Sistema arquitectónico para la construcción de vivienda en zonas rurales dispersas utilizando como material de construcción la especie *Bambusa vulgaris*

Gustavo Adolfo Rivera Reina

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de artes

Bogotá D.C, Colombia

2018

Sistema arquitectónico para la construcción de vivienda en zonas rurales dispersas utilizando como material de construcción la especie *Bambusa vulgaris*

Gustavo Adolfo Rivera Reina

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Construcción

Director(a):

M. Sc. Arquitecto Jorge Enrique Lozano Peña

Línea de Investigación:

Materiales para construcción

Grupo de investigación:

Madera y Guadua Universidad Nacional de Colombia - GIMG

Centro de investigación de Bambú y Madera - CIBAM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Bogotá D.C, Colombia

2018

Más allá de la noche que me cubre,
Negra como el abismo insondable,
Doy gracias a los dioses que puedan existir,
Por mi alma inconquistable.
En las azarosas garras de las circunstancias
nunca me he lamentado, ni he pestañeado.
Sometido a los golpes del destino mi cabeza
esta ensangrentada, pero erguida.
Más allá de este lugar de cólera y lágrimas,
donde yacen los horrores de la sombra,
sin embargo, la amenaza de los años
me encuentra y me encontrara sin miedo.
No importa cuán estrecho sea el camino, cuan
cargada de castigos la sentencia,
Yo soy amo de mi destino,
Soy el capitán de mi alma,

William Ernest Henley.

Agradecimientos

A mi director de tesis M. Sc. Arquitecto Jorge Enrique Lozano Peña, que me ayudo a comprender que la arquitectura y construcción pueden servir como una herramienta para mejorar la calidad de vida en las personas más necesitadas, también le quiero agradecer por compartir sus conocimientos en el desarrollo de esta investigación además de facilitar las herramientas y medios tales como el laboratorio, espacios y equipos para la realización de todos los ensayos y pruebas requeridas para la finalización de la tesis.

Al ingeniero civil Adres Felipe Guerra Riaño por todos sus consejos en el de desarrollo de esta investigación la cual, finalizo con el gran aporte de un análisis estructural para el modelo de vivienda que se planteó en esta tesis.

A Laura reyes, a su familia y a Luis Carlos Arias por ayudarme a conseguir el material de estudio (Bambusa Vulgaris), con el que desarrollaron las diferentes pruebas de laboratorio para determinar las diferentes propiedades del material.

A Andrea por ser ese apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo y por enseñarme a mantenerme firme en los momentos más difíciles.

A mi familia que a pesar de la distancia siempre han estado apoyándome y además han realizado un gran esfuerzo para que yo pudiera cumplir mis sueños, sin ellos esto no sería posible.

Resumen

Esta investigación busca contribuir a la solución de la problemática habitacional rural en Colombia mediante la implementación de un sistema arquitectónico que permita un montaje sencillo de estructuras con bambú *(Bambusa Vulgaris), aptas* para una vivienda rural. Esta alternativa facilitaría la adquisición de vivienda por parte de los campesinos, propiciando que las mismas comunidades sean las gestoras de su propia vivienda por medio de su participación en el proceso constructivo de la misma. Además, la implementación de este sistema arquitectónico permitiría la configuración de diferentes prototipos de vivienda con base en una misma cantidad de elementos estructurales de acuerdo a las necesidades de cada habitante, generando de esta manera un modelo de construcción que proporcione mayores beneficios como reducción de costos de la vivienda, facilidad de montaje, flexibilidad en el diseño, menor tiempo de construcción, participación de comunidades etc.

Palabras clave: Vivienda rural. Sistema arquitectónico, ensamble, bambusa vulgaris, participación comunitaria.

Abstract

This investigation seeks to contribute to the solution of the rural housing problem through the implementation of an architectural system that allows a simple assembly of structures with bamboo (Bambusa Vulgaris), suitable for a rural house. This alternative would facilitate the acquisition of housing by the peasants, encouraging the communities themselves to be the managers of their own home through their participation in the construction process of the same. In addition, the implementation of this architectural system would allow the configuration of different housing prototypes based on the same number of structural elements according to the needs of each inhabitant, thus generating a construction model that provides greater benefits such as cost reduction of housing, ease of assembly, flexibility in design, shorter construction time, participation of communities, sense of belonging, etc.

Keywords: Rural housing. Architectural system, assembly, bambusa vulgaris, community participation

Contenido

Pág.

Contenido

1. Objetivos 4
1.1 Objetivo general 4
1.2 Objetivos específicos 4

2. Antecedentes 7
2.1 El bambú como material 7
2.2 Uniones en bambu 10
2.2.1 Propuesta uniones de Simón Vélez 11
2.2.2 Propuesta de César Peña y Hugo Rodríguez 12
2.2.3 Propuesta de Sandra Clavijo y David Trujillo 13
2.2.4 Propuesta de Jorge Londoño y Daniel Cheyne 14
2.3 La vivienda rural 15
2.3.1 Cartilla de construcciones rurales (1946) 15
2.3.2 Publicaciones del centro interamericano de vivienda (1950-1970) 16
2.3.3 Hábitat rural de Colombia: componentes y conflictos (1977) 16
2.3.4 Tecnología regional de la construcción y tipologías arquitectónicas (1977) 16
2.3.5 Arquitectura de la vivienda rural en Colombia (1980) 17
2.4 La vivienda de interés social rural (VISR) 18
2.5 Construcción y participación comunitaria en la vivienda 22

3. Preliminares 25
3.1 Lugar de suministro 25

4. Identificación de culmos y corte de probetas 26
4.1 Identificación de culmos y probetas 26
4.2 Corte y preparación de las probetas 29

5. Introducción a los ensayos 31
5.1 Determinación del valor característico y el esfuerzo admisible 32
5.2 Criterio de Chauvenet 35

6. Ensayo del contenido de humedad 36

7. Ensayo de densidad 41

8. Ensayo de flexión 46
8.1 Esfuerzo ultimo a flexión 48
8.2 Esfuerzo admisible a flexión 50

8.3 Módulo de elasticidad a flexión 55

9. Ensayo corte paralelo a las fibras 57
9.1 Esfuerzo último a corte paralelo a las fibras 58
9.2 Esfuerzo admisible a corte paralelo a las fibras 61

10. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras 65
10.1 Esfuerzo ultimo a compresión perpendicular a las fibras 67
10.2 Esfuerzo admisible compresión perpendicular a las fibras 71

11. Ensayo tensión paralela a las fibras 74
11.1.1 Esfuerzo ultimo a tensión paralelo a las fibras 76
11.2 Esfuerzo admisible a tensión paralelo a las fibras 80
11.3 Módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras 82

12. Ensayo de compresión paralela a las fibras 85
12.1 Esfuerzo ultimo a compresión paralela a las fibras 87
12.2 Esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras 91
12.3 Módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras 93

13. Sistema estructural y Análisis de cargas 96
13.1 Sistema estructural 96
13.2 Análisis de cargas 100
13.2.1 Análisis de deflexiones 100
13.2.2 Diseño por flexión 102
13.2.3 Diseño por fuerza axial 106
13.3 Máxima solicitación de uniones 109
13.4 Reacciones de los apoyos sobre diseño de cimentación 109

14. Diseño y modelado de uniones 111
14.1 Prototipos iniciales 111
14.1.1 Unión simple con agarre exterior 112
14.1.2 Unión simple con agarre interior 112
14.1.3 Unión compuesta con reducción de diámetro 113
14.2 Fabricación de prototipos para ensayos 114
14.2.1 Prototipo de unión compuesta 115
14.2.2 Prototipo de unión simple con agarre interno 118
14.3 Ensayos mecánicos en uniones 119
14.3.1 Ensayos unión compuesta 120
14.3.2 Ensayos unión simple 122
14.4 Análisis de resultados 127

15. Modelo de vivienda 131
15.1 Características de diseño 131
15.2 Tipologías organizativas 133
15.3 Vivienda productiva 136
15.4 Crecimiento progresivo 138
15.4.1 Actividades preliminares 139
15.4.2 Excavaciones 140
15.4.3 Cimentación 141
15.4.4 Estructura de piso 142
15.4.5 Estructura de pórticos 144

15.4.6 Montaje de cubierta y piso 147
15.4.7 Estructura de muros 149
15.4.8 Instalaciones 150
15.4.9 Carpintería 151
15.4.10 Cerramiento de muros 151
15.4.11 Acabado y mantenimiento 152
15.5 Cronograma de tiempos 153
15.6 Presupuesto 154

16. Conclusiones y recomendaciones 155
16.1 Conclusiones 155
16.2 Recomendaciones 157

Lista de figuras

Pág.

Figura 2-1. Cultivo de *bambusa vulgaris* (Autor). 8
Figura 2-2: esquema anatómico del bambú (Francis, 1993)..... 9
Figura 2-3: Estructura interna del bambú (Takeuchi, Tan). 10
Figura 2-4: Uniones propuestas Simón Vélez. Fuente: (Garzon,1996)..... 12
Figura 2-5: Resultados uniones Cesar P & Hugo R. Fuente: (Peña,1997). 12
Figura 2-6: Resultados uniones de Sandra Clavijo. (Trujillo,2000). 13
Figura 2-7: Unión GuaduaTech. (Londoño,2005). 15
Figura 2-8: Estudios descriptivos/estudios exploratorios. (Autor). 17
Figura 2-9 Proyecto tipo VISR (Banco Agrario de Colombia, 2015). 21
Figura 9-1: a) montaje de ensayo a corte paralelo a las fibras b) tipo de probetas usadas. (Autor)..... 58
Figura 9-2: Falla típica a corte paralelo a las fibras, con nudo y sin nudo. (Autor)..... 58
Figura 9-3: Comparación esfuerzos últimos a corte paralelo para Cundinamarca, Tolima, Santander. (Autor). 61
Figura 9-4: Comparación esfuerzo admisible a corte paralelo para Cundinamarca, Tolima, Santander. (Autor). 63
Figura 9-5: Comparación entre contenido de humedad y esfuerzo admisible a corte paralelo a la fibra. (Autor)..... 64
Figura 13-1: utilización del bahareque en varias regiones del país (a) región andina, (b) región del Viejo Caldas (c)región caribe. (Autor). 97
Figura 13-2: sistema de muro tendinoso. (zuarc.co)..... 97
Figura 13-3: el rectángulo, forma tradicional de la vivienda rural bajo el sistema del bahareque.(CORONA, 2016). 98
Figura 13-4: modelos a escala sistema estructural. (Autor)..... 99
Figura 13-5: estructura básica módulo de vivienda rural. (Autor)..... 99

