntos de apoyo y aplicar dos puntos de carga a lo largo de la longitud de la viga como se muestra en la **Figura 2-46**. Las vigas secundarias, simplemente apoyadas sobre elementos conectores AVECE, fueron objeto de estudio para determinar su desempeño estructural.

Además, se buscaba determinar cuál de los componentes, ya fuera el elemento conector de madera clase A o la viga de Gak, fallaría primero bajo condiciones de carga. Estos ensayos proporcionaron datos de resistencia de los elementos conectores AVECE.

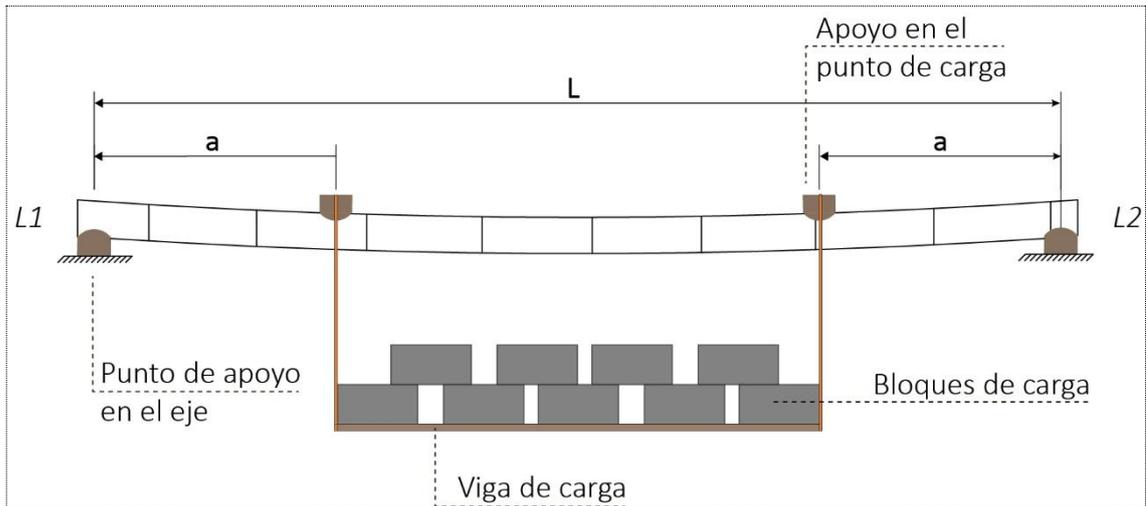


Figura 2-46. Esquema general de la prueba de cuatro puntos

2.6.3.1 Toma de muestras

El material utilizado para el estudio proveniente de un bosque de *Guadúa angustifolia* Kunth, ubicado en el sector Ponce Loma de la parroquia Puerto Misahuallí en el kilómetro 2 vía Yanaurku, fue facilitado por centro de preservado de bambú de la Asociación de producción forestal de Bambú Acero Vegetal (RAYU).

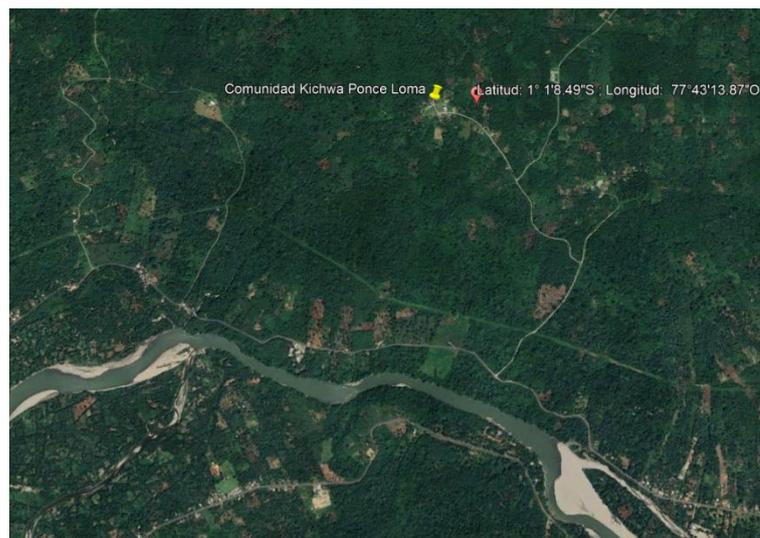


Figura 2-47. Ubicación del centro de preservado RAYU, Comunidad Ponce Loma



Figura 2-48. Guadúa de la Asociación RAYU.

Se recolecto 7 muestras de Guadúa, las muestras se extrajeron de una mancha natural. Los miembros de la asociación que manejan el bosque de guadua han sido capacitados para escoger Guadúas que tengan una resistencia completamente desarrollada. En la etapa de selección de las guadúas, se llevó a cabo una inspección visual para asegurar que las plantas tuvieran una edad comprendida entre 3 y 6 años, como se muestra en la **Figura 2-3**, mediante el reconocimiento del estado de crecimiento de la Gak.

2.6.3.2 Dimensionamiento

Se eligieron culmos de acuerdo con la longitud de las vigas secundarias del proyecto, que tiene una dimensión de 3.2 metros.

2.6.3.3 Registro de las propiedades físicas y geométricas de las muestras

Se registró diámetros, espesores y longitudes de los culmos y de las piezas AVECE.

Tabla 2-27. Datos de probetas para ensayo a vigas secundarias

Código	Lado	Promedio	Promedio	Longitud	Número	Promedio de	a
		diámetro	espesores				
		lado	lado				
		mm	mm	m	unidades	cm	m
V01_A_A	L1	115.4	10.7	3.35	10	33.95	0.885
	L2	107.3	9.8				
V02_A_CH	L1	124.6	10.0	3.30	9	37.14	0.805
	L2	113.3	15.3				
V03_A_CH	L1	117.2	10.7	3.30	10	33.31	0.955
	L2	91.5	16.9				
V04_A_CH	L1	113.2	16.8	3.31	13	24.70	0.89
	L2	113.2	10.3				
V05_P_A	L1	125.5	10.8	3.29	11	31.34	0.865
	L2	119.5	14.2				
V06_P_G	L1	111.0	16.2	3.30	12	25.90	0.8725
	L2	99.0	9.1				
V07_A_G	L1	127.4	19.0	3.30	12	24.49	0.7075
	L2	120.6	12.0				

Tabla 2-28. Promedio de datos para ensayos de vigas secundarias

Código	Número de datos	Promedio diámetro	Promedio espesor	Longitud total	Promedio de nudos	Promedio de entrenudos
	u	mm	mm	m	u	cm
V01_A_A	1	111.3	10.28	3.35	10	33.95
V(02,03,04)_A_CH	3	112.16	13.35	3.30	10.67	31.72
V05_P_A	1	122.48	12.48	3.29	11	31.34
V06_P_G	1	104.96	12.68	3.30	12	25.90
V07_A_G	1	123.98	15.48	3.30	12	24.49

2.6.3.4 Elementos de soporte en el eje y en el punto de carga

En los ensayos, los elementos de apoyo en el eje y en el punto de carga, como se ilustra en la **Figura 2-46**, variaron en material y forma. Se asignó la letra A para identificar la madera Avío y CH para la madera Chuncho, ambos tienen la forma del conector AVECE. Además, se realizaron tres ensayos con diferentes combinaciones de elementos de apoyo en los puntos de carga y en el eje, donde P representa una base plana con pequeños elementos de estabilidad. La letra G indica elementos de guadua, que se utilizaron como soporte en el punto de carga, empleando un cuarto de bambú para modificar el área de contacto, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 2-29. Dimensión de las probetas de soporte de la viga V 01_A_A

Código V01_A_A				
Tipo de apoyo en el eje (extremos de las probetas de vigas secundarias)				
Boca de pez, AVECE	Diámetro	Alto libre	Alto de curva	
Avío	mm	mm	mm	
L1	111	68.5	25.5	
L2	106	66.5	25	
Tipo de apoyo en el punto de carga a lo largo de la viga secundaria				
Boca de pez, AVECE	Diámetro	Alto libre	Alto de curva	
Avío	mm	mm	mm	
L1	111	68.5	25.5	
L2	106	66.5	25	

Tabla 2-30. Dimensiones de las probetas de soporte de las vigas (V02, V03, V04)_A_CH

Código V (02,03,04) ACH				
Tipo de apoyo en el eje (extremos de las probetas de vigas secundarias)				
Boca de pez, AVECE	Diámetro	Alto libre	Alto de curva	
Avío	mm	mm	mm	
L1	111	68.5	25.5	
L2	106	66.5	25	
Tipo de apoyo en el punto de carga a lo largo de la viga secundaria				
Boca de pez AVECE	Diámetro	Alto libre	Alto de curva	
Chuncho	mm	mm	mm	
L1	101	34.2	28.5	
L2	100	36	27.5	
V2		V3		
V4				

Tabla 2-31. Dimensiones de las probetas de soporte V 05_P_A

Código V05_P_A				
Tipo de apoyo en el eje (extremos de las probetas de las vigas secundarias)				
Base plana	Longitud de apoyo	Lados del triángulo	Largo	
Madera	mm	mm	mm	
L1	108	50x50x50	50	
L2	106	50x50x50	50	
Tipo de apoyo en el punto de carga a lo largo de la viga secundaria				
Boca de pez, AVECE	Diámetro	Alto libre	Alto de curva	
Avío	mm	mm	mm	
L1	111	68.5	25.5	
L2	106	66.5	25	

Tabla 2-32. Dimensiones de las probetas de soporte V 06_P_G

Código V06_P_G				
Tipo de apoyo en el eje (extremos de las probetas de vigas secundarias)				
Base plana	Longitud de apoyo	Lados del triángulo	Largo	
Madera	mm	mm	mm	
L1	108	50x50x50	50	
L2	106	50x50x50	50	
Tipo de apoyo en el punto de carga a lo largo de la viga secundaria				
¼ Diámetro	φ de Guadua	Dirección longitudinal	Espesor promedio	
Guadúa	mm	mm	mm	
L1	123.85	106	15.735	
L2	124.43	108	18.14	

Tabla 2-33. Dimensiones de las probetas de soporte V 07_A_G

Código V07_A_G				
Tipo de apoyo en el eje (extremos de las probetas de vigas secundarias)				
Boca de pez, AVECE	Diámetro	Alto libre	Alto de curva	
Avío	mm	mm	mm	
L1	111	68.5	25.5	
L2	106	66.5	25	
Tipo de apoyo en el punto de carga a lo largo de la viga secundaria				
¼ Diámetro	φ de Guadua	Dirección longitudinal	Espesor promedio	
Guadúa	mm	mm	mm	
L1	121.5	207	13.25	
L2	121.5	207	15.5	

2.6.3.5 Colocar la viga sobre los dos apoyos

El procedimiento consiste en medir la carga, y el desplazamiento. Después sabiendo cuanto pesa cada saco, se va pesando cada saco de manera gradual, cada saco pesa alrededor de 25 libras como se muestra en la **Figura 2-49**. Entonces va a ver una lectura lineal. Lo importante es que la carga se distribuya adecuadamente hacia los distintos puntos de carga, para que estos sean equivalentes.



Figura 2-49. Experimento de la prueba de cuatro puntos

3 CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Resultados de cargas cuantificadas y verificación de vigas secundarias

Para la presente investigación se hallaron las siguientes cargas y secciones transversales de vigas

Tabla 3-1. Resultados de cargas y secciones transversales de vigas

ALGORITMO PARA ESTRUCTURAS DE BAMBÚ				
VARIABLE	VALOR	UNIDAD ES	DEFINICIÓN	EXTRAS
0.- INGRESO DE LA GEOMETRÍA Y PROPIEDADES DEL BAMBÚ				
D	12	cm	Diámetro mayor	
t	2	cm	Espesor del bambú	
d	8	cm	Diámetro menor	
lo=	816,81	cm ⁴	Inercia de la sección trasnversal	
CONFIGURACIÓN DE VANOS (cuadro de diseño)				
Vizq	3.1	m	Vano izquierdo	
Vder	3	m	Vano derecho	
Vsup	3.2	m	Vano superior	
Vinf	3.2	m	Vano inferior	
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS				
E0.5	122366.4	Kgf/cm ²	Módulo de Elasticidad 0.5	
E0.05	76479	Kgf/cm ²	Módulo de Elasticidad 0.05	
Emin	40788.8	Kgf/cm ²	Módulo de Elasticidad mínimo	
G0.5	4370.23	Kgf/cm ²	Módulo de corte 0.5	
G0.05	2731.39	Kgf/cm ²	Módulo de corte 0.05	
Gmin	1456.74	Kgf/cm ²	Módulo de corte mínimo	
ESFUERZOS ADMISIBLES				
Fb	152.96	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible a Flexión	
Ft	193.75	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible a Tracción	
Fc	142.76	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible a Compresión longitudinal	
Fp	3.57	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible a compresión trasnversal	
Fv	12.24	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible a Corte	
CARGAS MUERTAS				
Zn	2.97	Kgf/m ²	Zinc	
P	0.14	Kgf/m ²	Pintura	
Ins	1.6	Kgf/m ²	Instalaciones	
Peso propio Vigas	12.84	Kgf/m ²	Peso propio de la viga secundarias	
CARGA M adc	17.76876296	Kgf/m ²	Carga muerta total	

CARGA VIVA				
CALGA L	70.78297759	Kgf/m ²	Carga viva total	
CARGA DE DISEÑO				
CARGA M+L	88.55	Kgf/m ²	Carga de diseño	
DATOS DE LA ZONA				
CH	0.19	%	Contenido de humedad del sitio	
T (°c)	23.1	GRADOS C.	Temperatura de la zona del proyecto	
Ct (parcial)	1		Coeficiente parcial de modificación de temperatura	
1.- VIGAS SECUNDARIAS				
SECCIÓN	1 CULMO			
ÁREA	62.83	cm ²	Área de la sección	
Ycg (cm)	6	cm	Centro de gravedad y-y	
Xcg (cm)	6	cm	Centro de gravedad x-x	
Inercia (cm ⁴) Y-Y	816.81	cm ⁴	Momento de Inercia y-y	
radio de giro Y-Y	3.61	cm	Radio de giro y-y	
S Módulo de sección(cm ³) Y-Y	136.14	cm ³	Módulo de sección y-y	
h (cm)	12	cm	Altura total de la sección	
Inercia (cm ⁴) X-X	816.81	cm ⁴	Momento de inercia x-x	
radio de giro X-X	3.61	cm	Radio de giro x-x	
S Módulo de sección(cm ³) X-X	136.14	cm ³	Módulo de sección x-x	
DATOS DE VIGAS				
NVS	6	u	Número de vigas secundarias	
Sentido	X		Sentido de vigas	
Lvs	3.2	m	Longitud máxima de la viga secundaria	
Sepvs (D<S<= 50 cm)	44	cm	Separación de las vigas secundarias	
q	39.22	Kgf/m	Carga lineal sobre vigas secundarias	
V	62.75	Kgf	Cortante actuante sobre la viga secundaria	
M	50.19618664	kgf.m	Momento actuante sobre la viga secundaria	
Servicio	Sin cielo raso			
Delta	180		Coeficiente de deflexión	
Dads	18	mm	Deflexión admisible normativa	
CÁLCULO DE CARGA PARA SECCIONES				
W	47.08	Kgf/m	Carga para el cálculo de sección	
W-i	39.22	Kgf/m	Carga para deflexiones inmediatas	
W-f	73.79	Kgf/m	Carga para deflexiones diferidas	
INERCIAS POR DEMANDA DE DISEÑO PARA CONTROL DE DEFLEXIONES				D/C
PARA (E 0.05)				
Iw (E005)	472.82	cm ⁴	Inercia para el cálculo de sección	57.9%

Iw-i (E005)	393.80	cm ⁴	Inercia para verificación de deflexiones i	48.2%
Iw-f (E005)	740.97	cm ⁴	Inercia para verificación de deflexiones f	90.7%
FLEXIÓN				
H/D	1	cm/cm	No requiere soporte lateral	
CD	0.9	0,59	Coeficiente de modificación por duración de la carga	
Cm	0.7		Coeficiente de modificación por contenido de humedad	
Ct	1		Coeficiente de modificación por temperatura	
CL	1		Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas	
CF	1		Coeficiente de modificación por forma	
Cr	1		Coeficiente de modificación por distribución de cargas	
Cc	0.93		Coeficiente de modificación por cortante	
f`b	89.62		Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible modificado a flexión
fb	36.87	Kgf/cm ²	Esfuerzo a flexión actuante	
D/C	41.1%		Demanda/Capacidad	
CORTANTE				
Vcal	58.0393408	Kg	Cortante de cálculo	
CD	0.9	0,67	Coeficiente de modificación por duración de la carga	
Cm	0.8		Coeficiente de modificación por contenido de humedad (localidades de Ecuador)	
Ct	1		Coeficiente de modificación por temperatura.	
CL	1		Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (H/b)	
CF	1		Coeficiente de modificación por forma	
Cr	1		Coeficiente de modificación por distribución de cargas	
Cc (Lvs/D mayor 15)	0.93		Coeficiente de modificación por cortante	
F`v	8.19	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible modificado para corte	
Fv	1.80	Kgf/cm ²	Esfuerzo cortante	
D/C	22.0%		Demanda/Capacidad	

3.2 Resultados de la Verificación de Vigas Principales

A continuación, se detalla el cálculo de vigas principales

SECCIÓN				
4CULMOS 2F2C				
ÁREA	251.33	cm ²	Área de la sección	
Ycg (cm)	12	cm	Centro de gravedad y-y	
Xcg (cm)	12	cm	Centro de gravedad x-x-	
Inercia (cm ⁴) Y-Y	12315.04	cm ⁴	Momento de Inercia y-y-	
radio de giro Y-Y	7.00	cm	Radio de giro y-y	
S Módulo de sección(cm ³) Y-Y	1026.25	cm ³	Módulo de sección y-y	
h (cm)	24	cm	Altura total de la sección	
Inercia (cm ⁴) X-X	12315.04	cm ⁴	Momento de inercia x-x	
radio de giro X-X	7.00	cm	Radio de giro x-x	
S Módulo de sección(cm ³) Y-Y	1026.25	cm ³	Módulo de sección x-x	
DATOS DE VIGAS				
# espacio	7		Número de espacios entre vigas secundarias	
L viga principal	3.10	m	Longitud de la viga principal	
C ap	125.4904666	Kg	Carga aplicada puntual a la viga principal	
V	376.47	Kgf	Cortante actuante sobre la viga Principal	
M	333.60	kgf.m	Momento actuante sobre la viga principal	
Qd	48.74	Kg/m	Carga muerta distribuida	
QL	194.15	Kg/m	Carga viva distribuida	
Servicio	Sin cielo raso			
Delta	180		Coefficiente de deflexión	
Dads	17	mm	Deflexión admisible normativa	
CÁLCULO DE CARGA PARA SECCIONES				
W	291.62	Kgf/m	carga para el cálculo de sección	
W-i	242.88	Kgf/m	carga para deflexiones inmediatas	
W-f	186.01	Kgf/m	Carga para deflexiones diferidas	
INERCIAS POR DEMANDA DE DISEÑO			D/C	
PARA (E 0.05)				
Iw (E005)	2662.41	cm ⁴	Inercia para el cálculo de sección	21.6%
Iw-i (E005)	2217.45	cm ⁴	Inercia para verificación de deflexiones i	18.0%
Iw-f (E005)	1698.20	cm ⁴	Inercia para verificación de deflexiones f	13.8%
FLEXIÓN				
H/D	1	cm/cm	No requiere soporte lateral	
CD	0.9	0.57	Coefficiente de modificación por duración de la carga	
Cm	0.7		Coefficiente de modificación por contenido de humedad	

Ct	1		Coeficiente de modificación por temperatura
CL	0.98		Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas
CF	1		Coeficiente de modificación por forma
Cr	1		Coeficiente de modificación por distribución de cargas
Cc	0.93		Coeficiente de modificación por cortante
f`b	87.83	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible modificado a flexión
fb	32.51	Kgf/cm ²	Esfuerzo a flexión actuante
D/C	37.0%		Demanda/Capacidad
CORTANTE			
Vcal	318.179054	Kg	Cortante de cálculo
CD	0.9	0.66	Coeficiente de modificación por duración de la carga
Cm	0.8		Coeficiente de modificación por contenido de humedad
Ct	1		Coeficiente de modificación por temperatura
CL	0.98		Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas
CF	1		Coeficiente de modificación por forma
Cr	1		Coeficiente de modificación por distribución de cargas
Cc	0.93		Coeficiente de modificación por cortante
F`v	8.03		Kg/cm ²
Fv	2.47	Kg/cm ²	Esfuerzo cortante
D/C	30.7%		Demanda/Capacidad

3.3 Resultados del dimensionamiento de las columnas

3.3.1 Zona sísmica (NEC-SE-DS)

Para los edificios de uso normal, se usa un valor de Z, que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada con fracción de la aceleración de la gravedad.

El valor del factor Z representa la aceleración máxima en roca para edificios de usos normales esperada para el sismo de diseño; depende del sitio donde se construirá la estructura, el cual determinará una de las seis zonas sísmicas del Ecuador.

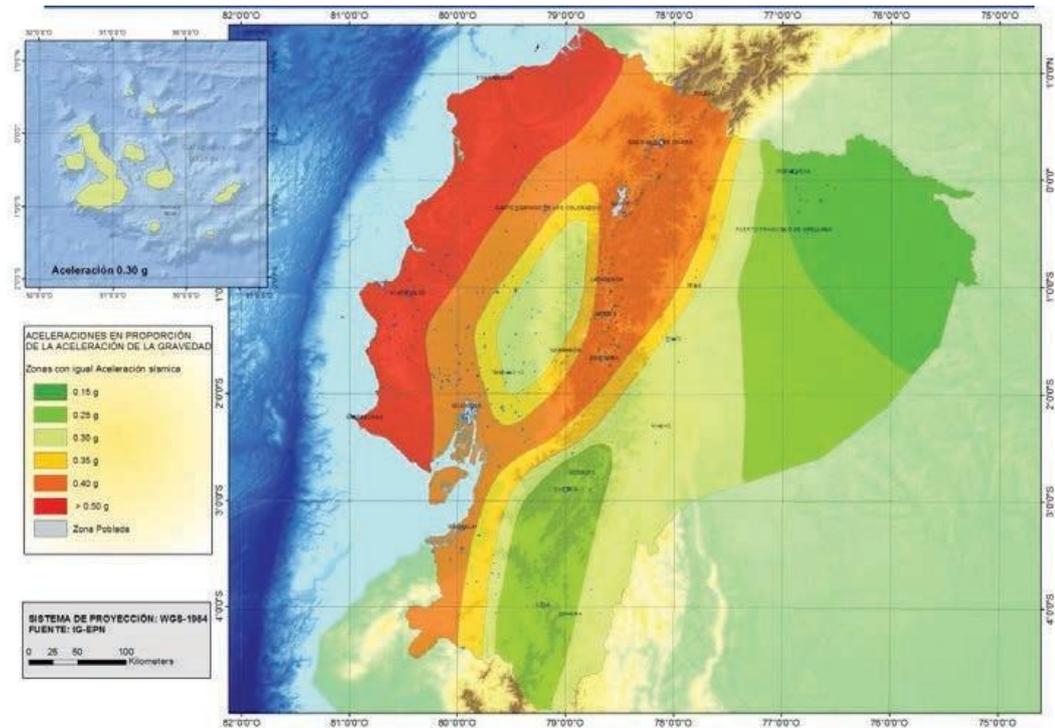


Figura 3-1. Zonas Sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor Zona Z

Fuente:(MIDUVI, 2014b)

El mapa de la zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI.

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Para determinar el valor Z se puede encontrar en la tabla 19 del apartado (MIDUVI, 2014b) que muestra las poblaciones ecuatorianas y el valor de la sección 10.2.

Tabla 3-2. Valor Z para cantones de Napo

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
Archidona	Archidona	Archidona	Napo	0.35
Cotundo	Cotundo	Archidona	Napo	0.35
Tena	Tena	Tena	Napo	0.35

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015, p.90)

Tabla 3-3. Resultados del dimensionamiento de las columnas

3.- COLUMNAS			
SECCIÓN	CULMOS 2C2F		
ÁREA	251.33	cm ²	Área de la sección
Ycg (cm)	12	cm	Centro de gravedad y-y
Xcg (cm)	12	cm	Centro de gravedad x-x-
Inercia (cm ⁴) Y-Y	12315.04	cm ⁴	Momento de Inercia y-y-
radio de giro Y-Y	7.00	cm	Radio de giro y-y
S Módulo de sección(cm ³) Y-Y	1026.25	cm ³	Módulo de sección y-y
h (cm)	24	cm	Altura total de la sección
Inercia (cm ⁴) X-X	12315.04	cm ⁴	Momento de inercia x-x
radio de giro X-X	7.00	cm	Radio de giro x-x
S Módulo de sección(cm ³) X-X	1026.25	cm ³	Módulo de sección x-x
FUERZA SÍSMICA (POR RESPUESTA DE ESPECTRO)			
Z	0.35	g	Factor de zona.
I	1		Factor de importancia.
∅ p	1		Factor de planta.
∅ e	1		Factor de elevación.
Fs	1.8		Comportamiento no lineal de suelos
Fd	1.65		Ampliación de las ordenadas del espectro.
Fa	1.1		Ampliación del suelo.
R	2		Factor de reducción de respuesta Sísmica.
n	2.6		Relación de la aceleración espectral
r	1.5		
To	0.27	s	
Tc	1.49	s	
T estructura	0.35	s	Periodo de la estructura
Sa	1.001	g	Espectro de respuesta elastico de aceleraciones.
Westructura	250.9	Kgf	Peso de la estructura.
C basal	0.50		Coficiente de cortante basal
V basal	125.58	Kgf	Cortante Basal.

CARGAS GRAVITACIONALES ACTUANTES			
Npisos	1		Números de pisos.
At	9.76	m ²	Área tributaria.
P columna	1728.529	Kgf	Carga aplicada a la columna.
Nex	3	u	Número de ejes en "X".
Ney	4	u	Número de ejes en "Y".
Nte	12		Número total de columnas.
COMPRESIÓN AXIAL			
CD	0.9		Coefficiente de modificación por duración de la carga
Cm	0.83		Coefficiente de modificación por contenido de humedad
Ct	1		Coefficiente de modificación por temperatura
CF	1	0,29	Coefficiente de modificación por forma
Cr	1		Coefficiente de modificación por distribución de cargas
Cc	0.91		Coefficiente de modificación por cortante.
CP	0.422		Coefficiente de modificación por estabilidad de columnas
C	0.8		Valor para cualquier sección
F`c	97.04	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible a la compresión paralela a la fibras, modificado sin CP
FCE	4.61		
FCE/F`c	0.48		
Lcolumna	2.7	m	Altura de la columna.
k	2.4		Coefficiente de longitud efectiva
Le	6.48	m	Longitud efectiva
I X-X	92.57		Relacion esbeltez del elemento x-x. (<150)
I Y-Y	92.57		Relacion esbeltez del elemento y-y. (<150)
F`c	40.98	Kgf/cm ²	Esfuerzo admisible a la compresión paralela a la fibras, modificado sin CP
Ck	110.80		Esbeltez Ck, límite entre columnas.
C columna	INTERMEDIA		Clasificación de columnas.
Fc	8.97	Kgf/cm ²	Esfuerzo de compresión paralelo a la fibra actuante.
D/C	9.243%		Demanda sobre capacidad
TENSIÓN AXIAL			
ft	0.00	Kgf/cm ²	Esfuerzo de Tensión actuante.
fb	0.29	Kgf/cm ²	Esfuerzo de Flexión actuante.
f`t	55.62	Kgf/cm ²	Esfuerzo de tensión admisible modificado.
f`b	43.91	Kgf/cm ²	Esfuerzo de flexión admisible modificado.
	0.01		CORRECTO

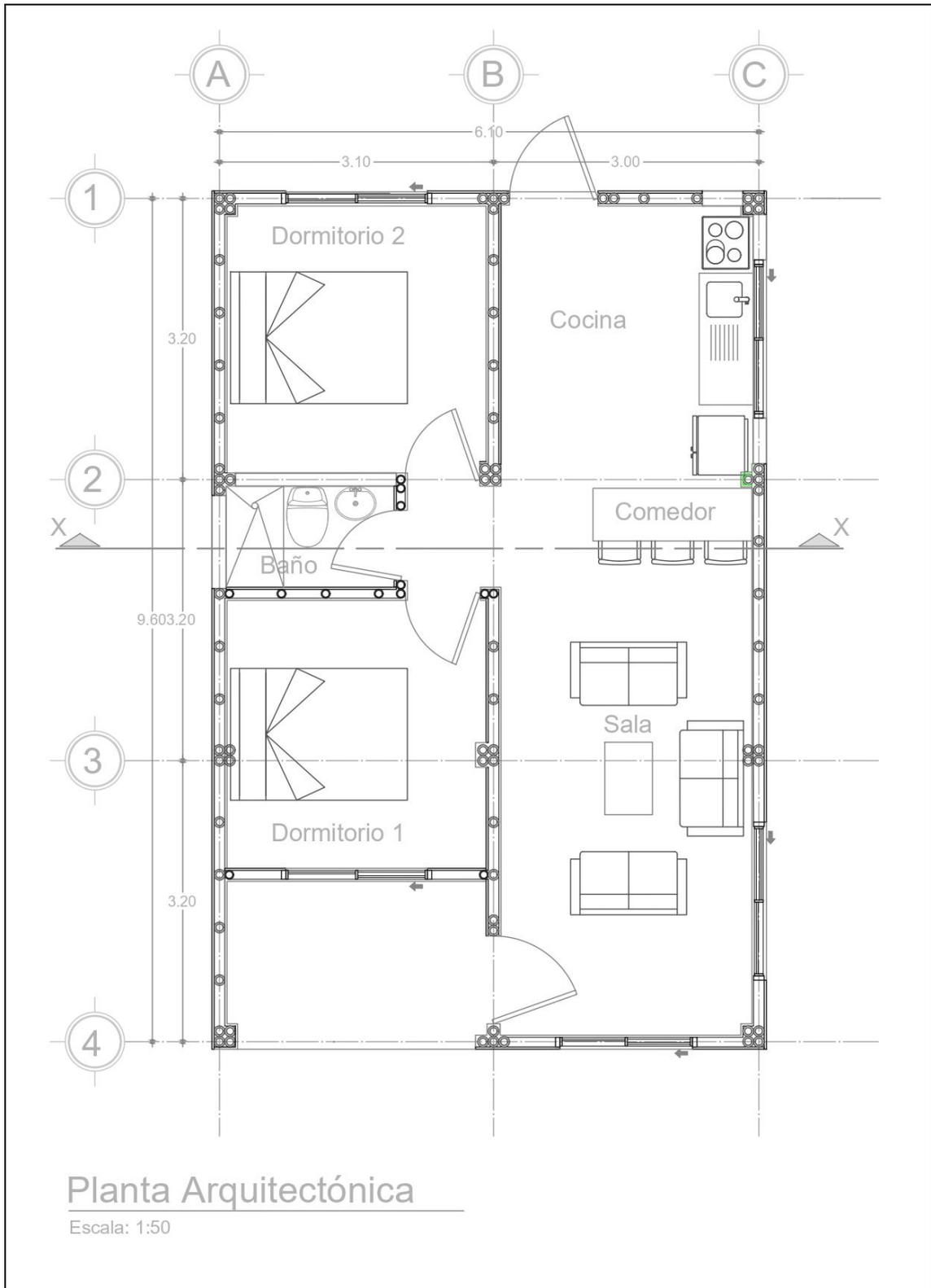


Figura 3-2. Planta arquitectónica vivienda de interés social modificación de sección transversal de columnas