Figura 13-6: análisis en el eje 0 (la estructura está cargada sobre el eje 0 y el eje 1)....101
Figura 13-7: análisis en el eje 1 (la estructura está cargada sobre el eje 0 y el eje 1)....102
Figura 13-8: esfuerzo por flexión estructura en estructura planteada. (Autor).....102
Figura 13-9: gráfico de esfuerzos cortantes que actúan sobre la vivienda. (Autor). 105
Figura 13-10: gráfico diseño por fuerza axial. (Autor). 107
Figura 13-11: gráfico reacciones en apoyos de la vivienda. (Autor).....110
Figura 13-12: gráficos de fuerza axial, cortantes y momentos. 110
Figura 14-1: prototipo unión simple con agarre exterior. (Autor). 112
Figura 14-2: unión simple con agarre interno. (Autor).....113
Figura 14-3: unión compuesta con reducción de diámetro. (Autor).....113
Figura 14-4: (a) modelo 3D unión simple con agarre interno; (b) modelo 3D unión compuesta.....114
Figura 14-5: detalle de uniones propuestas con ensambles en cimentación y en cubierta. (Autor). 115
Figura 14-6: (a) proceso de soldadura unión; (b) unión compuesta de prueba. 115
Figura 14-7: (a) abrazadera metálica; (b) platina metálica compuesta. (Autor).....116
Figura 14-8: (a) elaboración cortes; (b) cortes realizados; (c) confinamiento con abrazadera. (Autor). 116
Figura 14-9: (a) relleno de entrenudo; (b) reducción de diámetro. (Autor). 117
Figura 14-10:(a) baja consistencia del mortero; (b) unión realizada con nueva mezcla de mortero. (Autor).....118
Figura 14-11: (a) varilla de ½”; (b) unión simple con agarre interno. (Autor).....118
Figura 14-12: (a) perforación de entrenudo (b) Paso de varilla entre el tallo y unión simple. (Autor).....119
Figura 14-13: montaje de unión para realizar ensayo de tensión.....120
Figura 14-14: (a) ensayo de tensión, gráfica carga/deformación unión compuesta con mortero; (b) ensayo de compresión gráfica carga/deformación unión compuesta con mortero. (Autor).....120
Figura 14-15: (a) falla de unión compuesta a tensión; (b) falla de unión compuesta a compresión. (Autor).....122
Figura 14-16: (a) ensayo de tensión, gráfica carga/deformación unión simple; (b) ensayo de compresión gráfica carga/deformación unión simple. (Autor). 123
Figura 14-17: comparación resultados obtenidos en ensayos de compresión con carga mínima determinada en análisis de cargas. (Autor).....124

Figura 14-18: comparación resultados obtenidos en ensayos de tensión con carga mínima determinada en análisis de cargas. (Autor). 125
Figura 14-19: (a) falla por aplastamiento a compresión; (b) falla por cizallamiento a tensión parte superior; (c) falla por cizallamiento a tensión parte inferior. (Autor)..... 125
Figura 14-20: comparación resultados obtenidos en ensayos de tensión para unión y mortero con carga mínima determinada en análisis de cargas. (Autor). 127
Figura 14-21: falla por corte en probeta de unión simple con adición de mortero. (Autor). 127
Figura 14-22: gráfica comparativa entre espesor de la pared y carga resultante en ensayos. (Autor)..... 129
Figura 15-1: esquema general de vivienda. (Autor)..... 131
Figura 15-2: esquema distribución vivienda rural; (a) módulo habitacional; (b) módulo de servicios. (Autor). 132
Figura 15-3: tipología 01, circulación lateral, tres espacios habitables. (Autor)..... 134
Figura 15-4: tipología 02, circulación lateral con retranqueo. (Autor)..... 134
Figura 15-5: tipología 03, circulación lateral con acceso central. (Autor). 135
Figura 15-6: tipología 04, circulación central con espacio cubierto. (Autor). 135
Figura 15-7: tipología 05, circulación lateral con espacio lateral abierto. (Autor). 136
Figura 15-8: tipología 06, doble circulación. (Autor). 136
Figura 15-9: espacios sin función que se pueden utilizar para zonas productivas. (Autor). 137
Figura 15-10: crecimiento progresivo mecanismo de adición. (Autor). 138
Figura 15-11: alternativa crecimiento progresivo por adición. (Autor)..... 138
Figura 15-12: crecimiento progresivo, mecanismo de multiplicación. (Autor). 139
Figura 15-13: representación de localización y replanteo de vivienda rural. (Autor). 140
Figura 15-14: representación de excavación en vivienda rural. (Autor). 141
Figura 15-15: (a) representación de armado y colocación de armadura; (b) representación fundición de pedestales; (c) representación ubicación de platina. (Autor). 141
Figura 15-16: Representación de cimentación en vivienda rural. (Autor)..... 142
Figura 15-17: representación unión simple con agarre interno. (Autor). 143
Figura 15-18: (a) representación montaje vigas perimetrales; (b) vigas perimetrales montadas; (c) montaje de vigas internas. (Autor). 144
Figura 15-19: representación estructura de piso ensamblada. (Autor). 144

Figura 15-20: (a) montaje de columnas en cimentación; (b) montaje de platinas aéreas; (c) montaje de viga aérea. (Autor). 145
Figura 15-21: representación montaje de pórticos triangulados. (Autor). 146
Figura 15-22: representación montaje de pórticos triangulados diferentes lados de vivienda. (Autor). 146
Figura 15-23: representación montaje de vigas de cubierta. (Autor). 147
Figura 15-24: (a) representación montaje de vigueta encima de platina superior; (b) montaje de vigueta encima de viga superior; (c) relleno de mortero en entrenudos de cubierta. (Autor).....148
Figura 15-25: (a) montaje de correas en vivienda; (b) montaje de teja termo acústica para vivienda. (Autor). 148
Figura 15-26: (a) representación montaje de vigueta encima de platina de cimentación; (b) montaje de vigueta encima de viga de cimentación; (c) relleno de mortero en entrenudos de piso. (Autor). 149
Figura 15-27: representación montaje de columnas para construcción de muros con vigueta de cubierta. (Autor). 150
Figura 15-28: montaje de vigas de confinamiento para construcción de muros. (Autor). 150
Figura 15-29: instalación de puertas y ventanas. (Autor). 151
Figura 15-30: cronograma de tiempos. (Autor). 153

Lista de tablas

Pág.

Tabla 5-1**:** Distribución de los ensayos mecánicos. (Autor). 32
Tabla 5-2: Valores de esfuerzos admisibles NSR-10. (AIS, 2010)..... 34
Tabla 5-3: Valores de módulos de elasticidad NSR-10. (AIS, 2010)..... 35
Tabla 5-4: Coeficiente de Chauvenet. (Autor). 35
Tabla 6-1: Datos obtenidos contenido de humedad ensayos (Autor). 38
Tabla 6-2: Análisis estadístico para el contenido de humedad de las probetas ensayadas. (Autor)..... 39
Tabla 7-1: Resultados experimentales para el ensayo de densidad básica. (Autor)..... 44
Tabla 7-2: Análisis estadístico de densidad básica para las dos porciones del culmo. (Autor)..... 44
Tabla 8-1: Resultados para el ensayo de flexión en la porción media del culmo incluyendo resultados atípicos. (Autor). 48
Tabla 8-2: Análisis estadístico para esfuerzo último a flexión sin descartes. (Autor). 49
Tabla 8-3 Esfuerzo admisible a flexión, porción media. (Autor)..... 51
Tabla 8-4: Esfuerzo admisible a flexión, ecuación NSR-10. (Autor). 52
Tabla 8-5, Comparación esfuerzo admisible a flexión de Viota con otras regiones(Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016). (Autor) 52
Tabla 8-6, Contenido de humedad de probetas a flexión. (Autor)..... 54
Tabla 8-7, Análisis estadístico para módulo de elasticidad a flexión. (Autor)..... 55
Tabla 9-1: distribución de las probetas ensayadas a corte paralelo a las fibras. (Autor).. 57
Tabla 9-2: Lista de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio. (Autor). 59
Tabla 9-3: Análisis estadístico para esfuerzo último a corte paralelo a las fibras. (Autor). 60
Tabla 9-4: contenido de Humedad de probetas a corte paralelo a las fibras. (Autor)..... 61

Tabla 9-5: Esfuerzo admisible a corte paralelo a las fibras ISO 22156. (Autor). 62
Tabla 9-6: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor). 63
Tabla 10-1: Distribución de las probetas ensayadas a compresión perpendicular a las fibras. (Autor). 66
Tabla 10-2: Resultados experimentales para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras en las tres porciones del culmo. (Autor). 68
Tabla 10-3: Análisis estadístico para esfuerzo último a compresión perpendicular a las fibras. (Autor). 69
Tabla 10-4: Contenido de humedad de probetas a compresión perpendicular a las fibras. (Autor). 70
Tabla 10-5: Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a las fibras ISO 22156. (Autor). 71
Tabla 10-6: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor). 72
Tabla 11-1: Distribución de las probetas ensayadas a tensión paralela a las fibras. (Autor) 74
Tabla 11-2: Resultados experimentales para el ensayo de tensión paralela a las fibras. (Autor). 77
Tabla 11-3: Análisis estadístico para esfuerzo último a tensión paralela a las fibras. (Autor). 78
Tabla 11-4: Contenido de humedad de probetas a tensión paralela a las fibras. (Autor). 79
Tabla 11-5: Esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras ISO 22156. (Autor). 80
Tabla 11-6: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor). 81
Tabla 11-7: Análisis estadístico para módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras con extensómetro. (Autor). 83
Tabla 12-1: Distribución de las probetas ensayadas a compresión paralela a las fibras. (Autor). 85
Tabla 12-2: Distribución de las probetas instrumentadas para determinación del módulo de elasticidad longitudinal a compresión paralela a las fibras. (Autor). 87
Tabla 12-3: Resultados experimentales para el ensayo de compresión paralela a las fibras. (Autor). 88
Tabla 12-4: Análisis estadístico para esfuerzo último a compresión paralela a las fibras. (Autor). 89
Tabla 12-5: Contenido de humedad de probetas a compresión paralela a las fibras. (Autor). 90

Tabla 12-6: Esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras ISO 22156. (Autor)…91
Tabla 12-7: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor). 92
Tabla 12-8: Análisis estadístico para módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras. (Autor). 94
Tabla 12-1:Deflexiones admisibles.(Autor). 101
Tabla 13-1:resultados ensayos de tensión y compresión para unión compuesta (Autor). 121
Tabla 13-2: Resultados ensayos de tensión y compresión para unión simple(Autor). ... 123
Tabla 13-3: Resultados ensayos de tensión para unión simple con mortero(Autor). 126
Tabla 13-4: Análisis estadístico resultados de ensayos de compresión y tensión para unión simple. (Autor). 128
Tabla 13-5: Análisis estadístico resultados de ensayos de tensión para unión simple con mortero. (Autor)..... 128

Introducción

El territorio rural en Colombia ha sido unos de los escenarios protagonistas en el desarrollo del sector productivo para el país durante muchos años. Sin embargo, el panorama que se observa en el ámbito rural hacia el desarrollo y capacidad productiva no ha sido favorable. Las diversas problemáticas que ha enfrentado este sector en las últimas décadas tales como el conflicto armado, cultivos ilícitos, baja cobertura del estado, destrucción de recursos naturales, entre otros han provocado que exista un proceso de deterioro del hábitat rural, reflejando una gran problemática en la vivienda (Mar, Oyola, & Alfonso, 2008; mision para la transformacion del campo, 2015; Ruiz, 2011). A pesar que se han realizado varios estudios los cuales evidencian la gran problemática que enfrenta la vivienda rural en términos de calidad y modelos de gestión (Banco interamericano de desarrollo, 2003; Contraloria general de la republica, 2013; Contraloria General de la Republica, 2016), las soluciones han sido escasas. Frente a este hecho, el gobierno en el año 2000 propuso el subsidio de vivienda de interés social rural (VISR)(Gómez, 2015) como un mecanismo para solucionar el déficit habitacional rural(Banco Agrario de Colombia, 2013). Lamentablemente estas soluciones no han sido suficientes y la problemática todavía se ha mantenido. Según (mision para la transformacion del campo, 2015) si se sigue con estos mecanismos de adquisición y construcción de vivienda, tomaría alrededor de 143 años y 30 billones de pesos para solucionar el déficit habitacional rural evidenciando una gran necesidad de abordar el problema de vivienda rural con nuevas estrategias y modelos que ayuden a mejorar las condiciones de vida del campesino colombiano.