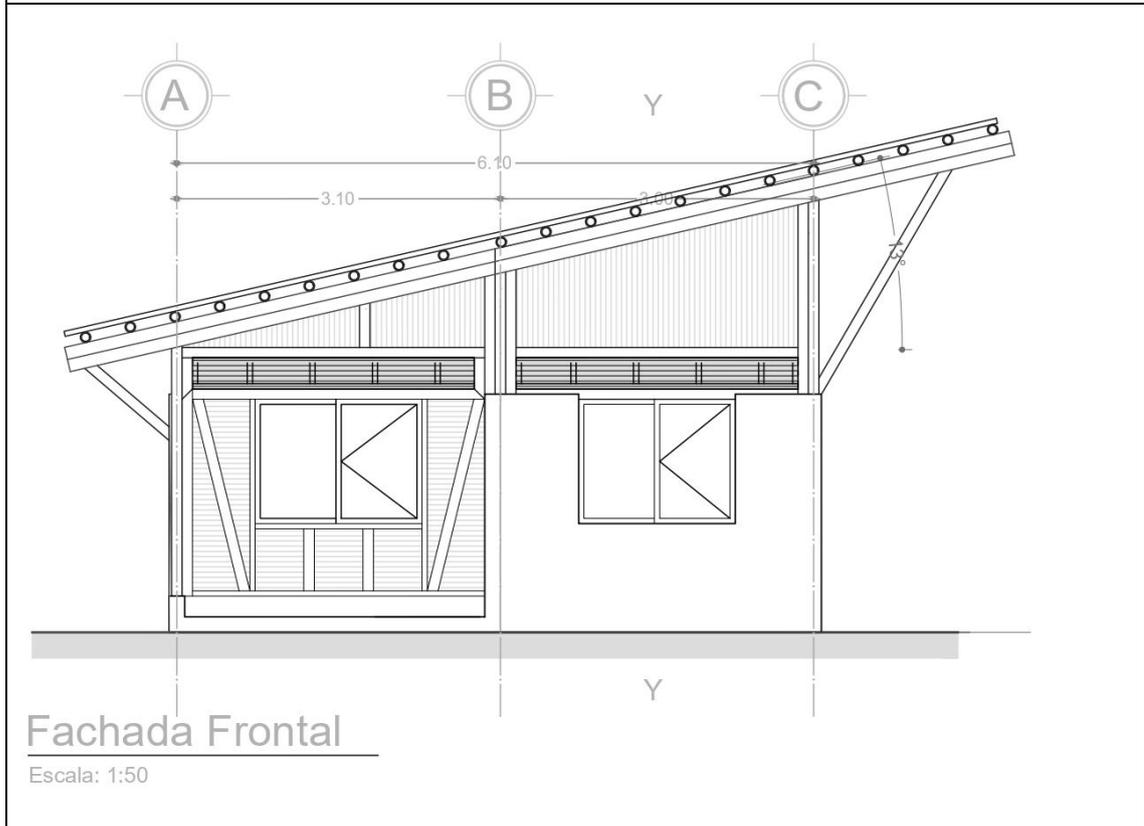
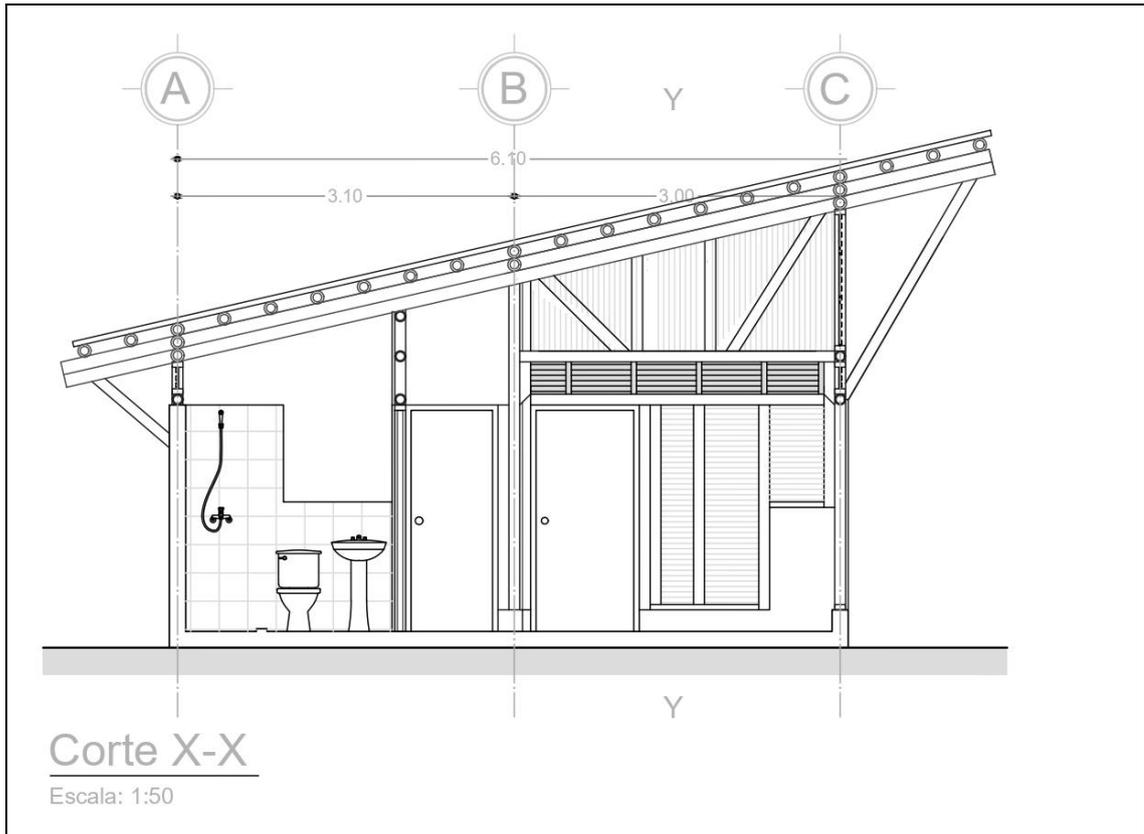


Figura 3-3. Fachada frontal modificada la pendiente y vigas secundarias y vigas principales según cálculos

3.4 Resultados de la Densidad básica

La siguiente tabla presenta el resultado del volumen, peso húmedo, peso en seco y la densidad básica.

Tabla 3-4. Resultados de densidad básica de las probetas de Avío

Código	Lado A	Lado B	Lado C	Volumen	Peso húmedo	Peso seco	Densidad
	mm	mm	mm	cm3	gr	gr	g/cm3
AV1	52.08	51.47	102.35	274.36	248	198.82	0.725
AV2	51.96	51.6	102.25	274.15	243	195.31	0.712
AV3	51.54	52.17	102.38	275.28	248	198.94	0.723
AV4	51.72	52.6	102.4	278.58	246	195.88	0.703
AV5	51.93	51.54	102.36	273.96	245.57	196.05	0.716
AV6	51.57	51.79	102.28	273.17	252	199.08	0.729
AV7	51.71	51.67	102.38	273.54	250	198.57	0.726
AV8	51.62	52.4	102.26	276.60	250	199.26	0.720
AV9	52.61	51.85	101.59	277.12	242.36	211.02	0.761
AV10	51.32	50.71	100.37	261.21	236.07	206.08	0.789
Promedio							0.730

El resultado de la densidad básica para poder clasificar al avío dentro de la categoría de resistencia al que pertenece, para poder ser empleada en las conexiones AVECE en base a la clasificación de densidades básicas como se muestra en el siguiente enunciado.

3.5 Correlación de las propiedades mecánicas (resistencia a compresión tensión, cortante y flexión) de la madera clase A.

Según los resultados de la densidad básica, la madera Avío pertenece a la clasificación tipo A. A continuación, se presentará la clasificación de las maderas según su densidad básica.

Clase de Madera	Densidad básica g/cm ³
A	0.71 - 0.90

Tabla 3-5. Esfuerzos admisibles para la madera (MPa)

ESFUERZOS ADMISIBLES DE MADERAS (MPa)					
Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8

Fuente: NEC de estructuras de maderas (MIDUVI, 2015, p. 62).

3.6 Resultados de los ensayos de vigas secundarias y conexiones AVECE

En base a los resultados de cargas resistente de los ensayos de las vigas secundarias se evidenció que la probeta que menos resistió fue la probeta V01 con una carga de 317.1 kgf, y la probeta que mayor resistió fue la probeta V02 con una carga de 702.4 kgf.

Tabla 3-6. Resultados de los ensayos de las vigas secundarias

	Módulo de elasticidad (E)	Carga Resistente (R)
Código	MPa	Kgf
V02	21 527.4	702.4
V01	12 200.4	317.1
V03	24 820.1	580.4
V04	17 612.3	478.3
V05	13 320.3	540.0
V06	19 195.9	450.9
V07	13 208.6	683.1
Promedio	17 412.1	536.0

3.6.1 Tipos de fallas

Los elementos conectores AVECE (boca de pez) no fallan ante las cargas por lo cual las mismas piezas AVECE se usaron para los ensayos V02ACH, V03ACH y V04ACH, Al tercer ensayo el elemento boca de pez de madera chuncho presenta un asentamiento en la superficie que se transmite la carga puntual mediante la cuerda como se observa en la **Figura 3-4**.



Figura 3-4. Falla típica en los puntos de aplicación de las cargas

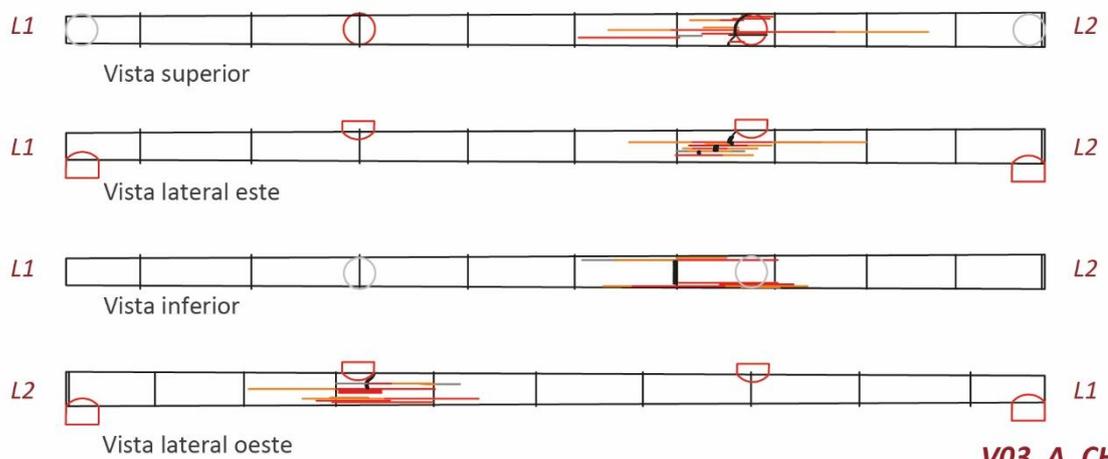


Figura 3-5. Características de falla en ensayo de viga secundaria V3
 Nota: Ver anexos (B-I) para observar las fallas detalladas de cada ensayo.

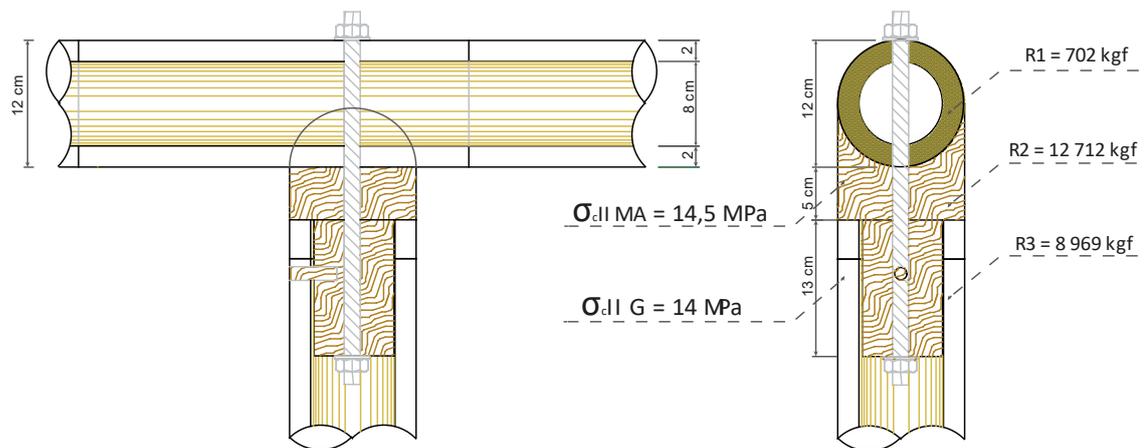
3.6.2 Comparación de los esfuerzos últimos de los elementos conectores

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de los esfuerzos últimos de los materiales utilizados en la conexión AVECE. Es fundamental que el elemento conector sea el último en fallar en una estructura; en este caso, la madera Avío actúa como tal y exhibe propiedades destacadas. Su resistencia a la compresión paralela a las fibras es 18 veces mayor que la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras de las piezas del guadúa. Con un esfuerzo último de 11.1 MPa y una carga máxima de 124666 N.

Tabla 3-7. Resultados de carga resistente de la conexión AVECE (boca de pez)

Carga resistente boca de pez			Descripción
D=	120	mm	Diámetro externo
d var=	10	mm	Diámetro de la varilla de 10 mm
A=	11231.2	mm ²	Área transversal del culmo
Esf ult madera A=	11.1	MPa	Esfuerzo último de la madera Avío
Púlt madera A=	124666	N	Carga última de la madera Avío, N
Púlt madera A=	12712	kgf	Carga última de la madera Avío a compresión, Kgf
Pmáx ensG=	702	kgf	Carga máxima al aplastamiento ensayada de la Gak
Púlt madera A/Pcir=	18		División de Púlt madera A/ Pmáx ensG

En la **Figura 3-6** se observa las resistencias de los materiales fundamentales que componen la conexión estructural AVECE (boca de pez).



R1: Resistencia experimental de la viga de bambú a la compresión perpendicular (aplastamiento)

R2: Carga resistente a la compresión de la madera clase A.

R3: Carga resistente de la columna de guadua al aplastamiento paralelo

Figura 3-6. Comparación de la resistencia de los elementos fundamentales que conforman la conexión AVECE.

Cálculo de la resistencia R3 de la carga resistente de la columna de guadua al aplastamiento paralelo

Donde:

σ Esfuerzo último a la compresión paralela

P Carga a la compresión paralela Columna de Gak

A Área de una sección de culmo

De Diámetro exterior

Di Diámetro interior

$$P = \sigma * A$$

$$P = 14 \frac{N}{mm^2} * \left(\frac{\pi De^2}{4} - \frac{\pi Di^2}{4} \right)$$

$$P = 14 \frac{N}{mm^2} \left(\frac{\pi(120mm)^2}{4} - \frac{\pi(80mm)^2}{4} \right)$$

$$P = 87964 N = 8969kg$$

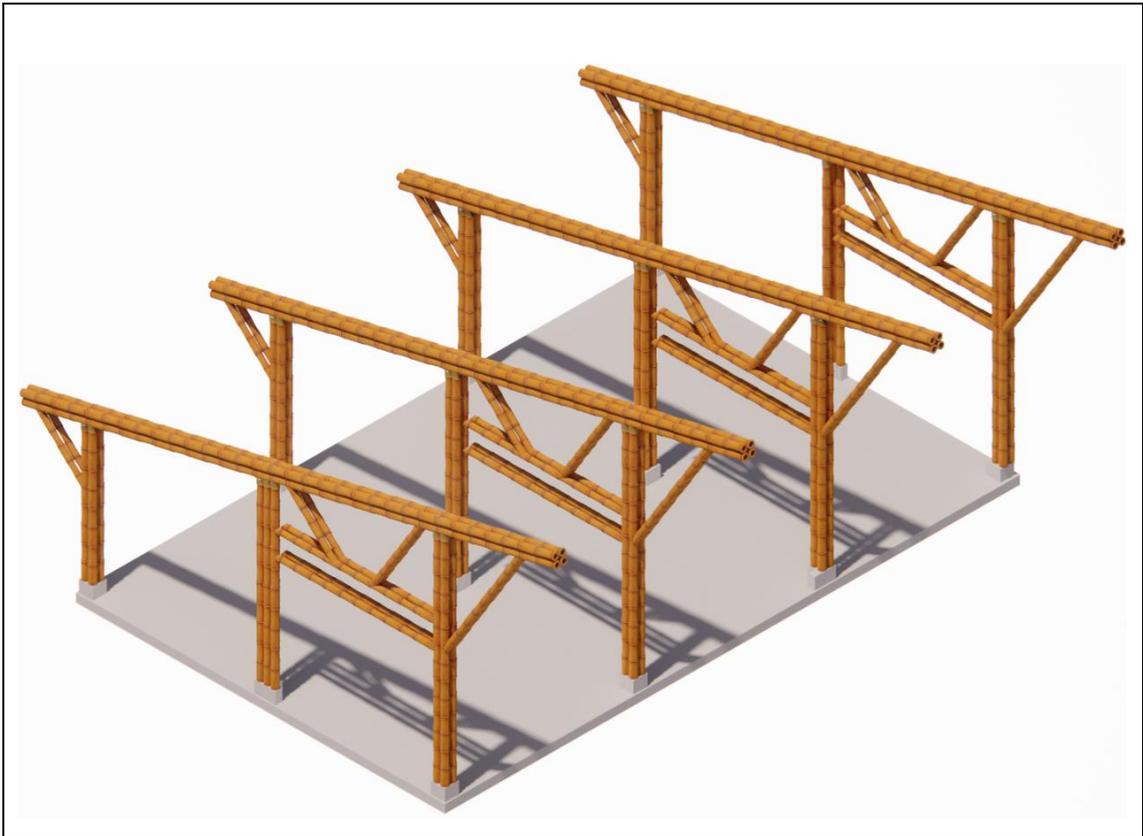


Figura 3-7. Resultado de modificaciones en columnas, vigas principales y elementos conectores AVECE



Figura 3-8. Conexión AVECE

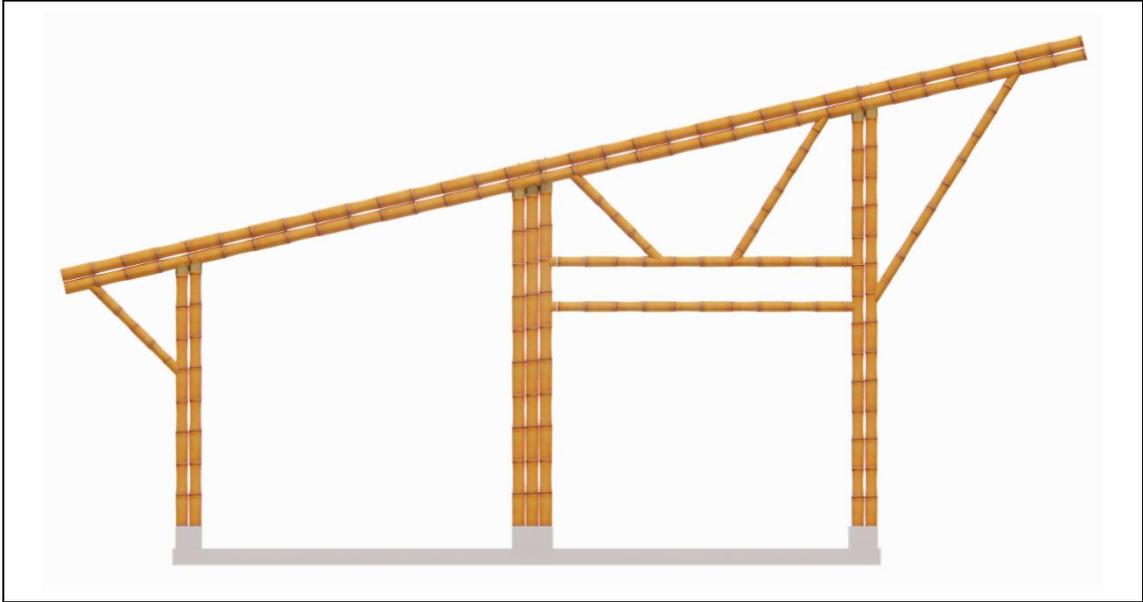


Figura 3-9. Elementos estructurales implementadas las conexiones AVECE

4 DISCUSIONES

4.1 Aplastamiento

En lo referente al aplastamiento se identificó que la fórmula y el valor del esfuerzo admisible no reflejan la realidad del comportamiento de la Guadúa. Por lo cual se realizaron una serie de ensayos para evaluar la resistencia de la compresión perpendicular a las fibras de las vigas de Guadúa.

$$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2L} \leq F_p$$

- F_p** Esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes que correspondan, MPa
- f_p** Esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, MPa
- D_e** Diámetro externo promedio de la sección de GaK rolliza, mm
- t** Espesor promedio de la sección de GaK rolliza, mm
- L** Longitud de apoyo, mm
- R** Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, N

Cálculo de carga teórica obtenida mediante la Normativa

$$\frac{1}{R} = \frac{3D_e}{2t^2Lf_p}$$

$$R = \frac{2t^2Lf_p}{3D_e}$$

$$R = \frac{2(20 \text{ mm})^2 * 120 \text{ mm} * 0,35 \frac{N}{\text{mm}^2}}{3 * 120\text{mm}}$$

$$R = \frac{2(20 \text{ mm})^2 * 120 \text{ mm} * 0,35 \frac{N}{\text{mm}^2}}{3 * 120\text{mm}}$$

$$R = 93N \approx 9,4\text{kgf}$$

En base a la formula y el esfuerzo admisible, las vigas de guadua del prototipo solo resistirían 9,4 kgf cuando experimentalmente se llegó a 57,02 veces más por lo cual se

debe seguir estudiando la compresión perpendicular a las fibras de la guadua angustifolia.

Tabla 4-1. Carga experimental aplastamiento/carga teórica de la nec

	E	Carga F	Carga experimental aplastamiento/Carga teórica de la NEC
Código	MPa	Kgf	
V02	21 527.4	702.4	74.73
V01	12 200.4	317.1	33.73
V03	24 820.1	580.4	61.74
V04	17 612.3	478.3	50.89
V05	13 320.3	540.0	57.45
V06	19 195.9	450.9	47.97
V07	13 208.6	683.1	72.67
Promedio	17 412.1	536.0	57.02

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A partir de la realización de la presente investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones

En relación al primer objetivo específico se tiene que: El cálculo de las cargas actuantes sobre la vivienda de interés social permitió obtener los esfuerzos que se van a generar en los elementos estructurales y las deformaciones, para verificar que el esfuerzo del material no sea sobrepasado y para que las deformaciones permisibles no sean superadas por el efecto de las cargas.

En relación al segundo objetivo específico se concluye que: La evaluación de las vigas secundarias, vigas principales y columnas de la vivienda de interés social permite encontrar los diámetros y espesores adecuados que aseguren la resistencia y la rigidez frente a las cargas calculadas.

Con respecto al tercer objetivo específico se concluye que la propiedad física denominada densidad básica es la que permite correlacionar las propiedades mecánicas de las maderas.

Con respecto al cuarto objetivo específico las configuraciones de conexión AVECE "Boca de Pescado" con madera clase A demostraron ser funcionales a resistir los esfuerzos de compresión. Se tuvo que la resistencia a la compresión de las piezas de madera es superior a la resistencia de las vigas de Guadúa, lo cual es adecuado ya que los elementos de sujeción no deben fallar.

Además, tanto las maderas como el bambú son materiales naturales con propiedades altamente influenciadas por factores como su origen (tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes), condiciones de crecimiento (clima, velocidad de crecimiento), características intrínsecas (anisotropía, densidad, contenido de humedad,

comportamiento viscoelástico) y biológicas (Composición celular: La proporción de células parenquimáticas, fibras y vasos varía dentro del mismo árbol y entre árboles o culmos de Guadúa). Además, la presencia de defectos naturales como nudos, grietas o desviaciones en las fibras, así como las técnicas empleadas para preparar las muestras, pueden generar variaciones en su desempeño mecánico. Estas diferencias deben considerarse para evaluar su comportamiento bajo condiciones reales de uso.

En las estructuras se busca que el último elemento en fallar debe ser las uniones; en los discos de contacto se observa rotura, por lo tanto, para aplicaciones estructurales se debe ampliar los estudios a la tensión perpendicular a las fibras.

Se recomienda actualizar la NEC en lo referente al aplastamiento ya que los valores de esfuerzo admisible y la fórmula arrojan resultados que no concuerdan con la realidad.

5.2 RECOMENDACIONES

Realizar pruebas adicionales con variaciones en las condiciones de humedad, temperatura y cargas dinámicas para simular mejor los escenarios reales de uso. También se recomienda realizar ensayos de tensión perpendicular a las fibras.

Seguir estudiando las conexiones AVECE en lo referente a las tensiones perpendiculares a las fibras.

Seguir estudiando las vigas de Guadúa en lo referente a las tensiones perpendiculares a las fibras y al comportamiento anisotrópico.

No emplear en estructuras de dos o más pisos.

Tener un proceso de control de calidad en cada una de las etapas: corte, transporte, almacenamiento, secado, pulido y colocación final.

Realizar estudios de durabilidad y comportamiento a largo plazo de las maderas y el bambú, incluyendo tratamientos protectores y su impacto en las propiedades mecánicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Larrinaga, R. (2022). Uniones y elementos de conexión para estructuras con bambú: Clasificación y desarrollo de un prototipo de conexión. *Universidad Politécnica de Catalunya*, 1–192. <http://hdl.handle.net/10803/687390>
- Albermani, F., Goh, G. Y., & Chan, S. L. (2007). Lightweight bamboo double layer grid system. *Engineering Structures*, 29(7), 1499–1506. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.09.003>
- Álvarez Castilla, E. R. (2012). *Comportamiento mecánico de las conexiones en los elementos de bambú para estructuras ligeras. El caso de las especies del trópico de veracruz*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Barbaro, G. (2007). *Transformación e industrialización del bambú*.
- Batres Quevedo, J. A., Lulluna Llumiquinga, F. R., & Jaramillo Benavides, A. S. (2023). *AVECE, Sistema de Unión y Ensamblajes para Bambú, primera edición*. 28.
- Cangás, A. (INBAR). (2014). *Informe de consultoría Crédito para la vivienda social en el Ecuador*. <http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura/tesis/Correa.pdf>
- Castaño Nieto, F., & Moreno Orjuela, R. D. (2004). *Guadua para todos Cultivo y aprovechamiento* (B. Peña Trujillo & C. Peña Trujillo (eds.); 1st ed.). https://issuu.com/inbarlac.media/docs/guadua_para_todos
- Castiblanco, L., & Torres, H. (2019). Análisis De Las Propiedades Físicas Y Mecánicas Del Culmo De Guadua Angustifolia En La Construcción Y Estudio De Un Método De Protección a La Intemperie. *Universidad Católica De Colombia*. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25180>
- Cerron Oyague, M. T. (2014). Manual de construcción de estructuras de bambú (1). *Researchgate*. https://www.researchgate.net/publication/365651188_MANUAL_DE_CONSTRUCCION_DE_ESTRUCTURAS_DE_BAMBU_1
- Chicaiza, A., Ortiz, M., Chávez, L., & Toaza, M. (2024). Desafíos y Evolución de las Normativas en el Diseño de Estructuras de Bambú: Un Estudio Comparativo Global y la Perspectiva Ecuatoriana. *Revista de Investigaciones En Energía Medio Ambiente y Tecnología RIEMAT ISSN 2588-0721*, 8(2), 37–42. <https://doi.org/10.33936/riemat.v8i2.6436>
- Dassault Systemes. (2010). *Materiales isotrópicos y ortotrópicos*. Solidworks.Com. https://help.solidworks.com/2010/spanish/solidworks/cworks/legacyhelp/simulation/Materials/Isotropic_and_Orthotropic_Materials.htm
- Elejoste, A., Osa, J. L., Arevalillo-Roman, A., Eceiza, A., Abascal, J. M., Rico-Martinez, J. M., Butron, A., & Peña-Rodríguez, C. (2022). Mechanical Properties of Three Bamboo Species: Effect of External Climatic Conditions and Fungal Infestation in Laboratory Conditions. *Forests*, 13(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/f13122084>
- Erazo, G., Izurieta, J. C., Cronkleton, P., Larson, A., & Putzel, L. (2014). El uso de pigue (Piptocoma discolor)

- por los pequeños productores de Napo, Ecuador. Manejo sostenible de una especie pionera de madera para los medios de vida locales. *Centro Para La Inves Forestal Internacional (CIFOR)*, 24(26), 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.17528/cifor/004424>
- Estructuras de Madera (NEC - SE - MD), 85 (2014). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf>
- Fúquene Giraldo, A. L. (2019). Diseño de una morfología estructural en bambú *Guadua angustifolia* Kunth para la construcción de equipamientos públicos con luces no mayores a 24 metros en Colombia [Universidad Nacional de Colombia]. In *Respositorio Universidad nacional UNAL*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75860>
- GADM Tena. (2019). *Actualización PDOT-PUGS-2020-2023*. 699.
- Gangwar, T., & Schillinger, D. (2019). Microimaging-informed continuum micromechanics accurately predicts macroscopic stiffness and strength properties of hierarchical plant culm materials. *Mechanics of Materials*, 130(January), 39–57. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.01.009>
- García, V., & Puma, E. (2016). *Despiece, Armado Y Detalles Constructivos De Los Elementos Arquitectónicos Vistos Construidos En Bambú Como Componentes De Identidad Del Proyecto De Resort Ecologde Nativa Bambú*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25844>
- Gobierno provincial de Napo. (2020). *Actualización del Inventario Vial, año 2020*. <https://www.napo.gob.ec/website/phocadownload/lotaip2020/Anexos/Lit.K/244>. Actualización del inventario vial, año 2020.pdf
- Gonzales, J. T. (2024). *Bambú: Características, tipos y cultivo*. Agrotendencia.Tv, Agricultura. <https://agrotendencia.tv/agropedia/forestales/cultivo-de-bambu/>
- Guzmán Yara, J. C., & Hernandez Bustos, Y. F. (2021). *Evaluación de las conexiones para estructuras en Guadua: Una mirada desde la bibliografía Científica* (Vol. 4, Issue 1) [Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/26549>
- Hidalgo López, O. (2003). *Bamboo The Gift of the Gods*. 553. <https://biblioteca.ugc.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=241291>
- Hong, C., Li, H., Lorenzo, R., Wu, G., Corbi, I., Corbi, O., Xiong, Z., Yang, D., & Zhang, H. (2019). Review on connections for original bamboo structures. *Journal of Renewable Materials*, 7(8), 714–730. <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.07647>
- Hu, C., Cheng, R., Cheng, Q., & Liu, J. (2021). Study on behavior of steel hoop connections for raw bamboo members. *Materials*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/ma14237253>
- Huy, B., & Long, T. (2019). A Manual for Bamboo Forest Biomass and Carbon Assessment. In *Researchgate* (Issue May). International Bamboo and Rattan Organisation (INBAR). https://www.researchgate.net/publication/333718544_A_Manual_for_Bamboo_Forest_Biomass_and_Carbon_Assessment/citations
- INBAR, Escuela Taller Construcciones Sostenibles con Bambú Manabí, AECID, MIDUVI, G. L. (2022). *Apoyo a la reactivación económica-productiva de la provincia de Manabí a través del desarrollo sostenible*

con base en el bambú, incluyendo la construcción de alianzas público-privadas para el desarrollo (APPD).