Frente a esta necesidad básica, la presente investigación busca mediante el diseño de una vivienda, contribuir a la solución de la problemática habitacional en Colombia. Dicho diseño se basa en la implementación de un modelo de, el cual busca generar flexibilidad en el espacio arquitectónico, permitiendo la configuración de diferentes prototipos de vivienda con base en una misma estructura portante (sistema arquitectónico) utilizando bambú, específicamente la especie Bambusa vulgaris. Se ha escogido el bambu debido a que es

uno de los más antiguos materiales de construcción utilizados en américa latina(Perea, 2012), adicionalmente, este material se presenta como una alternativa viable de fuente renovable y sostenible, siendo de acuerdo con (Xuhe, 2003), una planta de origen tropical y subtropical con excelentes propiedades físicas, mecánicas y químicas, abundante en todo el mundo constituyéndose de importante fuente de ingresos y promoción social para poblaciones de bajos ingresos en países subdesarrollados y en desarrollo.

El desarrollo de la investigación partió desde el análisis del material a utilizar (Bambusa Vulgaris) realizando la caracterización de sus propiedades físico-mecánicas. Se hicieron los ensayos descritos en la NTC 5525 y los procedimientos mencionados en la NSR 10. Se realizaron las pruebas mecánicas de flexión, corte, compresión paralela y perpendicular a la fibra y tensión paralela con el fin de determinar los valores de esfuerzos admisibles de la Bambusa vulgaris de Viotá-Cundinamarca.

Después de tener caracterizado el material, se desarrolló el planteamiento del esquema estructural de una vivienda, esto con el fin de determinar los valores de carga máxima ante diferentes esfuerzos en los elementos estructurales, una vez determinadas las cargas máximas se inició el proceso de diseño para los elementos estructurales que conformarían la vivienda, en este caso se diseñaron uniones mecánicas que permitirán ensamblar una estructura de vivienda de forma sencilla. Se diseñaron y modelaron tridimensionalmente tres propuestas de las uniones para determinar las características geométricas y de ensamble, posteriormente se realizaron ensayos mecánicos de tensión/compresión para determinar cuál tendría mejor resistencia.

Una vez diseñadas las uniones mecánicas, se procede a desarrollar el sistema arquitectónico de vivienda rural. Este modelo se diseñó en base a parámetros definidos por la federación nacional de cafeteros y el ministerio de agricultura el cual propone que un programa para el desarrollo de vivienda rural debe tener en cuenta los siguientes requerimientos en una construcción(Gil, 2011):

- Crecimientos progresivos
- Saneamiento básico
- Espacios productivos
- Diversidad en el diseño
- Adecuada ventilación
- Protección de la humedad en pisos y paredes

Como resultado final de la investigación se desarrolla una pequeña cartilla que explica la construcción de la vivienda rural utilizando como material estructural la *bambusa vulgaris*. Esta cartilla busca servir como una herramienta para fomentar los procesos de construcción asistida en entornos rurales, donde el habitante(campesino) sea capaz de construir su propia vivienda por medio de una asistencia técnica mínima por parte de profesionales.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema arquitectónico de vivienda rural que permita un montaje sencillo de estructuras con la especie de bambú *bambusa vulgaris*, este sistema busca generar flexibilidad en el espacio arquitectónico, permitiendo la configuración de diferentes prototipos de vivienda con base en una misma estructura portante.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física-mecánica de 16 culmos de *bambusa vulgaris* mediante ensayos y procedimientos indicados en la ISO 22156, NTC 5525 y la NSR-10.
- Ejecutar los ensayos físicos y mecánicos para la *bambusa vulgaris* mediante los procedimientos indicados en la NTC 5525.
- Determinar los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad en las probetas ensayadas según la ISO 22156, NTC 5525 y la NSR-10.
- Comparar los resultados obtenido en la caracterización realizada para la *bambusa vulgaris* con la especie guadua angustifolia Kunth.
- Diseñar y modelar tridimensionalmente la estructura y las uniones mecánicas que determinaran los ensambles estructurales para la vivienda rural.
- Elaborar los prototipos de las uniones diseñadas para la ejecución de ensayos mecánicos.
- Ejecutar los ensayos mecánicos de compresión y tensión para determinar la resistencia máxima en las uniones mecánicas planteadas para la vivienda rural.
- Diseñar un modelo de arquitectónico apta para una vivienda rural con base en la caracterización del material, diseño de estructural y diseño de las uniones mecánicas desarrolladas anteriormente.

- Diseñar el modelo de vivienda acorde al presupuesto establecido por el ministerio de agricultura en el programa de vivienda de interés social rural (VISR) el cual tiene un monto de hasta 60 SMLMV.
- Desarrollar una pequeña cartilla en donde se explique el proceso constructivo de la vivienda rural planteada.

2. Antecedentes

En este capítulo se recopila la información considerada relevante de acuerdo con la revisión de literatura encontrada, la cual soporta la pertinencia de este trabajo de investigación. El marco teórico está estructurado en tres grandes temáticas que son: la vivienda rural en Colombia, la construcción en bambú y los procesos de construcción y gestión participativa en proyectos arquitectónicos. Esto se hace con el fin de situar el problema dentro de un conjunto de conocimientos ya investigados a fin de orientar el estudio.

2.1 El bambú como material

El bambú es autóctono en varias regiones del país y ha sido utilizado ancestralmente por muchas comunidades para la construcción de sus viviendas, en especial, en entornos rurales (Romo & Carlos, 2006). Sin embargo, aunque muchos estudios reconocen el gran potencial que tiene en el campo constructivo (Rafael & López, 2002), este material no se ha explotado de manera adecuada, pues se ha relegado a un segundo plano y se ha tachado de material perecedero, por ser usada en construcciones informales (Gonzales, 2005). Con la escasez mundial de materiales en la construcción, es necesario utilizar materia prima alternativa, permitiendo de esta manera que el bambú empiece a adquirir importancia al ser un recurso renovable que podría servir como una herramienta tecnológica que ayude a solucionar la problemática de la vivienda rural en Colombia.

Existen cerca de mil especies de bambú en el mundo. Quinientas de ellas se encuentran en América y en Colombia existen 28 especies de bambúes, dentro de las cuales está la *bambusa vulgaris.* Esta especie también se conoce como bambú común o bambú dorado, perteneciente a la familia de las poáceas y desarrolla tallos que pueden alcanzar una altura de hasta 12 m y un diámetro entre 5 cm a 10 cm (Francis, 1993). Una de las características

principales de este bambú es la lofngitud de sus entrenudos, con un promedio de 20 cm a 30 cm de largo con unas estriaciones de color verde (Figura 2-1).

Figura 2-1. Cultivo de *bambusa vulgaris* (Autor).

La *bambusa vulgaris* no pose espinas y su estructura de crecimiento forma rizomas que se entrelazan para generar un complejo sistema de raíces que le brinda estabilidad al cultivo y a los terrenos aledaños. Aunque se desconoce el lugar preciso de origen, es muy probable que este fuera el sur de Asia (“Physical_Characteristics_and_Anatomical.pdf,” n.d.).

En países de Suramérica y Centroamérica, la *bambusa vulgaris* se puede encontrar entre los 1500 msnm y 2300 msnm. Este tipo de bambú puede crecer en suelos de cualquier textura, si bien su óptimo desarrollo se da en terreno húmedo y bien drenado, como suelos arcillosos densos (Nacional & Forestales, 2009). Al igual que la *guadua angustifolia kunth*, la *bambusa vulgaris* se divide en diferentes partes (Francis, 1993):

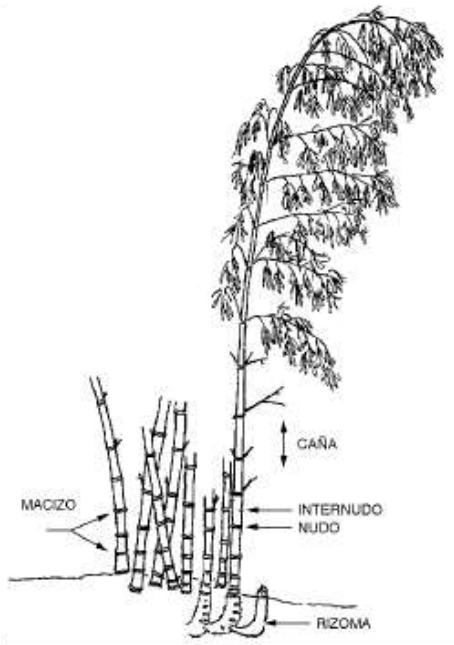
Rizoma: es el tallo subterráneo de la planta, donde se almacenan los nutrientes. Es el encargado de la reproducción y propagación de la planta.

Cepa: es la sección más gruesa del bambú puesto que el rizoma nace de su estructura portante; su distancia entre nudos es corta, lo que genera una mayor resistencia a esta parte de la planta y tiene una longitud aproximada de 3 metros.

Basa: posee un diámetro intermedio y una distancia mayor entre nudos. Esta es la parte de la planta más usada en diferentes campos, especialmente en la construcción. Tiene una longitud aproximada de 8 metros

Sobre basa: sección de diámetro menor y su distancia entre nudos es mayor que las partes anteriores. Tiene una distancia aproximada de 4 metros.

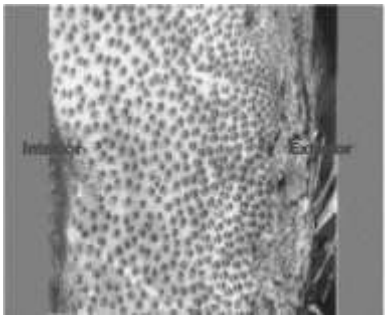
Figura 2-2: esquema anatómico del bambú (Francis, 1993).