- INBAR. (2022). *Bambú-caña guadua material sismoresistente, que brinda seguridad, confort, durabilidad. Es sostenible e impulsa la economía local. Tipología vivienda bioclimática de bambú 56 m2*. Facebook. <https://www.facebook.com/INBARLAC/posts/bambú-caña-guadua-material-sismoresistente-que-brinda-seguridad-confort-durabili/1977353739118447/>
- INBAR. (2023). *INBAR apoya proyectos innovadores de bambú en Ecuador | AECID – Ecuador*. Cooperación Española En Ecuador (AECID). <https://aecid-ecuador.ec/2023/04/18/inbar-apoya-proyectos-innovadores-de-bambu-en-ecuador/>
- INEC. (2023). *Principales resultados de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo - Anual*.
- Izquierdo, P., & Moreno, F. (2019). *Evaluación Regional de Recursos de Bambú mediante la aplicación móvil* (82). <https://docplayer.es/186439459-Evaluacion-regional-de-recursos-de-bambu-mediante-la-aplicacion-movil.html>
- Jakob, M., Mahendran, A. R., Gindl-Altmutter, W., Bliem, P., Konnerth, J., Müller, U., & Veigel, S. (2022). The strength and stiffness of oriented wood and cellulose-fibre materials: A review. *Progress in Materials Science*, 125(December 2021), 100916. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2021.100916>
- Janssen, J. J. A. (2000). Designing and building with bamboo. In *International Network for Bamboo and Ratan* (Issue 20). <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780240812441000055%0Ahttps://research.tue.nl/en/publications/designing-and-building-with-bamboo-2>
- Jaramillo Hurtado, J. L. (2023). Uniones estructurales de bambú: criterios de su desempeño a partir de ensayos. In *MQR Investigar* (Vol. 7, Issue 2, pp. 381–396). <https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.2.2023.381-396>
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1982). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino* (pp. 1–591). <https://www.comunidadandina.org/biblioteca-andinoteca/manual-de-diseno-para-maderas-del-grupo-andino/>
- Kaminski, S., Lawrence, A., & Trujillo, D. (2016). Structural use of bamboo Part 1: Introduction to bamboo. *Structural Engineer*, 94(8), 40–43. <https://doi.org/10.56330/pnsc8891>
- Kelkar, B. U., Shukla, S. R., Nagraik, P., & Paul, B. N. (2023). Structural bamboo composites: A review of processing, factors affecting properties and recent advances. *Advances in Bamboo Science*, 3, 16. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100026>
- Liese, W., & Kim Tang, H. T. (2015). Properties of the Bamboo Culm. In W. Liese & M. Köhl (Eds.), *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6_8
- MIDUVI. (2014a). *NEC Cargas (No Sísmicas) NEC - SE - CG*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>
- MIDUVI. (2014b). *Peligro sísmico diseño sismo resistente NEC - SE - DS*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro->

Sismico-parte-1.pdf

- MIDUVI. (2016). *ESTRUCTURAS DE GUADÚA (GaK) NEC – SE – GUADÚA*.
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>
- Minke, G. (2022). *Building with bamboo*. *Birkhäuser Basel*.
https://issuu.com/birkhauser.ch/docs/minke_building_with_bamboo
- Muraleedharan, P., Anitha, V., Krishnankutty, C. ., Gnanaharan, R., Vijayakumaran Nair, P., Seethalakshmi, K. ., & Sankar, S. (2006). *Bamboo Sector in Kerala: Base Line data Generation for Developing an Action Plan* (Issue 291). <http://docs.kfri.res.in/KFRI-RR/KFRI-RR291.pdf>
- Nieto, F. (1985). Propagación y Manejo de Bambusa Guadua en Colombia. In T. CATIE, S. J. IUFRO, S. J. FAO, & S. J. MAB (Eds.), *Actas de los simposios sobre técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva* (pp. 279–286).
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4395>
- Nolivos Valiente, J. C., & Yacelga Díaz, J. G. (2010). *Estudio De Conexiones Entre Elementos Estructurales De Caña Guadua Sometidos a Carga Axial* [Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2651>
- Novacero. (2024). *Catálogo Estilpanel*. 37. <https://www.novacero.com/wp-content/uploads/2024/04/Catalogo-Construccion-Estilpanel-2024.pdf>
- Razak, W., Janshah, M., Hashim, W. S., & Shirley, B. (2007). Morphological and anatomical characteristics of managed natural bamboo stands - *Gigantochloa scortechinii*. *Journal of Bamboo and Rattan*, 6(1–2), 115–121.
- Razak, W., Mahmud, S., Mustapa, T., & Ahmad Mohd, Y. (2010). Durability performance of *Gigantochloa scortechinii* through Laboratory fungal decay tests. *Research Journal of Microbiology*, 5, 478–482.
- Razak, W., Mohd Tamizi, M., Othman, S., Azmy, M., Affendy, H., & Izyan, K. (2010). Anatomical and physical properties of cultivated two- and four-year-old *bambusa vulgaris*. *Sains Malaysiana*, 39(4), 571–579.
https://www.researchgate.net/publication/285947556_Anatomical_and_Physical_Properties_of_Cultivated_Two-_and_Four-year-old_Bambusa_vulgaris
- Rueda Vega, J. E. (2023). *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la Guadua angustifolia kunth municipio de La Victoria, Boyacá* (Vol. 5, pp. 1–14). Universidad nacional de colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84531>
- Sadiku, N., Adeyemi, I. E., & et al. (2019). *Density , Porosity and Dimensional Changes of Naturally -Grown Bambusa vulgaris Delignification and Cellulose Degradation of Bamboo during Kraft Pulping View project Bioenergy View ... Density, Porosity and Dimensional Changes of Naturally -Grown Bambusa. August*.
- Salas Delgado, E. (2006). Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia: Simón Velez : símbolo y búsqueda de lo primitivo. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 11(1), 1–14.

- http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Salazar, J., & Moreno, F. (2018). *Manual de silvicultura de la caña guadua (Guadua angustifolia Kunth) para Ecuador* (A. A. A. Rendón (ed.)).
- Schweingruber, F. H., Steiger, P., & Börner, A. (2019). Bark Anatomy of Trees and Shrubs in the Temperate Northern Hemisphere. In *Springer Nature Switzerland AG*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-14056-4_1
- Suarez, E., Rescalvo, F. J., Fernandez, A., Cruz, A., & Gallego, A. (2022). Influence of weathering on mechanical properties of culm samples of *Guadua angustifolia* Kunth bamboo with and without nodes. *Wood Material Science and Engineering*, 18(2), 434–445. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2039961>
- Tsoumis, T. G. (2024). *Wood as a material*. Britannica. <https://www.britannica.com/science/wood-plant-tissue/Wood-as-a-material>
- van der Lugt, P., van den Dobbelsteen, A. A. J. F., & Janssen, J. J. A. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, 20(9), 648–656. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.023>
- Vásconez, D. (2021). *Eco Centro Muyuna Amazonía diseñando una infraestructura bio ambiental* [Universidad Politécnica de Madrid]. https://issuu.com/danielvasconez9/docs/trabajo_de_fin_de_m_ster._daniel_vasconez
- Widyowijatnoko, A. (2012). Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction. In *Researchgate*. The RWTH Aachen University.
- Yuen, J. Q., Fung, T., & Ziegler, A. D. (2017). Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 393, 113–138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.017>

ANEXO A: Cálculo detallado de los pesos CUDS instalaciones

Para el cálculo de los pesos CUDS instalaciones, se utilizó el peso de cada elemento que conforma el sistema de iluminación.



De acuerdo al plano de instalaciones se lograron obtener las cantidades de cada elemento, se detallan a continuación.

Instalaciones eléctricas	Unidad	Cantidad
DESCRIPCIÓN		
Cajetines PVC Octogonales	U	8
Cajetines PVC rectangulares	U	7
Interruptor simple	U	4
Interruptor doble	U	3
Tubo Conduit Pesada 1/2"	m	69.71
Circuito de iluminación cable #14	m	143.12
Peso canal aguas lluvia	m	7.98

Además, se extrajo las dimensiones por tramos de las conexiones de las luminarias con los interruptores; de ahí se extrajo la cantidad de tubería para el cableado y la cantidad de cable que se utilizaría, considerando 20cm adicionales para la unión del cable con los accesorios de las luminarias y 30 cm adicionales en el interruptor. También se consideraron las distancias de ida y vuelta del cable neutro hacia los interruptores.

Tramos de las conexiones de las luminarias con los interruptores											
tr1	1.03	13.6	tr2	1	8.8	tr3	1.12	7.84	tr4	1.4	8.8
	3.75			1.4			0.8			1	
	2			2			2			2	
tr5	1.11	7.82	tr6	2.44	10.9	tr7	1.4	7.8	tr8	0.33	8.26
	0.8			1			0.5			1.8	
	2			2			2			2	
tr9	0.45	6.5	tr10	0.3	8.1	tr11	1.2	4.96			
	0.8			1.75			0.28				
	2			2			1				

Se extrajeron las dimensiones totales para el cable de fase y el cable de neutro, como se detalla en la siguiente tabla, teniendo un total de 143.13m de cableado. A partir de ahí, se utilizó el cable número 14 AWG, que se utiliza comúnmente para circuitos de iluminación en edificaciones residenciales y comerciales debido a su capacidad de manejar la carga adecuada para estos fines.

	Lineal m	Unión			Totales
		Cantidad	Adicionales m	Unión totales	
Fase	23.05	8	0.2	1.6	24.65
Neutro	116.37	7	0.3	2.1	118.47

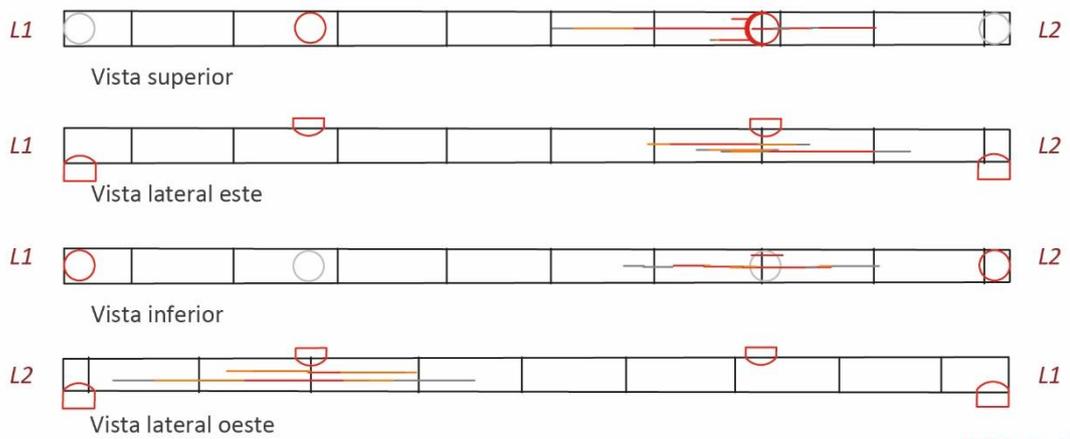
Se utilizó la ficha técnica de Conduit, Disensa (2018) en donde menciona que el peso unitario en kg de los elementos de iluminación, como se muestra en la siguiente tabla.

Instalaciones eléctricas	Peso unitario
DESCRIPCIÓN	kgf
Cajetines PVC Octogonales	0.06
Cajetines PVC rectangulares	0.05
Interruptor simple	0.05
Interruptor doble	0.06
Tubo Conduit Pesada 1/2"	0.083
Circuito de iluminación cable #14	0.372
Peso canal aguas lluvia	1.1

Se procedió a aplicar el peso por las cantidades y se obtuvo los siguientes resultados:

Instalaciones eléctricas	Unidad	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
DESCRIPCIÓN			kgf	kgf	
Cajetines PVC Octogonales	U	8	0.06	0.48	
Cajetines PVC rectangulares	U	7	0.05	0.35	
Interruptor simple	U	4	0.05	0.2	
Interruptor doble	U	3	0.06	0.18	
Tubo Conduit Pesada 1/2"	m	69.71	0.083	5.81	
Circuito de iluminación cable #14	m	143.12	0.372	53.24	
Peso canal aguas lluvia	m	7.98	1.1	8.778	
Peso total				69.04	kgf
A=				43.65	m ²
CUDSinstalaciones				1.6	kgf/m ²

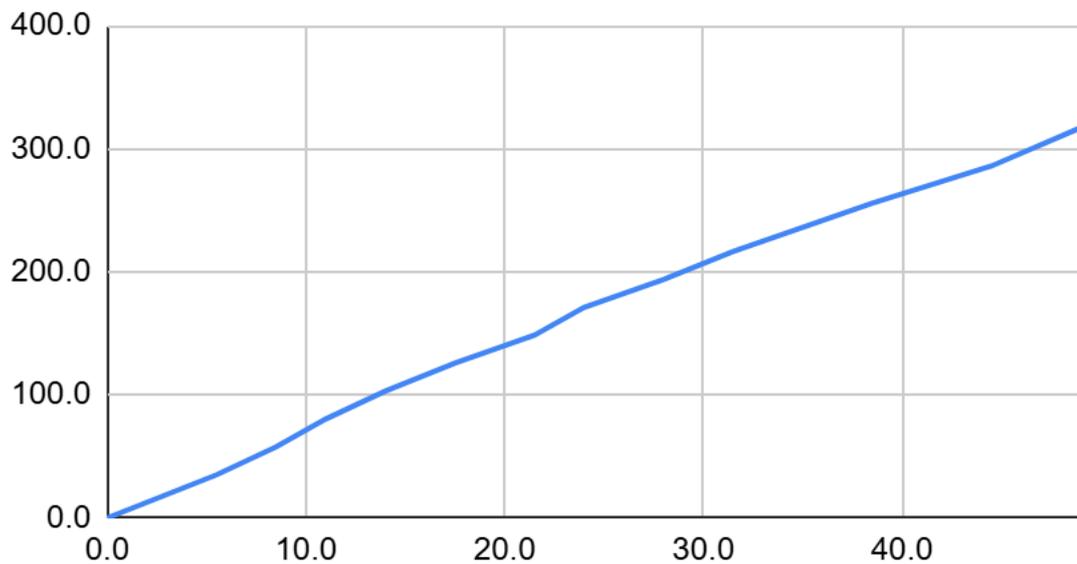
ANEXO B: Datos obtenidos del ensayo de la viga V02_A_CH



V02_A_CH

Fecha: 20/11/2024	Código	V02_A_CH	
Área	A=	4741.7074	mm ²
Diámetro interno	d=	90.105	mm
Diámetro externo	D=	118.98	mm
Espesor	t=	14.4375	mm
Longitud	L=	3.194	m
Radio	c=	59.49	mm
Momento de Inercia	I=	6601406	mm ⁴
Long desde eje al punto de apoyo	a=	0.805	m
Desplazamiento inicial		72.52	mm
Flecha admisible	fadm=	17.7	mm
Longitud	L=	319.4	cm
Flecha	f lp=	4.425	cm
Inercia	I=	660.140609	cm ⁴
A	a=	80.5	cm
Módulo de elasticidad	E=	219519	kgf/cm ²
	E=	21527	MPa

F/kgf y flecha/mm



V02_A_CH

P individual	Desplazamiento	P	P	F	flecha	M
lb	mm	lb	kgf	kgf	mm	kgf*m
0	72.52	0	0	0.0	0.0	0
50.706	76.43	50.706	23.0	11.5	3.9	9.25743397
50	77.45	100.706	45.7	22.8	4.9	18.385973
50	78.74	150.706	68.4	34.2	6.2	27.514512
50	79.88	200.706	91.0	45.5	7.4	36.643051
50	80.51	250.706	113.7	56.9	8.0	45.77159
50	81.4	300.706	136.4	68.2	8.9	54.900129
50	82.52	350.706	159.1	79.5	10.0	64.028668
50	83.51	400.706	181.8	90.9	11.0	73.157207
50	84.72	450.706	204.4	102.2	12.2	82.285746
50	85.38	500.706	227.1	113.6	12.9	91.414285
50	86.3	550.706	249.8	124.9	13.8	100.542824
50	87.2	600.706	272.5	136.2	14.7	109.671363
50	88.44	650.706	295.2	147.6	15.9	118.799902
50	89.55	700.706	317.8	158.9	17.0	127.928441
50	90.73	750.706	340.5	170.3	18.2	137.05698
50	91.14	800.706	363.2	181.6	18.6	146.185519
50	93.07	850.706	385.9	192.9	20.6	155.314058
51.45	93.58	902.156	409.2	204.6	21.1	164.707325
46.02	94.86	948.176	430.1	215.0	22.3	173.109232
49.88	95.63	998.056	452.7	226.4	23.1	182.215862
48.22	96.75	1046.276	474.6	237.3	24.2	191.019425
48.4	97.74	1094.676	496.5	248.3	25.2	199.855851
50.96	98.26	1145.636	519.7	259.8	25.7	209.159658
49.42	99.07	1195.056	542.1	271.0	26.6	218.182306
57.15	101.11	1252.206	568.0	284.0	28.6	228.616226
62.78	102.09	1314.986	596.5	298.2	29.6	240.07802
49.08	102.69	1364.066	618.7	309.4	30.2	249.038594
51.18	103.86	1415.246	641.9	321.0	31.3	258.382566
43.94	104.53	1459.186	661.9	330.9	32.0	266.404726
44.78	105.4	1503.966	682.2	341.1	32.9	274.580246
54.3	106.52	1558.266	706.8	353.4	34.0	284.493839
53.7	107.69	1611.966	731.2	365.6	35.2	294.29789
44.04	108.61	1656.006	751.2	375.6	36.1	302.338307
83.87	110.54	1739.876	789.2	394.6	38.0	317.650518
49.74	111.88	1789.616	811.8	405.9	39.4	326.731589
55.38	112.81	1844.996	836.9	418.4	40.3	336.842359
48.02	113.5	1893.016	858.7	429.3	41.0	345.609408

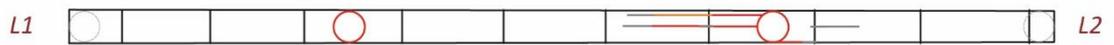
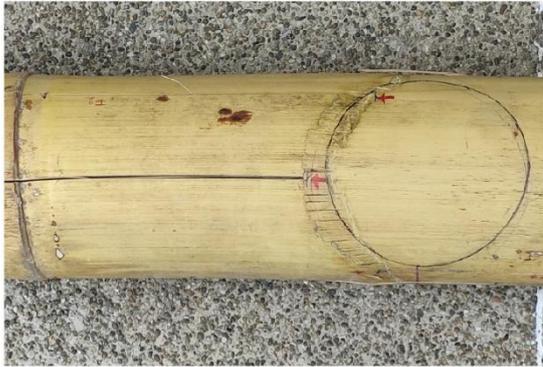
67.48	114.77	1960.496	889.3	444.6	42.3	357.929284
82.52	116.77	2043.016	926.7	463.3	44.3	372.995025
35.14	117.58	2078.156	942.6	471.3	45.1	379.410562
42.6	118.11	2120.756	962.0	481.0	45.6	387.188077
48.48	119.56	2169.236	983.9	492.0	47.0	396.039109
45.72	120.48	2214.956	1004.7	502.3	48.0	404.386245
64.06	121.38	2279.016	1033.7	516.9	48.9	416.081729
58.42	122.4	2337.436	1060.2	530.1	49.9	426.747514
40.3	123.5	2377.736	1078.5	539.3	51.0	434.105116
32.42	124.63	2410.156	1093.2	546.6	52.1	440.024061
42.38	126.5	2452.536	1112.5	556.2	54.0	447.76141
264.32	131	2716.856	1232.3	616.2	58.5	496.018519
37.8	132	2754.656	1249.5	624.7	59.5	502.919695
31.62	133	2786.276	1263.8	631.9	60.5	508.692583
33.46	134	2819.736	1279.0	639.5	61.5	514.801401
19.26	134	2838.996	1287.7	643.9	61.5	518.317714
47.44	135.5	2886.436	1309.3	654.6	63.0	526.978872
61.6	138	2948.036	1337.2	668.6	65.5	538.225232
61.12	140	3009.156	1364.9	682.5	67.5	549.383958
87.98	142	3097.136	1404.8	702.4	69.5	565.446535

V02_A_CH

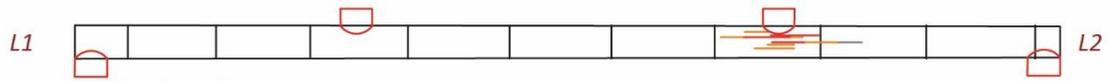
Esf. Flexionante	f teórica	Esf. Flexionante	Esf. Aplasta	Esf. Cort NEC	Esf. Cort Colombiano	Esf. Aplasta P/A
kgf/cm2	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.75	0.818	0.101	0.030	0.032	0.015
17	1.48	1.625	0.200	0.059	0.064	0.030
25	2.22	2.432	0.299	0.088	0.095	0.045
33	2.95	3.238	0.398	0.118	0.127	0.059
41	3.69	4.045	0.498	0.147	0.159	0.074
49	4.42	4.852	0.597	0.176	0.190	0.089
58	5.16	5.659	0.696	0.205	0.222	0.104
66	5.89	6.465	0.795	0.235	0.254	0.119
74	6.63	7.272	0.895	0.264	0.285	0.133
82	7.36	8.079	0.994	0.293	0.317	0.148
91	8.10	8.885	1.093	0.323	0.348	0.163
99	8.83	9.692	1.192	0.352	0.380	0.178
107	9.57	10.499	1.292	0.381	0.412	0.193
115	10.30	11.306	1.391	0.410	0.443	0.207
124	11.04	12.112	1.490	0.440	0.475	0.222

132	11.77	12.919	1.589	0.469	0.507	0.237
140	12.51	13.726	1.689	0.498	0.538	0.252
148	13.27	14.556	1.791	0.528	0.571	0.267
156	13.94	15.299	1.882	0.555	0.600	0.281
164	14.68	16.103	1.981	0.585	0.632	0.295
172	15.39	16.881	2.077	0.613	0.662	0.310
180	16.10	17.662	2.173	0.641	0.693	0.324
188	16.85	18.485	2.274	0.671	0.725	0.339
197	17.57	19.282	2.372	0.700	0.756	0.354
206	18.41	20.204	2.486	0.733	0.792	0.371
216	19.34	21.217	2.610	0.770	0.832	0.389
224	20.06	22.009	2.708	0.799	0.863	0.404
233	20.81	22.835	2.809	0.829	0.896	0.419
240	21.46	23.544	2.896	0.855	0.923	0.432
247	22.12	24.266	2.985	0.881	0.952	0.445
256	22.91	25.142	3.093	0.913	0.986	0.461
265	23.70	26.009	3.200	0.944	1.020	0.477
272	24.35	26.719	3.287	0.970	1.048	0.490
286	25.59	28.072	3.454	1.019	1.101	0.515
294	26.32	28.875	3.552	1.048	1.132	0.530
304	27.13	29.769	3.662	1.081	1.168	0.546
311	27.84	30.543	3.757	1.109	1.198	0.560
323	28.83	31.632	3.891	1.148	1.241	0.580
336	30.04	32.964	4.055	1.197	1.293	0.605
342	30.56	33.530	4.125	1.217	1.315	0.615
349	31.19	34.218	4.210	1.242	1.342	0.628
357	31.90	35.000	4.306	1.271	1.373	0.642
364	32.57	35.738	4.397	1.297	1.402	0.656
375	33.51	36.771	4.524	1.335	1.442	0.675
385	34.37	37.714	4.640	1.369	1.479	0.692
391	34.96	38.364	4.720	1.393	1.505	0.704
397	35.44	38.887	4.784	1.412	1.525	0.713
404	36.06	39.571	4.868	1.437	1.552	0.726
447	39.95	43.836	5.393	1.591	1.719	0.804
453	40.51	44.446	5.468	1.614	1.743	0.815
458	40.97	44.956	5.531	1.632	1.763	0.825
464	41.46	45.496	5.597	1.652	1.784	0.835
467	41.75	45.806	5.635	1.663	1.797	0.840
475	42.45	46.572	5.729	1.691	1.827	0.854
485	43.35	47.566	5.852	1.727	1.866	0.873
495	44.25	48.552	5.973	1.763	1.904	0.891
510	45.54	49.971	6.148	1.814	1.960	0.917

ANEXO C. Datos del ensayo de la Viga V01_A_A



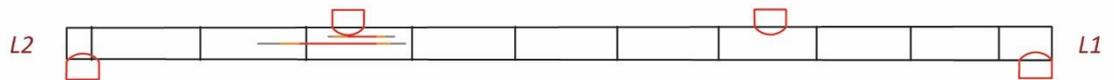
Vista superior



Vista lateral este



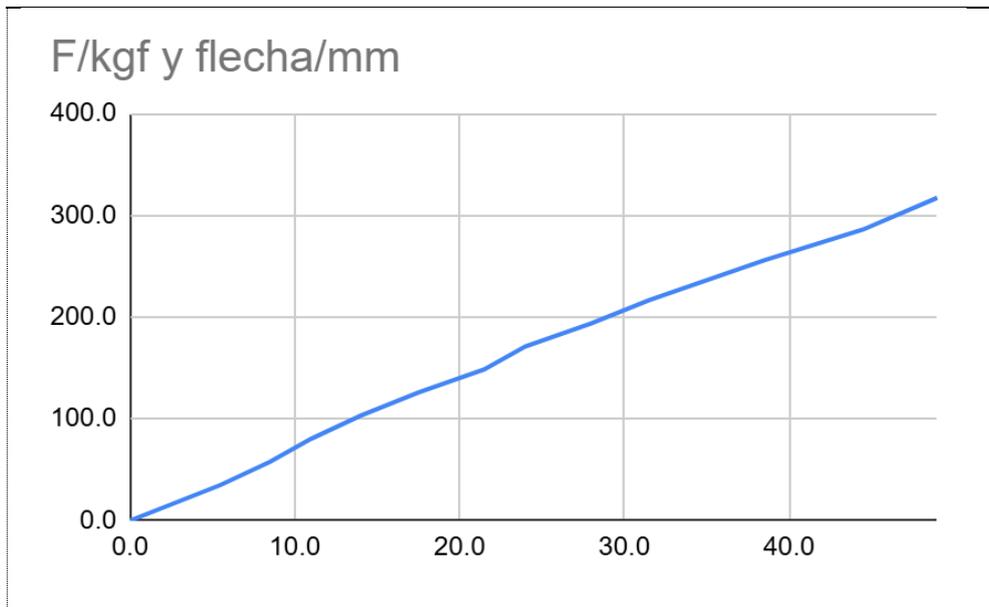
Vista inferior



Vista lateral oeste

V01_A_A

	Código	V01_A_A	
	Fecha:	19/11/2024	
	Area	3509.75572	mm ²
Diámetro interno	d=	98.425	mm
Diámetro externo	D=	118.98	mm
Espesor	t=	10.2775	mm
Longitud	l=	3.194	m
Radio	c=	59.49	mm
Momento de Inercia	I=	5230364	mm ⁴
Long desde eje al punto de apoyo	a=	0.885	m
	Desplazamiento inicial	186	mm
Flecha admisible	f _{adm} =	17.7	mm
Longitud	l=	319.4	cm
Flecha	f _{lp} =	4.45	cm
Inercia	I=	523.0364497	cm ⁴
A	a=	88.5	cm
Módulo de elasticida	E=	124410	kgf/cm ²
	E=	12200	MPa



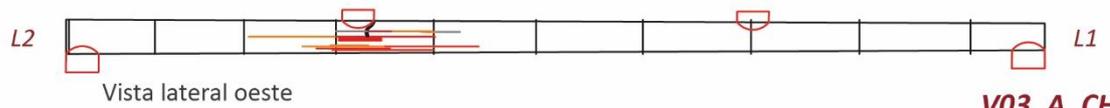
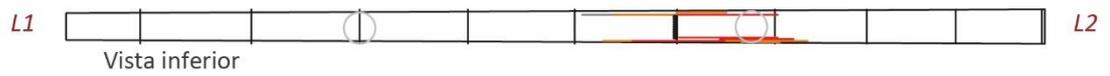
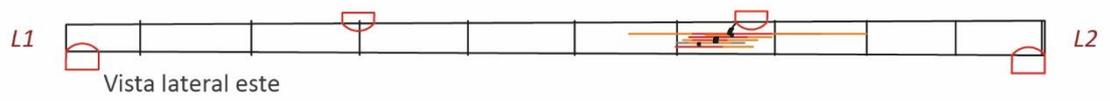
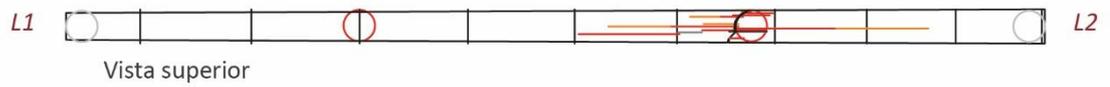
V01_A_A

P individual	Desplazamiento	P	P	F	flecha	M
lb	mm	lb	kgf	kgf	mm	kgf*m
0	186	0	0	0.0	0.0	0
154.324	191.5	154.324	70.0	35.0	5.5	30.97505833
100	194.5	254.324	115.4	57.7	8.5	51.04650433
100	197	354.324	160.7	80.4	11.0	71.11795033
100	200	454.324	206.1	103.0	14.0	91.18939633
100	203.5	554.324	251.4	125.7	17.5	111.2608423
100	207.5	654.324	296.8	148.4	21.5	131.3322883
100	210	754.324	342.2	171.1	24.0	151.4037343
100	214	854.324	387.5	193.8	28.0	171.4751803
100	217.5	954.324	432.9	216.4	31.5	191.5466263
173.04	224.5	1127.364	511.4	255.7	38.5	226.2782565
132.98	230.5	1260.344	571.7	285.8	44.5	252.9692654
137.62	235	1397.964	634.1	317.1	49.0	280.5915894

V01_A_A

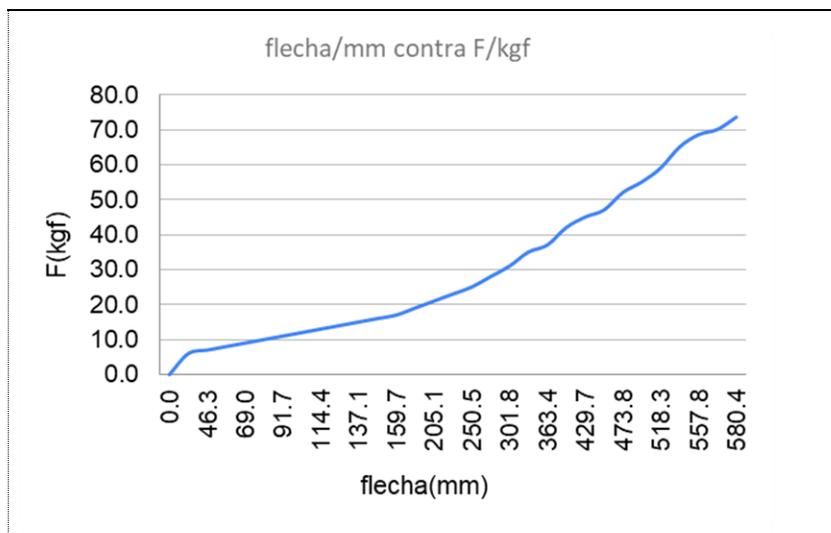
Esf. Flexionant e	f teóric a	Esf. Flexionant e	Esf. Aplasta MPa	Esf. Cort NEC MPa	Esf. Cort Colombiano MPa	Esf. Aplasta P/A MPa
kgf/cm2	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
35	0.545	3.455	0.604	0.139	0.147	0.046
58	0.898	5.694	0.996	0.230	0.243	0.075
81	1.251	7.933	1.388	0.320	0.338	0.105
104	1.604	10.171	1.780	0.411	0.434	0.134
127	1.957	12.410	2.171	0.501	0.529	0.164
149	2.310	14.649	2.563	0.591	0.625	0.194
172	2.663	16.888	2.955	0.682	0.720	0.223
195	3.016	19.127	3.346	0.772	0.816	0.253
218	3.370	21.365	3.738	0.863	0.912	0.282
257	3.980	25.239	4.416	1.019	1.077	0.334
288	4.450	28.216	4.937	1.139	1.204	0.373
319	4.936	31.297	5.476	1.264	1.335	0.414

ANEXO D. Datos del ensayo de la Viga V03_A_CH



V03_A_CH

Fecha: 22/11/2024	Código	V03_A_CH	
	Área	3929.991431	mm ²
Diámetro interno	d=	76.66	mm
Diámetro externo	D=	104.31	mm
Espesor	t=	13.825	mm
Longitud	l=	3.1905	m
Radio	c=	52.155	mm
Momento de Inercia	I=	4116020	mm ⁴
Long desde eje al punto de apoyo	a=	0.955	m
Desplazamiento inicial		95	mm
Flecha admisible	fadm=	17.7	mm
Longitud	l=	319.05	cm
Flecha	f lp=	3.1	cm
Inercia	I=	411.6020249	cm ⁴
A	a=	95.5	cm
Módulo de elasticidad	E=	253095	kgf/cm ²
	E=	24820	MPa