En Colombia, los estudios con *bambusa vulgaris* han sido prácticamente nulos ya que las diferentes investigaciones realizadas para el bambú se han concentrado en la especie *guadua angustifolia kunth,* ya que esta es endémica de américa. A nivel general, los estudios de la *bambusa vulgaris* son escasos y se reducen básicamente a mecanismos de producción de papel usando este material como materia prima o comestibles (Francis, 1993). En Uruguay se realizó el análisis de las propiedades físico-mecánicas de la *bambusa vulgaris* ante esfuerzos de tensión, compresión y corte (E. José et al., 2008). Esta investigación dio como resultados esfuerzos a compresión de 79.4 Mpa, tensión de 271 Mpa y corte con 8.3 Mpa, valores superiores en comparación con el estudio de otras especies como la *guadua angustifolia kunth,* sobre la que se ha encontrado en varios ensayos una resistencia a la compresión de 710 kg/cm^2 (69 Mpa), corte de 66 kg/cm^2 (6.47 Mpa) y resistencia a la tracción promedio de 2561 kg/cm^2 (251 Mpa), bastante alta teniendo en cuenta que el acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm^2 (248 Mpa).

Los valores de resistencia en el bambú también pueden variar dependiendo de la pared donde se realizan las pruebas. Por ejemplo, los valores de resistencias obtenidos en probetas tomadas de la pared externa del bambú fueron mayores con una resistencia de 1647 kg/cm^2 (161 Mpa), en comparación con las resistencias de la pared interna, que fueron de 1562 kg/cm^2 (153 Mpa). Esto tiene dos razones: la primera es la composición de las paredes externas que tienen sílice, lignina y cutina, y la segunda es que la cantidad de fibras es mayor en la parte externa del bambú (Takeuchi Tam, 2004).

Figura 2-3: Estructura interna del bambú (Takeuchi, Tan).



En general, el bambú está formado por fibras longitudinales muy fuertes que le proporcionan una gran resistencia a la tracción paralela, pero a diferencia de la madera, el bambú no tiene fibras radiales, lo que ocasiona que la resistencia a la tracción perpendicular sea débil. Otro factor que afecta las resistencias a tracción perpendicular es que las fibras longitudinales están unidas por pectina en una matriz débil de lignina. Lo anterior genera una adherencia reducida y provoca que las resistencias a la compresión paralela y perpendicular a la fibra también se reduzca (Martín, J & Mateus, 1981; Takeuchi Tam, 2004).

Debido a las características antes mencionadas, las uniones en bambú adquieren gran importancia en los diseños y procesos constructivos con este material, ya que con estos elementos se podría optimizar el desempeño estructural y garantizar mayores resistencias frente a sus puntos más débiles, como la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra o compresión.

2.2 Uniones en bambu

En el diseño de estructuras con bambú es importante tener en cuenta un buen diseño de las uniones de estos elementos, ya que las fallas se pueden producir por las conexiones.

En teoría, una unión eficiente debería cumplir unas condiciones ideales (Díaz, 2013), que obedezcan a las características específicas del material que se pretende unir, tales como:

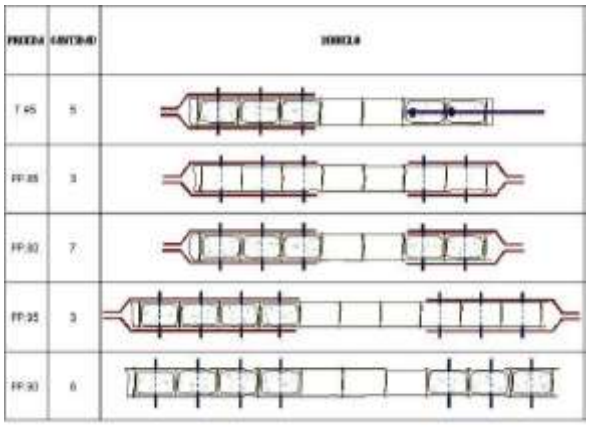
- Garantizar una capacidad de resistencia de la unión muy cercana a la máxima capacidad especifica resistente del material que se pretenda unir.
- Tener un módulo elástico similar al material a unir.
- Ser sencilla y de fácil colocación.
- Ser segura y confiable en el tiempo.
- Tener un costo razonable frente a su eficiencia.
- No agregar peso exagerado a la estructura.

La uniones para elementos solicitados a diferentes tipos de cargas como compresión, tracción paralela, flexión y torsión presentan un buen comportamiento (Takeuchi Tam, 2004), pero hay que tener especial cuidado ante los esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra y corte paralelo a la fibra siendo necesario el confinamiento del bambú en las uniones para evitar diferentes tipos de falla (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2010a). Por eso, para entender mejor el comportamiento de estas conexiones, se han realizado diferentes investigaciones, especialmente, en la Universidad Nacional de Colombia.

2.2.1 Propuesta uniones de Simón Vélez

El trabajo de investigación realizado en 1996 evaluó uniones a tracción con entrenudos relleno de mortero y varillas roscadas de ¾” de diámetro en sentido longitudinal y transversal a la dirección en la que se aplicaba la carga. Se estudiaron cinco tipos de uniones y se pudo determinar que los promedios de carga soportada en las uniones eran mayores cuando se introducía mortero en los entrenudos de la guadua, pero los cilindros de mortero se desplazaban en el sentido contrario de la guadua cuando los dos materiales no eran atravesados por pasadores de ½”. A pesar de que la resistencia de la unión en guadua inyectada con mortero aumenta, el peso de la estructura aumenta también para este tipo de uniones (Caicedo, 1996).

Figura 2-4: Uniones propuestas Simón Vélez. Fuente: (Garzon,1996).



2.2.2 Propuesta de César Peña y Hugo Rodríguez

En esta tesis de pregrado se implementó el concepto de conectores para la construcción de las uniones a tracción utilizando una metodología más amplia y probando diferentes materiales hasta llegar a su propuesta final.

En las primeras propuestas se utilizaron clavos sueltos que atravesaban solo una pared de la guadua; luego se intentaron propuestas con láminas *cold-rolled* en forma rectangular, lo cual tuvo mejores resultados. En todas estas propuestas se utilizó como pasador una varilla roscada de ½" que atravesaba transversalmente la guadua (Peña & Hugo, 1997)

Como propuesta final, se utilizaron las láminas *cold-rolled* de calibre 18 adheridas a la pared de la guadua con puntillas metálicas. Fue necesario pretaladrar los orificios de las puntillas metálicas para evitar rajaduras. Los resultados obtenidos demostraron que, si bien no se utiliza mortero, existen otras alternativas más económicas y livianas.

Figura 2-5: Resultados uniones Cesar P & Hugo R. Fuente: (Peña,1997).

Descripción de la unión	Carga máxima promedio (Kg)
pasador	1815
pasador + platina + 4 puntillas c/90º	3770
pasador + platina + 6 puntillas c/60º	4080
pasador + platina + 8 puntillas c/45º	4748
pasador + platina + 12 puntillas c/30º	4188

2.2.3 Propuesta de Sandra Clavijo y David Trujillo

En esta tesis de pregrado, se realizaron pruebas a tracción en dos tipos de uniones: una unión tipo abrazadera y otra, rellena con motero en sus entre nudos. Al finalizar las diferentes pruebas, se realizó un análisis comparativo con uniones antes propuestas en trabajos académicos como las uniones de Simón Vélez, César Peña y Hugo Rodríguez.

Se llevaron a cabo pruebas preliminares para saber la eficacia de cada conector utilizado, distancia del conector al borde de la guadua y la influencia de la posición del nudo en el momento de la carga.

De las anteriores pruebas se pudo concluir que los mejores conectores a utilizar eran los tornillos de ¼", debido a que los elementos con menor diámetro conseguían mayor resistencia en relación con el área de contacto. Por su parte, los diámetros más grandes concentraban mayores cargas en las uniones, lo que sometía al material a un mayor esfuerzo cortante. Otra conclusión importante de esta investigación fue que la distancia recomendada del borde al conector empleado era mayor a 10 diámetros para que la resistencia sea mayor. Por último, la conclusión de la influencia del nudo sobre el conector determinó que es recomendable ubicar estos elementos cerca a los nudos de la guadua a fin de mejorar su resistencia (Clavijo & Trujillo, 2000).

La unión tipo abrazadera consiste en una lámina *cold-rolled* abrazando la guadua cinco veces. Esta lamina era atravesada junto con la guadua por un pasador transversal de 5/8" y tornillos pretaladrados como en la unión de Peña y Rodríguez.

La segunda propuesta se realizó con mortero y consistía en la colocación de varillas lisas de ¼" perpendicular a la dirección de las fibras, un pasador de 5/8" que atravesara la guadua y finalmente se inyectaba un mortero 1:3 apisonado con una varilla de ¼". Los valores obtenidos se compararon con uniones antes propuestas en trabajos académicos y se hizo una relación costo/carga. Estos resultados se pueden ver en la Figura 5.

Figura 2-6: Resultados uniones de Sandra Clavijo. (Trujillo,2000).

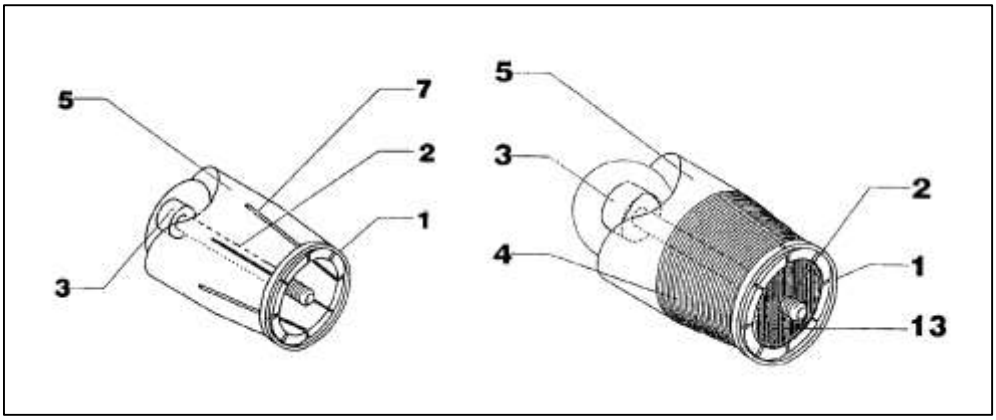
Tipo de Unión	Concepto	Valores[8]
Varilla roscada de ½" y mortero en el entrenudo (Unión de Jenny Garzón)	Carga	3600
	Costo	1059
	($ / Kg)	0.294
Conectores de Lámina Negra calibre 18, 8 puntillas de 1"x1/8" y varilla roscada de ½" (Unión de César Peña y Hugo Rodríguez)	Carga	4321
	Costo	1195
	($ / Kg)	0.277
Mortero 1:3 en el entrenudo, varilla lisa de ¼" y varilla roscada de 5/8" (Unión de Sandra Clavijo y David Trujillo)	Carga	7121
	Costo	1459
	($ / Kg)	0.205
Lámina cold-rolled calibre 22, 12 tornillos de ¼", varilla roscada de 5/8" (Unión de Sandra Clavijo y David Trujillo)	Carga	9084
	Costo	1188
	($ / Kg)	0.131

2.2.4 Propuesta de Jorge Londoño y Daniel Cheyne

Esta unión consiste en un conjunto de elementos que se unen mediante un proceso secuencial de ensamblaje y forman un sistema de confinamiento en los extremos del tallo de la guadua. El proceso comienza con unas incisiones en los extremos del tallo, que reducirán el diámetro de este en un 10%. Para mantener dichas secciones en una condición cerrada, se instala un anillo de retención. Posteriormente, se inserta el tornillo central que brindará el soporte de la estructura. Para confinar el conjunto de elementos instalados, se enrolla un cable metálico alrededor del extremo del tallo y se rellena el entrenudo con una mezcla compuesta de arena, resina de fenol y catalizador para fijar el tornillo central (Jorge Bernardo Londoño, 2005).