V03_A_CH

P individual	Desplazamiento	P	P	F	flecha	M
lb	mm	lb	kgf	kgf	mm	kgf*m
0	95	0	0	0.0	0.0	0
154.324	101	154.324	70.0	35.0	6.0	33.42506294
50	102	204.324	92.7	46.3	7.0	44.25457194
50	103	254.324	115.4	57.7	8.0	55.08408094
50	104	304.324	138.0	69.0	9.0	65.91358994
50	105	354.324	160.7	80.4	10.0	76.74309894
50	106	404.324	183.4	91.7	11.0	87.57260794
50	107	454.324	206.1	103.0	12.0	98.40211694
50	108	504.324	228.8	114.4	13.0	109.2316259
50	109	554.324	251.4	125.7	14.0	120.0611349
50	110	604.324	274.1	137.1	15.0	130.8906439
50	111	654.324	296.8	148.4	16.0	141.7201529
50	112	704.324	319.5	159.7	17.0	152.5496619
100	114	804.324	364.8	182.4	19.0	174.2086799
100	116	904.324	410.2	205.1	21.0	195.8676979
100	118	1004.324	455.6	227.8	23.0	217.5267159
100	120	1104.324	500.9	250.5	25.0	239.1857339
108.08	123	1212.404	549.9	275.0	28.0	262.5948006
118.38	126	1330.784	603.6	301.8	31.0	288.2347461
154.02	130	1484.804	673.5	336.7	35.0	321.5939656
117.7	132	1602.504	726.9	363.4	37.0	347.0866298
165.68	137	1768.184	802.0	401.0	42.0	382.9712908
126.5	140	1894.684	859.4	429.7	45.0	410.3699486
65.08	142	1959.764	888.9	444.5	47.0	424.4656375
129.38	147	2089.144	947.6	473.8	52.0	452.488075
97.84	150	2186.984	992.0	496.0	55.0	473.6792582
98.2	154	2285.184	1036.5	518.3	59.0	494.9484139
102.82	160	2388.004	1083.2	541.6	65.0	517.2182162
71.68	163.5	2459.684	1115.7	557.8	68.5	532.7434003
28.2	165	2487.884	1128.5	564.2	70.0	538.8512434
71.18	168.5	2559.064	1160.8	580.4	73.5	554.2681324

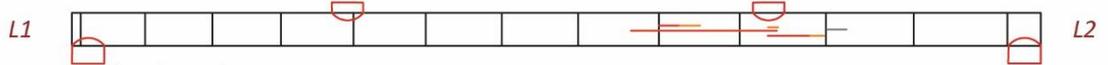
V03_A_CH

Esf. Flexionante	f teórica	Esf. Flexionante	Esf. Aplasta	Esf. Cort NEC	Esf. Cort Colombiano	Esf. Aplasta P/A
kgf/cm2	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
42	0.359	4.153	0.293	0.105	0.114	0.046
56	0.476	5.499	0.388	0.138	0.151	0.060
70	0.592	6.845	0.483	0.172	0.188	0.075
84	0.709	8.191	0.578	0.206	0.224	0.090
97	0.825	9.536	0.672	0.240	0.261	0.105
111	0.942	10.882	0.767	0.274	0.298	0.120
125	1.058	12.228	0.862	0.308	0.335	0.134
138	1.175	13.573	0.957	0.342	0.372	0.149
152	1.291	14.919	1.052	0.375	0.409	0.164
166	1.408	16.265	1.147	0.409	0.446	0.179
180	1.524	17.611	1.242	0.443	0.482	0.194
193	1.641	18.956	1.337	0.477	0.519	0.208
221	1.874	21.648	1.526	0.545	0.593	0.238
248	2.107	24.339	1.716	0.613	0.667	0.268
276	2.340	27.030	1.906	0.680	0.741	0.297
303	2.572	29.722	2.096	0.748	0.814	0.327
333	2.824	32.631	2.301	0.821	0.894	0.359
365	3.100	35.817	2.526	0.901	0.981	0.394
407	3.459	39.962	2.818	1.006	1.095	0.439
440	3.733	43.130	3.041	1.085	1.182	0.474
485	4.119	47.589	3.356	1.198	1.304	0.523
520	4.414	50.994	3.596	1.283	1.397	0.561
538	4.565	52.745	3.719	1.327	1.445	0.580
573	4.867	56.227	3.965	1.415	1.540	0.618
600	5.094	58.861	4.150	1.481	1.613	0.647
627	5.323	61.504	4.337	1.548	1.685	0.676
655	5.563	64.271	4.532	1.618	1.761	0.707
675	5.730	66.200	4.668	1.666	1.814	0.728
683	5.795	66.959	4.722	1.685	1.834	0.736
702	5.961	68.875	4.857	1.733	1.887	0.757

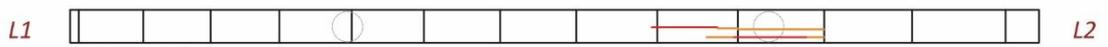
ANEXO E. Datos del ensayo de la Viga V04_A_CH



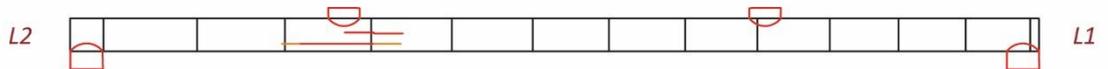
Vista superior



Vista lateral este



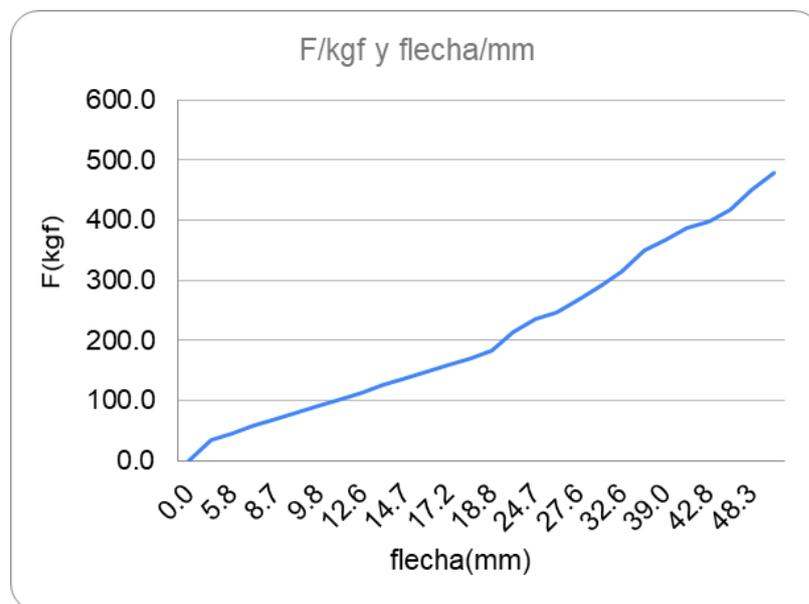
Vista inferior



Vista lateral oeste

V04_A_CH

Fecha: 21/11/2024	Código	V04_A_CH	
	Area	4239.736488	mm ²
Diámetro interno	d=	86.1	mm
Diámetro externo	D=	113.1875	mm
Espesor	t=	13.54375	mm
Longitud	l=	3.2	m
Radio	c=	56.59375	mm
Momento de Inercia	I=	5359204	mm ⁴
Long desde eje al punto de apoyo	a=	0.89	m
Desplazamiento inicial		94.49	mm
Flecha admisible	fadm=	17.8	mm
Longitud	l=	320	cm
Flecha	f lp=	3.899	cm
Inercia	I=	535.9203785	cm ⁴
A	a=	89	cm
Módulo de elasticidad	E=	179595	kgf/cm ²
	E=	17612	MPa

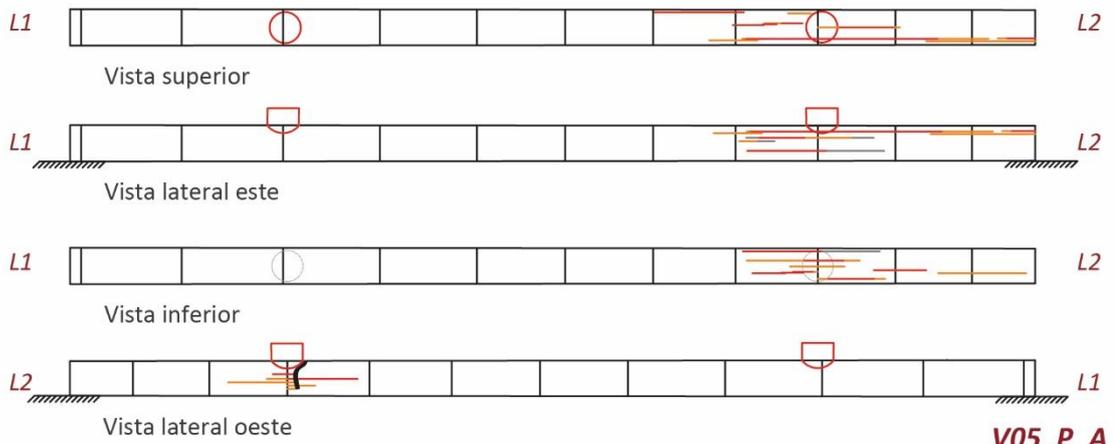


P individual	Desplazamiento	P	P	F	flecha	M
lb	mm	lb	kgf	kgf	mm	kgf*m
0	94.49	0	0	0.0	0.0	0
154.324	97.08	154.324	70.0	35.0	2.6	31.15005865
50	100.32	204.324	92.7	46.3	5.8	41.24248065
50	101.98	254.324	115.4	57.7	7.5	51.33490265
50	103.18	304.324	138.0	69.0	8.7	61.42732465
50	103.78	354.324	160.7	80.4	9.3	71.51974665
50	104.33	404.324	183.4	91.7	9.8	81.61216865
50	105.85	454.324	206.1	103.0	11.4	91.70459065
50	107.06	504.324	228.8	114.4	12.6	101.7970127
50	108.12	554.324	251.4	125.7	13.6	111.8894347
50	109.18	604.324	274.1	137.1	14.7	121.9818567
50	110.17	654.324	296.8	148.4	15.7	132.0742787
50	111.69	704.324	319.5	159.7	17.2	142.1667007
50	112.38	754.324	342.2	171.1	17.9	152.2591227
50	113.27	804.324	364.8	182.4	18.8	162.3515447
137.38	117.47	941.704	427.1	213.6	23.0	190.0814833
93.6	119.19	1035.304	469.6	234.8	24.7	208.9744973
49.18	120.74	1084.484	491.9	246.0	26.3	218.9014036
100	122.12	1184.484	537.3	268.6	27.6	239.0862476
100	124.5	1284.484	582.6	291.3	30.0	259.2710916
100	127.1	1384.484	628.0	314.0	32.6	279.4559356
156.26	131.56	1540.744	698.9	349.4	37.1	310.9967728
78.78	133.48	1619.524	734.6	367.3	39.0	326.8983929
83.32	135.58	1702.844	772.4	386.2	41.1	343.716405
53.18	137.32	1756.024	796.5	398.3	42.8	354.450705
80.7	139.3	1836.724	833.1	416.6	44.8	370.7398741
151.76	142.74	1988.484	902.0	451.0	48.3	401.3723934
120.6	147.68	2109.084	956.7	478.3	53.2	425.7153152

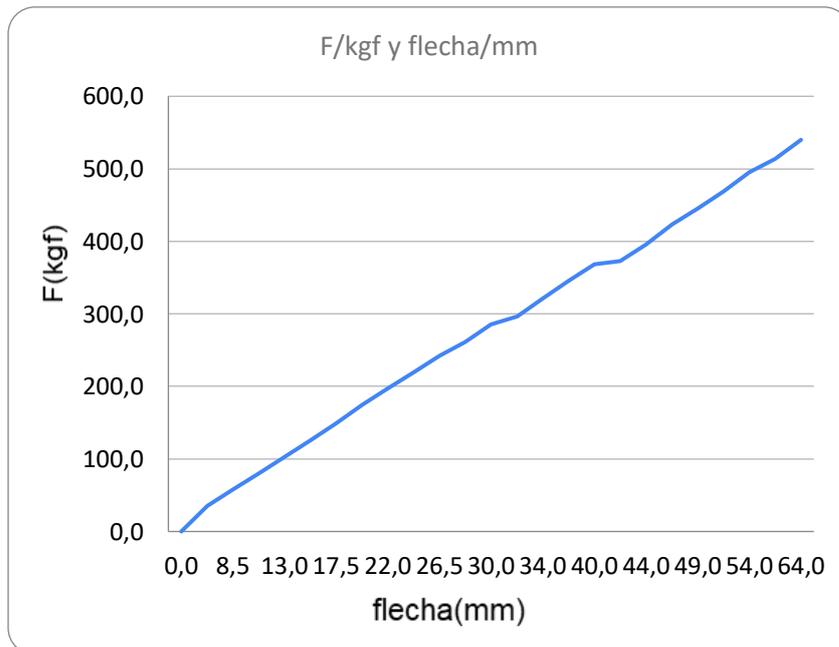
V04_A_CH

Esf. Flexionante	f teórica	Esf. Flexionante	Esf. Aplasta	Esf. Cort NEC	Esf. Cort Colombiano	Esf. Aplasta P/A
kgf/cm2	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	0.372	3.226	0.331	0.102	0.110	0.046
44	0.492	4.271	0.438	0.135	0.145	0.060
54	0.612	5.316	0.546	0.168	0.181	0.075
65	0.733	6.361	0.653	0.201	0.217	0.090
76	0.853	7.407	0.760	0.234	0.252	0.105
86	0.973	8.452	0.868	0.267	0.288	0.120
97	1.094	9.497	0.975	0.300	0.323	0.134
107	1.214	10.542	1.082	0.332	0.359	0.149
118	1.335	11.587	1.189	0.365	0.394	0.164
129	1.455	12.632	1.297	0.398	0.430	0.179
139	1.575	13.678	1.404	0.431	0.466	0.194
150	1.696	14.723	1.511	0.464	0.501	0.208
161	1.816	15.768	1.619	0.497	0.537	0.223
171	1.936	16.813	1.726	0.530	0.572	0.238
201	2.267	19.685	2.021	0.621	0.670	0.279
221	2.492	21.641	2.221	0.683	0.737	0.306
231	2.611	22.669	2.327	0.715	0.772	0.321
252	2.852	24.760	2.542	0.781	0.843	0.351
274	3.092	26.850	2.756	0.847	0.914	0.380
295	3.333	28.940	2.971	0.913	0.985	0.410
328	3.709	32.207	3.306	1.016	1.096	0.456
345	3.899	33.854	3.475	1.068	1.152	0.479
363	4.100	35.595	3.654	1.123	1.212	0.504
374	4.228	36.707	3.768	1.158	1.249	0.520
392	4.422	38.394	3.941	1.211	1.307	0.544
424	4.787	41.566	4.267	1.311	1.415	0.589
450	5.078	44.087	4.526	1.390	1.501	0.624

ANEXO F. Datos del ensayo de la Viga V05_P_A



Fecha: 22/11/2024	Código	V05_P_A	
	Área	4330.187236	mm ²
Diámetro interno	d=	97.4	mm
Diámetro externo	D=	122.475	mm
Espesor	t=	12.5375	mm
Longitud	l=	3.175	m
Radio	c=	61.2375	mm
Momento de Inercia	I=	6627065	mm ⁴
Long desde eje al punto de apoyo	a=	0.865	m
Desplazamiento inicial		146	mm
Flecha admisible	fadm=	17.6	mm
Longitud	l=	317.5	cm
Flecha	f lp=	5.4	cm
Inercia	I=	662.7065471	cm ⁴
A	a=	86.5	cm
Módulo de elasticidad	E=	135829	kgf/cm ²
	E=	13320	MPa