Se realizaron ensayos de compresión y tracción para medir el desempeño de esta unión y se obtuvo una alta resistencia para los dos esfuerzos. En el ensayo a compresión, la unión soportó una carga promedio de 11000 kg y en los ensayos de tracción se obtuvo una carga promedio de 10000 kg. El fallo se produjo en la sección media del bambú. Estas uniones se pueden articular con otras para construir una gran variedad de estructuras especialmente domos.

Figura 2-7: Unión GuaduaTech. (Londoño,2005).



2.3 La vivienda rural

A diferencia de la vivienda urbana, la vivienda rural posee características que son merecedoras de un estudio específico relacionado con las necesidades particulares de los campesinos. A pesar de la importancia que debería tener la vivienda rural en Colombia como uno de los elementos que podrían evidenciar más una identidad arquitectónica en nuestro país, este no se ha tomado en cuenta como objeto de estudio e investigación. El conocimiento de la vivienda rural colombiana en las esferas investigativas en general y en la esfera arquitectónica en particular es deficiente (Fonseca, Lorenzo & Saldarriaga, 1980; Mar et al., 2008). El problema de la vivienda es un tema que se ha venido tratando desde 1918 (Ramos, 2008) con la fundación del Banco Central Hipotecario (BCH), destinado a la captación de ahorro y la financiación de viviendas para obreros y empleados públicos. Después, en 1939 se estableció el Instituto de Crédito Territorial (ICT), orientado principalmente hacia el desarrollo de la vivienda rural. A partir de este momento se desarrollaron diferentes investigaciones sobre el hábitat rural, destacando las siguientes:

2.3.1 Cartilla de construcciones rurales (1946)

Como subgerente del Instituto de Crédito Territorial, Alberto Wills Ferro escribe esta cartilla, que recalca la importancia de la participación del campesino en el momento de la construcción de la vivienda. También explica los procesos constructivos que se deben llevar a cabo para la construcción de un modelo habitacional sencillo de dos habitaciones con una cocina y un baño. La relevancia de esta cartilla radica en que es una de las

primeras publicaciones enfocadas a la vivienda rural, que propone un modelo de construcción autogestionado (Wills Ferro, 1946).

2.3.2 Publicaciones del centro interamericano de vivienda (1950-1970)

A comienzos de los años 50, se generó una corriente académica que promovía la participación de las comunidades en la construcción y desarrollo de su propio territorio. Es así como el Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) fomentó los procesos de autoconstrucción mediante la formación técnica. Para el caso de la vivienda rural, se desarrollaron varias investigaciones que buscaban mejorar sus condiciones, destacando estudios como el *Manual de investigación y extensión en vivienda rural* (Fals Borda, 1958), el *Manual para la organización de proyectos piloto de ayuda propia* (Fals Borda, 1958), las *Guías de autoconstrucción* (Centro Interamericano de Vivienda, 1957) y *Experiencias sobre vivienda rural en Brasil* (Centro Interamericano de Vivienda, 1961).

2.3.3 Hábitat rural de Colombia: componentes y conflictos (1977)

En un estudio de caso implementado en sectores rurales en Cundinamarca, el Centro Nacional de Estudios en la Construcción (CENAC) identificó los principales componentes y problemáticas que enfrenta el hábitat rural. Sobre todo, se encontraron deficiencias en aspectos de saneamiento básico, estructura y medios de acceso (Centro Nacional de Estudios de la Construcción, 1974).

2.3.4 Tecnología regional de la construcción y tipologías arquitectónicas (1977)

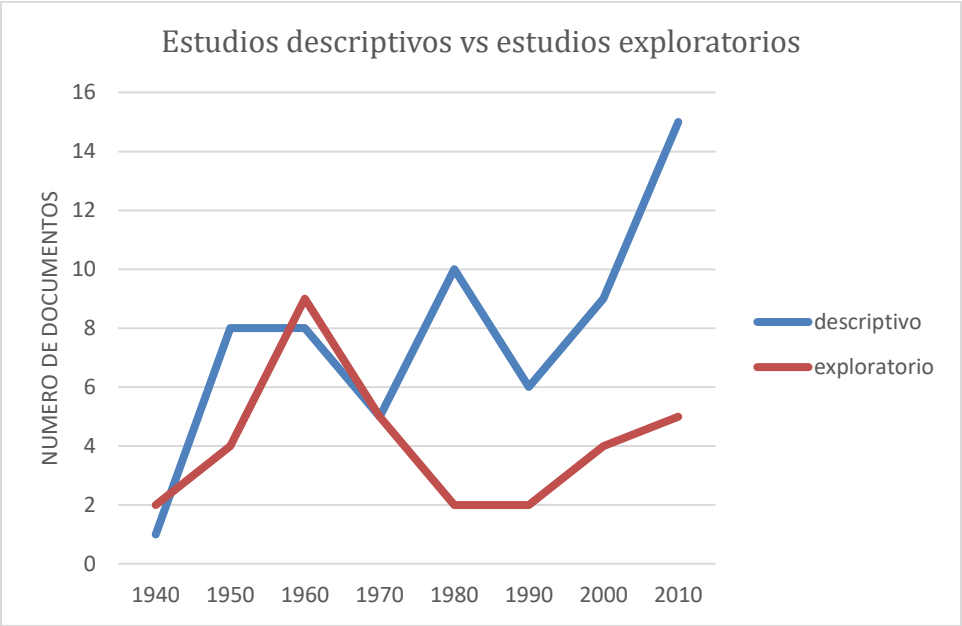
Escrita por Lorenzo Fonseca, esta investigación recopila información técnica y arquitectónica de la vivienda rural existente en las planicies y piedemontes de Cundinamarca. La investigación muestra las tipologías más comunes construidas en estos sectores, así como los principales materiales constructivos utilizados en ella (Fonseca Martínez, 1977).

2.3.5 Arquitectura de la vivienda rural en Colombia (1980)

Escrito por Alberto Saldarriaga y Lorenzo Fonseca, este libro hace un estudio sobre las características arquitectónicas de diferentes regiones del país. Gracias a este estudio se pudieron identificar problemáticas de la vivienda rural en relación con el medio ambiente, la tecnología constructiva, la cultura regional y la acción institucional. Este documento adquiere gran importancia pues es una de las pocas investigaciones que intenta abarcar el estudio de la vivienda rural en un contexto nacional y reconoce aspectos fundamentales que condicionan la morfología y la tecnología constructiva, como el clima y técnicas autóctonas (Fonseca, Lorenzo & Saldarriaga, 1980).

Durante la revisión de bibliografía se encontraron alrededor de 97 documentos que abordaban el tema de la vivienda rural desde sus características, problemáticas y soluciones posibles para mejorar las condiciones de dicha vivienda. De estos 97 documentos, cerca del 63% son de carácter descriptivo y se concentran en mencionar las principales características de la vivienda en diferentes regiones del país o elaborar un diagnóstico situacional del problema de déficit habitacional. La bibliografía restante (37%) tiene un carácter exploratorio y plantea diferentes alternativas para la gestión y construcción de la vivienda rural con el fin de ayudar a resolver dicho déficit.

Figura 2-8: Estudios descriptivos/estudios exploratorios. (Autor).



Según la bibliografía consultada, aunque en los últimos años han existido más investigaciones sobre la vivienda rural en diversas áreas del conocimiento, estas son solo estudios descriptivos cuando deberían ser estudios exploratorios que busquen dar solución a temas de habitabilidad rural (Figura 2-8).

La mayor cantidad de estudios realizados (descriptivos, exploratorios) en relación con el año en el que se efectuaron se encuentran en la década 60 y principios del año 2000. Esto puede ser consecuencia de la influencia que el Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) tuvo en temas de vivienda y participación comunitaria en la construcción de ciudad en América Latina para los años 60. En los últimos años, las investigaciones van en aumento, ya que el déficit habitacional rural se ha venido evidenciando de manera más drástica.

Dentro de las actuaciones que el gobierno nacional ha realizado para solventar el déficit habitacional cabe mencionar los diferentes programas o instituciones que desarrollaron o ejecutaron alguna estrategia para disminuir este déficit, como la creación de la Caja de Crédito Agrario en 1931 y el actual Programa de Vivienda de Interés Social Rural (VISR).

2.4 La vivienda de interés social rural (VISR)

En 1939, con la creación del Instituto de Crédito Territorial, se empieza a fomentar la construcción de viviendas campesinas. Asimismo, con el decreto 200 de 1939 (Presidencia de la República, 1939), se menciona la necesidad de atender a la población rural en varios aspectos en especial en el tema de la vivienda.

Mucho tiempo después, en el marco del artículo 51 de la Constitución de 1991, se instauró la ley 3 de 1991. En esa ley se creó el Sistema Nacional de Vivienda de Interés Social, estableciendo el subsidio de vivienda. En esta misma ley, mediante el decreto 1167 del 91 (Presidencia de la República, 1991), se dispuso que el Ministerio de Agricultura desarrollaría las diferentes políticas y planes de desarrollo del programa de vivienda para sectores rurales, labor realizada por la entidad hasta 1999.

Ya en el 2000, el programa de vivienda pasa a cargo del Banco Agrario y bajo el decreto 1133 del 2000 (Presidencia de la República, 2000), se establecen los objetivos de la política de Vivienda de Interés Social Rural (VISR). En este mismo decreto se establece el otorgamiento de subsidios para la VISR en dinero o especie; también se establecen los mecanismos y el procedimiento para ser acreedor a este subsidio. Igualmente, el decreto

determina el monto del subsidio en sus diferentes modalidades de adjudicación. Para la construcción de vivienda nueva, la cuantía del subsidio estaba entre 15 y 18 SMMLV y para el mejoramiento de vivienda, entre 10 a 15 SMMLV. Cabe aclarar que el monto del subsidio no podía superar el 80% del valor total de la vivienda, pero ese 20% restante podría ser pagado en dinero, materiales o mano de obra. La postulación a este subsidio por parte del beneficiario sería de forma colectiva a través de una entidad o una organización de carácter asociativo que regula la presentación de los proyectos.

Para el 2005, se modifican los decretos establecidos en la política de subsidios de VISR debido a que los resultados obtenidos no se ajustaban a lo que pretendía ser una vivienda digna (Gómez, 2015). Con el decreto 973 de 2005 (Presidencia de la República, 2005), se plantea una nueva forma de ejecución de los recursos, modificando el valor del subsidio. Para el mejoramiento de vivienda, el monto de subsidio se reduce a 10 y 12 SMMLV y para la modalidad de vivienda nueva el subsidio se encuentra entre 12 y 18 SMMLV.

A pesar de todos los cambios realizados en la normativa para adjudicar subsidios en la vivienda rural, los resultados no han sido satisfactorios, por lo que en 2010 se decide modificar el decreto 973 de 2005 y se presenta el decreto 1160 de 2010 (Presidencia de la República, 2010). Este decreto nuevamente modifica el valor del subsidio en las diferentes modalidades: para la modalidad de mejoramiento de vivienda el subsidio se encuentra entre 12 y 14 SMMLV y para vivienda nueva es de 15 a 19 SMMLV. Un aspecto importante es que se incluye el área mínima de la vivienda, de 36 m^2, y se deben cumplir normas de construcción como la NSR98 – RAS-2000.

En 2012 con la restructuración del programa de VISR, se expide el decreto 900 del 02 de mayo de 2012 (Presidencia de la República, 2012), modificando nuevamente los modelos de ejecución del programa de VISR. Los recursos del subsidio aumentan nuevamente hasta 16 SMMLV para mejoramiento de vivienda y hasta 24 SMMLV para la construcción de vivienda nueva. La modificación del decreto busca optimizar los procesos de administración y las actividades de supervisión tales como interventoría y residencia de obra, los mayores problemas a solucionar en la ejecución de los proyectos.

Ya en el 2015, se realiza la última modificación del programa de VISR por parte del Ministerio de Agricultura con el decreto 1934 (Ministerio de Agricultura, 2015), facilitando las especificaciones de presentación de los modelos de vivienda y aumentando el valor de

los subsidios para la modalidad de vivienda nueva hasta 55 SMMLV y el área de la vivienda a 50 m^2.

Lamentablemente el problema de la VISR no solo radica en su financiación o esquemas de gestión. Una vez adjudicados los subsidios, ya sea para vivienda nueva o adecuación, empiezan las etapas más críticas que son el transporte de materiales y su construcción. En esta etapa los beneficiarios del proyecto deben hacer parte del proceso de ejecución y el transporte de materiales que en la mayoría de los casos se dificulta teniendo en cuenta el difícil acceso para llegar a los predios de cada uno. Por ejemplo, RodrÍguez Gómez (2015) explica en su tesis de maestría los inconvenientes de la construcción de una vivienda rural para una familia emberá en Caldas bajo el mecanismo de subsidio de VISR. Demuestra que para una sola vivienda construida en mampostería son necesarios 1350 ladrillos, que es un aproximado de 105 viajes por mula. Con esto se podría calcular un promedio de tiempo solo en transporte de mampostería de 3 meses. A esto debe añadirse el resto de materiales como cemento, tejas, instalaciones, estructura metálica, puertas, ventanas, etc.

Ahora bien, si se lograra superar el inconveniente del transporte de materiales, otro aspecto a considerar es cómo evoluciona la vivienda después de construida. El esquema de gestión y construcción de la VISR maneja un proyecto tipo de vivienda que cuenta con una distribución de tres habitaciones, una sala-comedor, un baño, una cocina y un área de lavado; todo esto contenido en un mismo módulo (Figura 2-9).

Figura 2-9 Proyecto tipo VISR (Banco Agrario de Colombia, 2015).

Una vez entregada la vivienda bajo estos parámetros, es inevitable detener el proceso de transformación de los habitantes. En este punto las viviendas se adecúan según las necesidades de cada beneficiario. El hecho de que estos proyectos no tengan un planteamiento de flexibilidad en el diseño o alternativas de crecimiento progresivo en la vivienda hace que las modificaciones se realicen sin asistencia técnica, lo que significa un gran riesgo en la estabilidad estructural del proyecto. Por ejemplo, Rodríguez Gómez (2015) menciona que cuando las viviendas construidas presentan vanos insuficientes, los habitantes generalmente abren muros cerrados para tener mayor iluminación, provocando un gran riesgo para la estructura. Otro claro ejemplo es el uso del baño. Por lo general en las zonas rurales, el baño está exento del núcleo de la vivienda. Pero en el proyecto tipo, este se encuentra en el interior, por lo que el baño contenido en la vivienda no se utiliza y el espacio se usa como un cuarto de almacenamiento, evidenciando el completo desconocimiento de las características de la vivienda rural por parte de las entidades que desarrollan este tipo de proyectos.

2.5 Construcción y participación comunitaria en la vivienda

Es un mecanismo de cooperación laboral en el que suelen intervenir redes familiares o vecinales sustentadas por la incorporación de un valor agregado, permitiendo que los participantes tomen plena conciencia de la toma de decisiones a partir de un conocimiento profundo de la realidad (Garzón & Valle, 2001; Maffrand & Rusconi, 2001; Serrano, 1986; Valecillos, 2001). Aunque la autoconstrucción se puede considerar como una estrategia de desarrollo social, estos mecanismos han sido utilizados como una herramienta por los sectores con menores recursos para acceder a la vivienda, constituyéndose como una problemática a eliminar para el Gobierno (Romero Navarrete, Hernández Rodriguez, & Acevedo Davila, 2005).

En la década de los 60 se empiezan a explorar los procesos de participación en el campo de la arquitectura y la construcción y se reconocen las capacidades y derechos que tienen los usuarios en la toma de decisiones para la construcción de su propio hábitat. De ahí surgen las primeras teorizaciones en el campo de diseño realizadas por algunos arquitectos como John Turner, Christopher Alexander y Nicolás Habraken, quienes veían en la participación una herramienta que le permitía al usuario apropiarse del entorno en el que vivía (Maffrand & Rusconi, 2001).

En el caso de Colombia y América Latina hubo estudios y entidades que se han interesado en la participación en los procesos de construcción desde los años 50. Este es el caso del Centro Interamericano de Vivienda (CINVA), el cual reconoció que la acción comunal implementada en los procesos de rehabilitación urbana y erradicación de tugurios mejorarían los modelos de planeación integral, desarrollo e integración popular (Peña Rodríguez, 2008). El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) también llevó a cabo investigaciones sobre la autoconstrucción de viviendas para sectores de menores ingresos y desarrolló cartillas prácticas de autoconstrucción de viviendas como *Autogestión alrededor de la vivienda* (SENA, 1988), *Asentamientos humanos y construcción autogestionada* (SENA, 1989), entre otros. De igual forma, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica ha desarrollado manuales y normas que establecen parámetros básicos para la adecuada construcción de estructuras de manera fácil tales como el *Manual de construcción sismo resistente de viviendas en Bahareque Encementado* (Asociacion Colombiana De Ingenieria Sismica, 2002) o el título E de la *Norma sismo*

resistente NSR-10 - Casas de uno y dos pisos (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010b). En países de América Latina, como Argentina (Garzón & Valle, 2001), Venezuela (Valecillos, 2001), Chile (Perez, 1999; Serrano, 1986) y México (Romero Navarrete et al., 2005), también se reconoció la importancia de los procesos de partición en la construcción, teniendo como principio que la participación garantiza la correcta toma de decisiones sobre el espacio, asegura la apropiación de los espacios creados para satisfacer las necesidades humanas y permite establecer prioridades de acción en función de objetivos claros y comunes de todos.

La importancia de la implementación de los procesos de gestión comunitaria y autoconstrucción en la vivienda rural en Colombia radican en que este mecanismo puede brindar la oportunidad al usuario de participar en momentos claves de la construcción de la vivienda como la planeación y el diseño y adecuar la vivienda a las necesidades de los propietarios. Por otro lado, una de las características fundamentales de los procesos de autoconstrucción es que se pueden convertir en un mecanismo para el empoderamiento de las comunidades, pues busca formar grupos autosuficientes que generen un grado de independencia. Esto beneficia a las comunidades y las dota de sentido de pertenencia y autonomía para el desarrollo de diferentes proyectos que se puedan plantear, haciendo de la autoconstrucción un gran instrumento para reducir la vulnerabilidad de ciertos sectores de la población, en este caso, los habitantes del sector rural (Garzón & Valle, 2001; Maffrand & Rusconi, 2001; Perez, 1999; Romero Navarrete et al., 2005; Serrano, 1986; Valecillos, 2001).

Reconocer la importancia de la participación en los procesos de construcción es un aspecto merecedor de un estudio profundo, tal y como se hace en la tesis de maestría de Nidia Pabón y David Nassar (Nidia, pabon;david, 2013), el cual busca desarrollar una metodología para implementar infraestructuras básicas en reasentamientos de poblaciones. Aquí se explora como factor fundamental la participación de la comunidad, un instrumento que no solo contribuye a la construcción de infraestructura, sino también de redes sociales.

Una vez recopilada la información considerada relevante en el marco teórico, se continúa con la investigación. Se parte del análisis del material a utilizar (*Bambusa vulgaris*) y se hace la caracterización de sus propiedades físico-mecánicas, las cuales veremos en el siguiente capítulo.

3. Preliminares

3.1 Lugar de suministro

El material de estudio provino de un bosque de bambú *(Bambusa vulgaris),* ubicada en la hacienda la arabia en el sector rural de la vereda San Gabriel del municipio de Viotá, Cundinamarca (Figura 3-1). Viotá se encuentra ubicado al sur occidente del Departamento de Cundinamarca, sobre el piedemonte de la Cordillera Oriental, a 86 kilómetros de Bogotá y a 12 kilómetros de la carretera troncal que comunica el interior con el sur del país. Viotá limita al norte con Apulo y Anapoima, al sur con Nilo y Tocaima, por el oriente con Silvania y Tibacuy y al sur con Tocaima. Las coordenadas geográficas fueron referenciadas con GPS en el patio central de la hacienda siendo las siguientes.

- N 4°28'14.4"
- E 74°27'39.0"
- Altura 1122 m.s.n.m.

Figura 3-1: Vista general del guadual en la hacienda la arabia. (Autor).

4. Identificación de culmos y corte de probetas

Los culmos se almacenaron en las instalaciones del edificio SINDU de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, posteriormente se realizó una caracterización de cada parte del culmo para la elaboración de los esquemas de corte de las probetas, determinando la ubicación exacta de cada una de las muestras utilizadas en los ensayos de resistencia mecánica.

4.1 Identificación de culmos y probetas

Los pasos del procedimiento de identificación de culmos y probetas se describen a continuación:

- Almacenamiento exterior del material vegetal con una cubierta de protección contra el sol y la lluvia, sin tener contacto con el suelo (Figura 4-1 a)).
- Identificación de las partes (inferior, media, superior) de cada uno de los 16 culmos conforme a la marcación designada en campo.
- Conteo, marcación y medición de los entrenudos constituyentes de cada parte del culmo (Figura 4-1 b)).