V05_P_A

P individual	Desplazamiento	P	P	F	flecha	M
lb	mm	lb	kgf	kgf	mm	kgf*m
0	146	0	0	0.0	0.0	0
154.324	153.5	154.324	70.0	35.0	7.5	30.27505701
102.9	154.5	257.224	116.7	58.3	8.5	50.46182877
95.76	156	352.984	160.1	80.1	10.0	69.24788576
98.78	159	451.764	204.9	102.5	13.0	88.62640194
102.26	161	554.024	251.3	125.7	15.0	108.6876194
102	163.5	656.024	297.6	148.8	17.5	128.6978305
114.08	165.5	770.104	349.3	174.7	19.5	151.0778784
99.28	168	869.384	394.3	197.2	22.0	170.5544838
98.54	170	967.924	439.0	219.5	24.0	189.8859172
98.86	172.5	1066.784	483.9	241.9	26.5	209.2801276
85.06	174.5	1151.844	522.5	261.2	28.5	225.9670742
105.6	176	1257.444	570.4	285.2	30.0	246.6835281
50.55	178	1307.994	593.3	296.6	32.0	256.6003532
109	180	1416.994	642.7	321.4	34.0	277.9838141
106.66	182.5	1523.654	691.1	345.6	36.5	298.9082172
99.62	186	1623.274	736.3	368.2	40.0	318.4515233
21.84	188	1645.114	746.2	373.1	42.0	322.7360627
100.22	190	1745.334	791.7	395.8	44.0	342.3970759
122.56	192	1867.894	847.3	423.6	46.0	366.4407178
95.28	195	1963.174	890.5	445.2	49.0	385.1326091
103.56	197.5	2066.734	937.5	468.7	51.5	405.4488587
115.58	200	2182.314	989.9	494.9	54.0	428.1231743
81.92	204	2264.234	1027.0	513.5	58.0	444.1941203
116.72	210	2380.954	1080.0	540.0	64.0	467.0920795

V05_P_A

Esf. Flexionante	f teórica	Esf. Flexionante	Esf. Aplasta	Esf. Cort NEC	Esf. Cort Colombiano	Esf. Aplasta P/A
kgf/cm²	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	0.382	2.743	0.418	0.106	0.114	0.046
47	0.636	4.573	0.697	0.177	0.189	0.076
64	0.873	6.275	0.956	0.243	0.260	0.104
82	1.118	8.031	1.224	0.311	0.332	0.134
100	1.371	9.849	1.501	0.382	0.408	0.164
119	1.623	11.662	1.777	0.452	0.483	0.194
140	1.906	13.691	2.087	0.531	0.567	0.228
158	2.151	15.455	2.356	0.599	0.640	0.257
175	2.395	17.207	2.623	0.667	0.712	0.286
193	2.640	18.965	2.890	0.735	0.785	0.316
209	2.850	20.477	3.121	0.794	0.847	0.341
228	3.111	22.354	3.407	0.867	0.925	0.372
237	3.237	23.253	3.544	0.902	0.962	0.387
257	3.506	25.191	3.839	0.977	1.042	0.419
276	3.770	27.087	4.128	1.050	1.121	0.451
294	4.017	28.858	4.398	1.119	1.194	0.480
298	4.071	29.246	4.457	1.134	1.210	0.487
316	4.319	31.028	4.729	1.203	1.284	0.517
339	4.622	33.206	5.061	1.288	1.374	0.553
356	4.858	34.900	5.319	1.353	1.444	0.581
375	5.114	36.741	5.600	1.425	1.520	0.612
396	5.400	38.796	5.913	1.504	1.605	0.646
410	5.603	40.252	6.135	1.561	1.666	0.670
432	5.892	42.327	6.451	1.641	1.752	0.705

ANEXO G. Datos del ensayo de la Viga V06_P_G



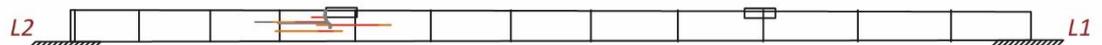
Vista superior



Vista lateral este



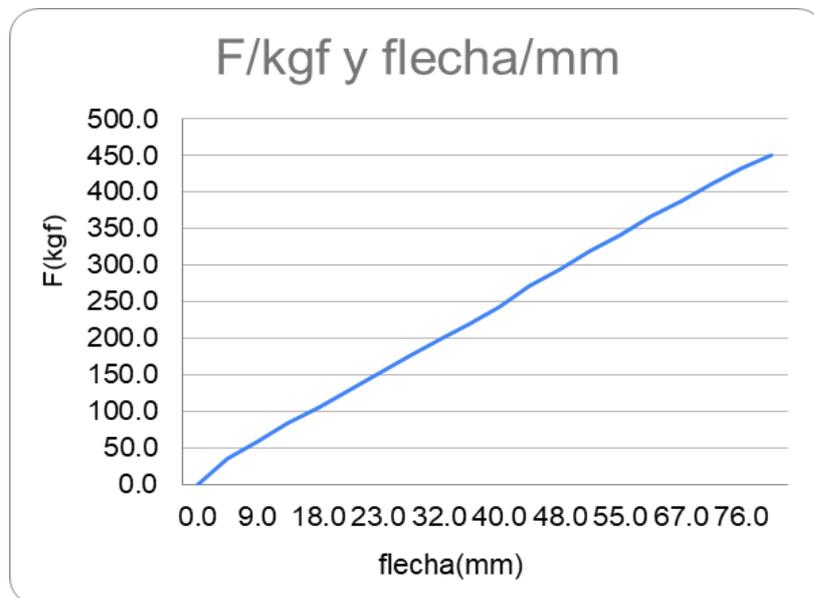
Vista inferior



Vista lateral oeste

V06_P_G

Fecha: 23/11/2024	Código	V06_P_G	
	Área	2462.410172	mm ²
Diámetro interno	d=	88.78	mm
Diámetro externo	D=	104.9625	mm
Espesor	t=	8.09125	mm
Longitud entre eje y eje	l=	3.19	m
Radio	c=	52.48125	mm
Momento de Inercia	I=	2908577	mm ⁴
Long desde eje al punto de apoyo	a=	0.8725	m
Desplazamiento inicial		184	mm
Flecha admisible	fadm=	17.7	mm
Longitud	l=	319	cm
Flecha	f lp=	7.6	cm
Inercia	I=	290.8577195	cm ⁴
A	a=	87.25	cm
Módulo de elasticidad	E=	195743	kgf/cm ²
	E=	19196	MPa



V06_P_G

P individual	Desplazamiento	P	P	F	flecha	M
lb	mm	lb	kgf	kgf	mm	kgf*m
0	184	0	0	0.0	0.0	0
154.324	190	154.324	70.0	35.0	6.0	30.5375575
99.36	193	253.684	115.1	57.5	9.0	50.19886561
112.52	197	366.204	166.1	83.1	13.0	72.46426808
100.2	202	466.404	211.6	105.8	18.0	92.29179498
99.86	204	566.264	256.9	128.4	20.0	112.0520429
101.58	207	667.844	302.9	151.5	23.0	132.1526435
100.68	211	768.524	348.6	174.3	27.0	152.0751525
100.92	216	869.444	394.4	197.2	32.0	172.0451527
98.73	220	968.174	439.2	219.6	36.0	191.5817967
101.34	224	1069.514	485.1	242.6	40.0	211.6349063
125.98	228	1195.494	542.3	271.1	44.0	236.5637669
101.61	232	1297.104	588.4	294.2	48.0	256.6703039
108.82	236	1405.924	637.7	318.9	52.0	278.2035522
100.18	239	1506.104	683.2	341.6	55.0	298.0271215
106.56	244	1612.664	731.5	365.7	60.0	319.1131621
97.84	251	1710.504	775.9	387.9	67.0	338.4736934
99.02	255	1809.524	820.8	410.4	71.0	358.0677225
99.99	260	1909.514	866.1	433.1	76.0	377.8536947
78.5	265	1988.014	901.7	450.9	81.0	393.3872362

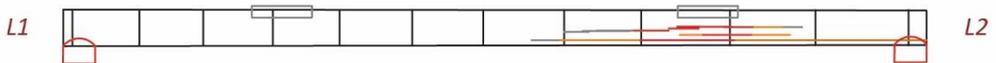
V06_P_G

Esf. Flexionante	f teórica	Esf. Flexionante	Esf. Aplasta	Esf. Cort NEC	Esf. Cort Colombiano	Esf. Aplasta P/A
kgf/cm ²	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
55	6.142	5.404	0.860	0.206	0.216	0.046
91	10.097	8.883	1.414	0.339	0.356	0.075
131	14.575	12.822	2.042	0.489	0.514	0.108
167	18.563	16.331	2.600	0.623	0.654	0.138
202	22.538	19.827	3.157	0.756	0.794	0.168
238	26.581	23.384	3.723	0.892	0.937	0.198
274	30.588	26.909	4.285	1.026	1.078	0.227
310	34.604	30.443	4.847	1.161	1.220	0.257
346	38.534	33.900	5.398	1.293	1.358	0.287
382	42.567	37.448	5.963	1.428	1.500	0.317
427	47.582	41.860	6.665	1.596	1.677	0.354
463	51.626	45.417	7.232	1.732	1.819	0.384
502	55.957	49.228	7.838	1.877	1.972	0.416
538	59.944	52.735	8.397	2.011	2.113	0.446
576	64.185	56.467	8.991	2.153	2.262	0.477
611	68.079	59.892	9.536	2.284	2.399	0.506
646	72.020	63.359	10.088	2.416	2.538	0.536
682	76.000	66.861	10.646	2.549	2.679	0.565
710	79.124	69.609	11.084	2.654	2.789	0.588

ANEXO A. Datos del ensayo de la Viga V07_A_G



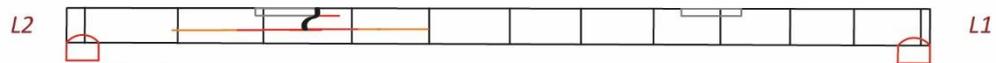
Vista superior



Vista lateral este



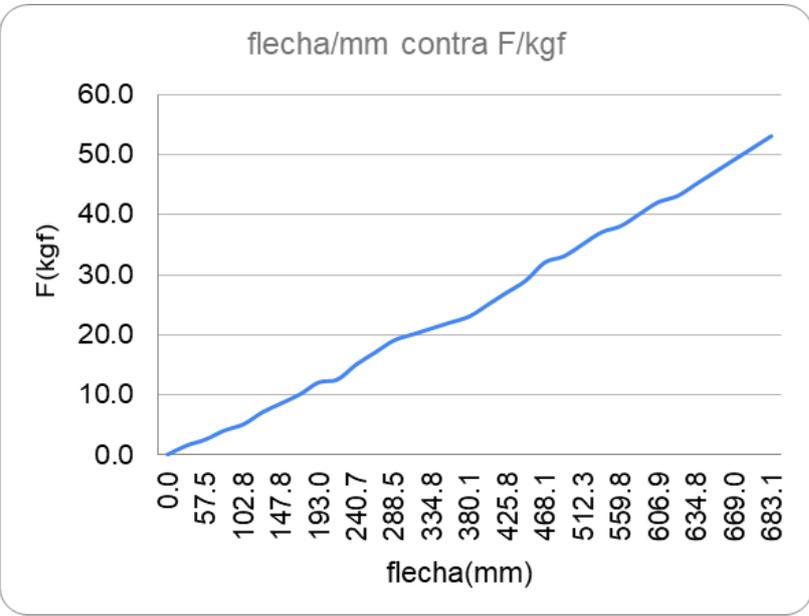
Vista inferior



Vista lateral oeste

V07_A_G

Fecha: 25/11/2024		Código	V07_A_G
	Área	5280.569156	mm ²
Diámetro interno	d=	93.0925	mm
Diámetro externo	D=	124.055	mm
Espesor	t=	15.48125	mm
Longitud entre ejes	l=	2.86	m
Radio	c=	62.0275	mm
Momento de Inercia	I=	7939307	mm ⁴
Long desde eje al punto de apoyo	a=	0.7075	m
Desplazamiento inicial		83	mm
Flecha admisible	fadm=	15.9	mm
Longitud	l=	286	cm
Flecha	f lp=	2.5	cm
Inercia	I=	793.9306959	cm ⁴
	a=	70.75	cm
Módulo de elasticidad	E=	134690	kgf/cm ²
	E=	13209	MPa



V07_A_G

P individual	Desplazamiento	P	P	F	flecha	M
lb	mm	lb	kgf	kgf	mm	kgf*m
0	83	0	0	0.0	0.0	0
154.324	84.5	154.324	70.0	35.0	1.5	24.76254663
99.05	85.5	253.374	114.9	57.5	2.5	40.65592837
100.38	87	353.754	160.5	80.2	4.0	56.76271947
99.52	88	453.274	205.6	102.8	5.0	72.73151655
99.52	90	552.794	250.7	125.4	7.0	88.70031363
99	91.5	651.794	295.6	147.8	8.5	104.5856725
102.5	93	754.294	342.1	171.1	10.0	121.0326349
96.7	95	850.994	386.0	193.0	12.0	136.5489399
109.76	95.5	960.754	435.8	217.9	12.5	154.1608287
100.64	98	1061.394	481.4	240.7	15.0	170.3093389
100.3	100	1161.694	526.9	263.5	17.0	186.4032933
110.48	102	1272.174	577.0	288.5	19.0	204.130712
102.42	103	1374.594	623.5	311.8	20.0	220.5648377
101.78	104	1476.374	669.7	334.8	21.0	236.8962703
100.82	105	1577.194	715.4	357.7	22.0	253.073663
98.94	106	1676.134	760.3	380.1	23.0	268.9493943
98.14	108	1774.274	804.8	402.4	25.0	284.6967591
103.12	110	1877.394	851.6	425.8	27.0	301.2432056
92.18	112	1969.574	893.4	446.7	29.0	316.0342397
94.57	115	2064.144	936.3	468.1	32.0	331.2087689
103.52	116	2167.664	983.2	491.6	33.0	347.8193986
91.32	118	2258.984	1024.7	512.3	35.0	362.4724387
100.26	120	2359.244	1070.1	535.1	37.0	378.5599748
109.02	121	2468.264	1119.6	559.8	38.0	396.0531245
106.3	123	2574.564	1167.8	583.9	40.0	413.109828
101.32	125	2675.884	1213.8	606.9	42.0	429.3674498
97.5	126	2773.384	1258.0	629.0	43.0	445.0121213
25.54	128	2798.924	1269.6	634.8	45.0	449.110223
105.42	130	2904.344	1317.4	658.7	47.0	466.0257233
45.38	132	2949.724	1338.0	669.0	49.0	473.307315
29.06	134	2978.784	1351.2	675.6	51.0	477.9702295
33.12	136	3011.904	1366.2	683.1	53.0	483.2846041

V07_A_G

Esf. Flexionante	f teórica	Esf. Flexionante	Esf. Aplasta	Esf. Cort NEC	Esf. Cort Colombiano	Esf. Aplasta P/A
kgf/cm2	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	2.17	1.897	0.278	0.080	0.087	0.046
32	3.57	3.115	0.456	0.132	0.142	0.075
44	4.98	4.349	0.637	0.184	0.1199	0.105
57	6.39	5.572	0.816	0.235	0.255	0.134
69	7.79	6.796	0.995	0.287	0.311	0.164
82	9.18	8.013	1.173	0.338	0.366	0.193
95	10.63	9.273	1.358	0.392	0.424	0.223
107	11.99	10.462	1.532	0.442	0.478	0.252
120	13.54	11.811	1.729	0.499	0.540	0.284
133	14.96	13.049	1.910	0.551	0.597	0.314
146	16.37	14.282	2.091	0.603	0.653	0.344
159	17.93	15.640	2.290	0.661	0.715	0.377
172	19.37	16.899	2.474	0.714	0.773	0.407
185	20.80	18.150	2.657	0.767	0.830	0.437
198	22.22	19.390	2.839	0.819	0.887	0.467
210	23.62	20.606	3.017	0.870	0.942	0.496
222	25.00	21.813	3.194	0.921	0.997	0.525
235	26.45	23.080	3.379	0.975	1.055	0.556
247	27.75	24.214	3.545	1.023	1.107	0.583
259	29.08	25.376	3.715	1.072	1.160	0.611
272	30.54	26.649	3.902	1.125	1.219	0.642
283	31.83	27.772	4.066	1.173	1.270	0.669
296	33.24	29.004	4.246	1.225	1.326	0.698
309	34.78	30.344	4.443	1.282	1.388	0.731
323	36.28	31.651	4.634	1.337	1.447	0.762
335	37.70	32.897	4.816	1.389	1.504	0.792
348	39.08	34.095	4.992	1.440	1.559	0.821
351	39.44	34.409	5.038	1.453	1.573	0.828
364	40.92	35.705	5.228	1.508	1.633	0.860
370	41.56	36.263	5.309	1.532	1.658	0.873
373	41.97	36.621	5.362	1.547	1.674	0.882
378	42.44	37.028	5.421	1.564	1.693	0.891