Figura 4-1: a) acopio de material b) marcación de entrenudos. (Autor).

- Medición de dos diámetros perpendiculares; tanto para la sección transversal superior como para la sección transversal inferior del culmo, la identificación se otorga a partir del sentido de crecimiento de la Guadua.
- Medición de cuatro espesores en cada sección transversal, 2 espesores se miden en los mismos puntos donde se midieron los diámetros.
- Identificación de características y defectos presentes en los culmos como curvas pronunciadas, huecos, rajaduras, que se tendrán en cuenta para la ubicación de probetas.
- Compilación y digitalización de toda la información y datos recolectados en las etapas anteriores, consignada en el formato de campo que se observa en la Figura 4-2.
- Distribución en formato digital de cada una de las probetas, de manera aleatoria a lo largo de los 13 culmos, donde se identifique plenamente la posición, la dimensión y el tipo de probeta, siguiendo la nomenclatura explicada en la Figura 4-3.
- Marcación de los diferentes culmos (Figura 4-4) según la distribución de las probetas en los formatos digitales y los esquemas de corte anteriormente realizados, en las etapas 2 y 3, identificando correctamente la posición y nombre de cada probeta de acuerdo a la nomenclatura.

Figura 4-2: Formato de campo. (Autor).

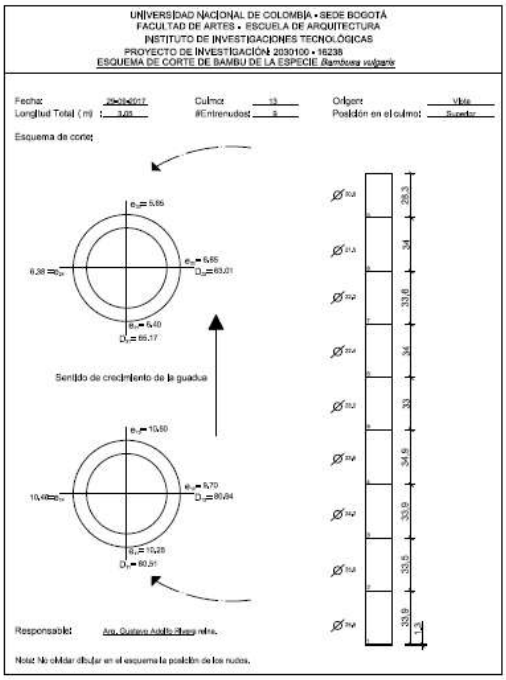


Figura 4-3: Marcación de las probetas con la nomenclatura presentada. (Autor).

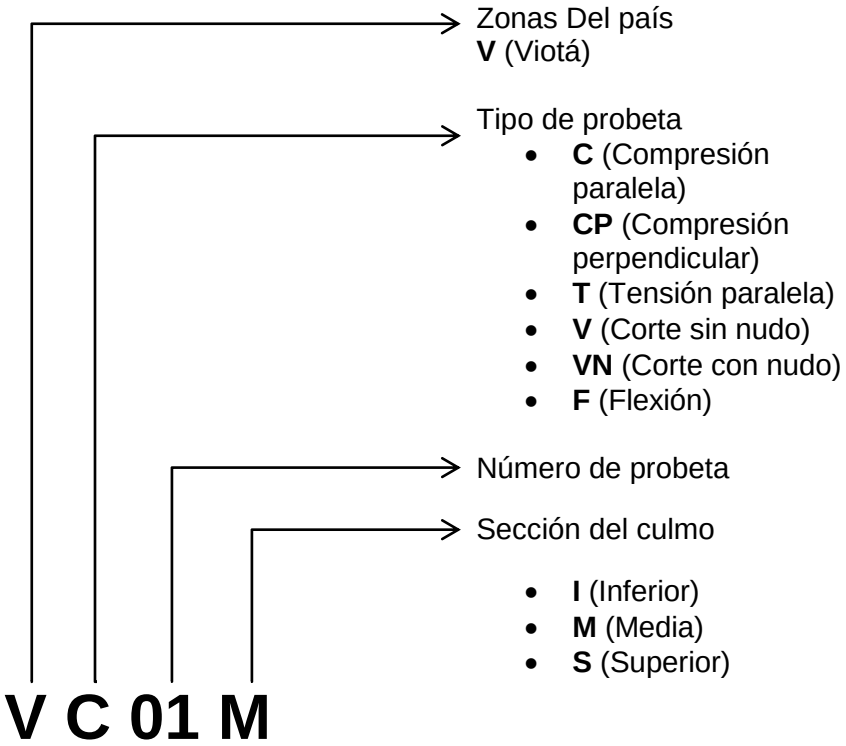


Figura 4-4: Marcación de las probetas con la nomenclatura presentada. (Autor).

4.2 Corte y preparación de las probetas

Una vez las probetas poseen la marcación correspondiente en todos los culmos, se realiza el corte de cada una de ellas con una sierra disco. Para el ensayo de tensión paralela a las fibras, las probetas se cortan con una sierra sin fin, dada su silueta curva, como se observa en la Figura 4-5.

Figura 4-5: a) Corte con sierra de disco b) Corte con sierra sin fin. (Autor).

a) b)

Para las probetas utilizadas en el ensayo de corte y compresión paralela a la fibra se utiliza una herramienta de lijado en cada extremo para garantizar un ángulo recto respecto a su longitud, como se observa en la Figura 4-6 este afinado se hace con el fin de una correcta ejecución del ensayo.

Figura 4-6: Trompo con lija para afinado. (Autor).

Se sumergen todas las probetas por un periodo mínimo de dos semanas antes de cada ensayo, para disminuir al máximo la resistencia del material, tal como se observa en la Figura 4-7.

Figura 4-7: Probetas de flexión sumergidas. (Autor).

5. Introducción a los ensayos

Los ensayos mecánicos desarrollados en el proyecto se realizaron siguiendo la metodología del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), la Norma técnica Colombiana 5525 (NTC 5525) “Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia Kunth*”, esta norma es una adopción modificada (MOD) de la norma ISO 22157-1:2004, con el objetivo de determinar el valor de los esfuerzos admisibles para diferentes solicitaciones. Se realizaron las pruebas de contenido de humedad, densidad básica, compresión paralela a la fibra, tensión paralela a la fibra, flexión y corte paralelo a la fibra con y sin presencia de nudo.

Se utilizó la metodología del documento elaborado por la Universidad Nacional de Colombia “Validación de la Guadua Angustifolia como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles” (Ministerio de Ambiente y desarrollo Rural MADR-UNAL) para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra.

La totalidad de muestras fueron probadas en una máquina universal de ensayos HUNG TA INSTRUMENT GO. LTD. Modelo 2010, con capacidad de 20 Toneladas. Cada uno de los ensayos, excepto el de compresión perpendicular a las fibras, requirió de un montaje especial el cual será descrito más adelante en el documento. En total se realizaron 156 ensayos mecánicos (Tabla 5-1), 156 ensayos de contenido de humedad y 35 ensayos de densidad.

Tabla 5-1**:** Distribución de los ensayos mecánicos. (Autor).

ENSAYO	Número de probetas
Compresión paralela	36
Compresión perpendicular	36
Flexión	12
Corte paralelo	36
Tensión paralela	36
Número total de ensayos	156

5.1 Determinación del valor característico y el esfuerzo admisible

Posterior al análisis estadístico de cada uno de los ensayos mecánicos, se requiere obtener el valor de los esfuerzos admisibles que son determinados a partir de los valores característicos en cada solicitación. El valor característico se obtiene mediante la Ecuación 5-1 tomada de la ISO 22156:2004 (Bamboo – structural design) numeral 7.2.1 y que también es usada en la NSR-10 G.12.7-1.

$R_k = R_{0.05i} * (1 - \frac{2.7 * \frac{s}{m}}{\sqrt{n}})$ Ecuación 5-1: valor característico ISO 22156, NSR 10.

En donde:

Rki = Valor característico en la solicitación i.
R0.05i = Percentil 5 de los datos en la solicitación i.
s = Desviación estándar de los datos de las pruebas de laboratorio.
m = Promedio de los datos de las pruebas de laboratorio.
n = Número de datos del ensayo.
i = subíndice que depende del tipo de solicitación.

- f para flexión
- t para tracción paralela a las fibras
- c para compresión paralela a las fibras

- cp para compresión perpendicular a las fibras
- v para cortante paralelo a las fibras

Una vez hallado el valor característico para cada solicitación, se procede a determinar el valor de esfuerzos admisibles utilizando la Ecuación 5-2 tomada de la ISO 22156:2004 (Bamboo – structural design) numeral 7.4, la cual es utilizada en el documento MADR – UNAL (2010).

$$\sigma_{admi} = R_{ki} * G * \frac{D}{S}$$ Ecuación 5-2: esfuerzo admisible ISO 22156.

En donde:

σadmi = Esfuerzo admisible.

Rki = Valor característico para la solicitación i.

G = Coeficiente de modificación para la diferencia entre la calidad del laboratorio y la práctica cuyo valor predeterminado es 0.5.

D = Coeficiente de modificación por duración de la carga.

- 1.0 para carga permanente (M)
- 1.25 para carga permanente más carga temporal (M+V)
- 1.5 para carga permanente más carga temporal más carga de viento (M+V+W)

S = Factor de seguridad cuyo valor predeterminado es 2.25.

i = subíndice que depende del tipo de solicitación

- f para flexión
- t para tracción paralela a las fibras
- c para compresión paralela a las fibras
- cp para compresión perpendicular a las fibras
- v para cortante paralelo a las fibras

Es importante aclarar que la NSR-10 (G.12.7-2) establece la Ecuación 5-3 para determinar los esfuerzos admisibles, la cual es diferente de la ecuación de la ISO 22156, por lo que también se tendrá en cuenta en cada ensayo para hacer la comparación respectiva.

$$F_i = \frac{FC}{F_S * FDC} * F_{ki}$$ Ecuación 5-3: Esfuerzo admisible NSR-10.

En donde:

F_i = Esfuerzo admisible en la solicitación i

F_{ki} = Valor característico del esfuerzo en la solicitación i

FC = Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura

- 1.0 para flexión, para compresión paralela y para compresión perpendicular
- 0.5 para tracción
- 0.6 para corte

F_s = Factor de seguridad.

- 2.0 para flexión y para tracción
- 1.5 para compresión paralela
- 1.8 para compresión perpendicular y para corte

FDC = factor de duración de carga.

- 1.5 para flexión y para tracción
- 1.2 para compresión paralela y para compresión perpendicular
- 1.1 para corte

Los datos de referencia para comparar los resultados de la presente investigación serán tomados de los trabajos realizados en anteriores trabajos. También se tendrán en cuenta las siguientes tablas tomadas de la NSR-10 que corresponden a los Esfuerzos admisibles (G.12.7-1) y al Modulo de Elasticidad (G.12.7.2), las cuales hacen parte del diseño estructural allí planteado.

Tabla 5-2: Valores de esfuerzos admisibles NSR-10. (AIS, 2010).

Esfuerzos admisibles F_i (MPa), CH=12%

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión ‖	F_{p^*} Compresión ⊥	F_v Corte
15	18	14	1.4	1.2

‖ = compresión paralela al eje longitudinal.

⊥ = compresión perpendicular al eje longitudinal.

*La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

Tabla 5-3: Valores de módulos de elasticidad NSR-10. (AIS, 2010).

Módulos de elasticidad, E_i (MPa), CH=12%

Módulo promedio $E_{0.5}$	Módulo percentil 5 $E_{0.05}$	Módulo mínimo E_{min}
9.500	7.500	4.000

5.2 Criterio de Chauvenet

Para cada uno de los ensayos se realizó un análisis estadístico en el cual se excluyeron los datos atípicos utilizando el criterio de chauvenet, este ensayo consiste en tomar cada uno de los datos (x), se le resta el promedio ($\bar{x}$) y dividir este resultado en la desviación estándar (s) como se muestra en la ecuación (4.4) posteriormente se comprueba si dentro de los datos analizados existen valores superiores a los estipulados en los coeficientes de chauvenet dependiendo de la cantidad de datos, como se muestra en la Tabla 5-4 para cada caso se indican cuales probetas debieron ser descartadas por sobrepasar este coeficiente.

$$\frac{x-\bar{x}}{s}$$ Ecuación 4-4

Tabla 5-4: Coeficiente de Chauvenet. (Autor).

n	kn	n	kn	n	kn
2	1,15	8	1,86	30	2,4
3	1,35	9	1,92	40	2,48
4	1,54	10	1,96	50	2,57
5	1,65	15	2,13	100	2,81
6	1,73	20	2,24	300	3,14
7	1,8	25	2,33	500	3,29

6. Ensayo del contenido de humedad

El Bambú como cualquier material orgánico presenta condiciones particulares de resistencia según su contenido de humedad, si el contenido de humedad de las probetas a ensayar es muy alto por lo general la vida útil y la resistencia del material se reducen considerablemente (AIS, 2010), la importancia en determinar el contenido de humedad (CH) de la *Bambusa vulgaris (BV)* radica en que se pueden realizar comparaciones con otros (CH) de bambúes como la guadua *Angustifolia kunth*, además se podría encontrar relaciones entre contenido de humedad y resistencia ultima del material. Si la (BV) se usara como material de construcción bajo la NSR_10, uno de los parámetros normativos para su uso es que su (CH) se encuentre inferior o igual al 12%. Si el contenido de humedad es superior a los dichos en la norma, es necesario aplicar factores de reducción que seguramente reducirían la resistencia del material.

Para la determinación del contenido de humedad se siguieron los lineamientos establecidos en la NTC 5525, el cual se basa principalmente en el cálculo de la pérdida de masa estableciendo el porcentaje de humedad. Para este ensayo se realizó la toma de 156 muestras, se extrajeron las probetas después de cada ensayo mecánico las cuales fueron previamente sumergidas por un periodo de tiempo mínimo de 2 semanas antes de realizar el ensayo.

El equipo utilizado para la realización del ensayo fue el siguiente:

- Balanza con exactitud de 0,01g
- Horno eléctrico de secado a 103°C
- Recipiente desecador

El procedimiento realizado para determinar en contenido de humedad fue el siguiente:

- Extracción de la probeta inmediatamente después de cada ensayo mecánico (flexión, compresión paralela, compresión perpendicular, tensión paralela, corte paralelo), las probetas se toman cerca del lugar de la falla.
- Pesaje de la probeta con una balanza de exactitud de 0,01g, para obtener la masa antes del proceso de secado (Figura 6-1:)
- Ingreso de la probeta al horno de secado a una temperatura constante de 103°C durante un periodo inicial de 24 horas (Figura 6-1:)
- Transcurridas las 24 horas, se retira la probeta del horno y se coloca en un recipiente desecador para evitar la ganancia de humedad, posteriormente se registra la masa de la probeta con la balanza de exactitud de 0,01g y se ingresa nuevamente al horno con la misma temperatura.
- A partir de este momento, se repite cada dos horas el proceso de medición de la masa, hasta obtener una diferencia entre 2 medidas consecutivas, el cual no debe exceder 0,01 g considerándola de este modo en estado anhidro.

  Se calcula el porcentaje del contenido de humedad de acuerdo a la Ecuación 6-1 donde *m* es la masa de la probeta antes del secado y $m_{c\ es}$ la masa de la probeta después del secado.

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} \times 100$$ Ecuación 6-1: contenido de humedad.

El CH obtenido se toma como representativo de la probeta ensayada como un todo, la media aritmética de los resultados obtenidos a partir de las probetas individuales se registran como el valor promedio del contenido de humedad de las probetas ensayadas.

Figura 6-1: a) pesaje en balanza b) horno de secado c) recipiente desecador. (Autor).

Los contenidos de humedad de 156 las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos, determinados con el proceso anteriormente descrito, se encuentran en la tabla Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Datos obtenidos contenido de humedad ensayos (Autor).

PROBETA	peso 1	peso 24h	peso 26h	%CH	PROBETA	peso 1	peso 24h	peso 26h	%CH	PROBETA	peso 1	peso 24h	peso 26h	%CH
VC01M	11,43	4,80	4,80	138,13	**VT1**	12,26	5,84	5,84	109,93	**VF01M**	21,67	14,46	14,45	52,80
VC02M	13,30	5,35	5,34	149,06	**VT2**	15,69	7,77	7,77	101,93	**VF02M**	26,78	16,90	16,89	58,56
VC03M	12,00	4,26	4,25	182,35	**VT3**	10,73	5,24	5,23	105,16	**VF03M**	24,56	16,35	16,34	50,31
VC04M	15,04	6,19	6,19	142,97	**VT4**	10,82	5,09	5,08	112,99	**VF04M**	28,05	18,16	18,15	54,55
VC05M	8,47	6,26	6,26	35,30	**VT5**	8,20	3,66	3,66	124,04	**VF05M**	34,56	22,57	22,56	53,19
VC06M	13,30	7,37	7,37	80,46	**VT6**	12,67	7,16	7,16	76,96	**VF06M**	21,56	14,57	14,56	48,08
VC07M	10,40	5,03	5,03	106,76	**VT7**	11,11	5,26	5,25	111,62	**VF07M**	22,67	14,68	14,67	54,53
VC08M	15,99	7,08	7,08	125,85	**VT8**	11,05	5,11	5,11	116,24	**VF09M**	26,78	17,07	17,06	56,98
VC09M	13,72	3,02	3,02	354,30	**VT9**	14,98	6,11	6,10	145,57	**VF10M**	26,79	17,69	17,68	51,53
VC010M	10,18	5,51	5,51	84,75	**VT10**	13,93	6,82	6,81	104,55	**VF13M**	20,56	13,05	13,04	57,67
VC011M	11,18	4,10	4,10	172,68	**VT11**	11,97	5,92	5,92	102,20	**VF14M**	24,67	15,12	15,11	63,27
VC012M	14,73	6,41	6,41	129,80	**VT12**	14,59	7,28	7,28	100,41	**VF16M**	25,67	16,81	16,80	52,80
VC013M	11,92	5,10	5,10	133,73	**VT13**	13,40	6,82	6,81	96,77					
VC014M	7,69	2,64	2,64	191,29	**VT14**	5,71	2,47	2,46	132,11					
VC015M	9,53	3,76	3,75	154,13	**VT15**	11,74	5,34	5,33	120,26					
VC016M	12,78	4,62	4,62	176,62	**VT16**	13,50	6,30	6,29	114,63					
VC017M	16,49	6,18	6,18	166,83	**VT17**	10,37	5,21	5,20	99,42					
VC018M	9,95	4,34	4,33	129,79	**VT18**	9,24	4,61	4,61	100,43					
VC19I	12,56	5,03	5,03	149,70	**VT19**	10,09	4,68	4,68	115,60					
VC20I	9,46	3,40	3,40	178,24	**VT20**	11,50	5,62	5,61	104,99					
VC21I	10,58	4,97	4,97	112,88	**VT21**	9,56	4,22	4,21	127,08					
VC22I	13,34	5,45	5,45	144,77	**VT22**	9,20	4,73	4,72	94,92					
VC23I	12,37	2,84	2,84	335,56	**VT23**	11,91	5,62	5,62	111,92					
VC24I	10,44	4,24	4,24	146,23	**VT24**	11,44	5,37	5,37	113,04					
VC25I	9,47	5,03	5,03	88,27	**VT25**	11,21	5,36	5,36	109,14					
VC26I	8,93	3,68	3,68	142,66	**VT26**	13,16	6,44	6,44	104,35					
VC27I	9,84	3,64	3,64	170,33	**VT27**	11,55	5,82	5,81	98,80					
VC28I	8,40	3,37	3,37	149,26	**VT28**	15,11	7,73	7,73	95,47					
VC29I	11,04	4,12	4,12	167,96	**VT29**	11,33	6,66	6,66	70,12					
VC30I	12,95	5,47	5,46	137,18	**VT30**	10,20	4,87	4,87	109,45					
VC32I	12,91	5,62	5,61	130,12	**VT31**	18,00	8,41	8,41	114,03					
VC32I	8,80	3,51	3,50	151,43	**VT32**	10,45	4,93	4,93	111,97					
VC33I	11,40	4,05	4,05	181,48	**VT33**	10,22	4,48	4,47	128,64					
VC34I	9,12	3,64	3,63	151,24	**VT34**	11,44	5,82	5,81	96,90					
VC35I	12,46	5,11	5,10	144,31	**VT35**	14,77	7,81	7,81	89,12					
VC36I	12,39	5,14	5,13	141,52	**VT36**	11,20	5,11	5,10	119,61					
PROBETA	peso 1	peso 24h	peso 26h	%CH	**PROBETA**	peso 1	peso 24h	peso 26h	%CH					
VCP01M	6,19	2,24	2,24	176,34	**VV01I**	45,98	20,63	20,62	122,99					
VCP02M	5,21	2,47	2,47	110,93	**VV02I**	32,87	10,15	10,14	224,16					
VCP03M	5,21	7,33	7,32	-28,83	**VV03I**	26,33	8,19	8,18	221,88					
VCP04M	5,21	2,41	2,40	117,08	**VV04I**	28,12	13,01	13,00	116,31					
VCP05M	5,21	2,41	2,41	116,18	**VV05I**	36,73	17,13	17,12	114,54					
VCP06M	5,21	3,03	3,02	72,52	**VV06I**	52,12	21,84	21,83	138,75					
VCP07M	5,21	3,45	3,44	51,45	**VV07I**	51,99	23,60	23,59	120,39					
VCP08M	5,21	2,72	2,71	92,25	**VV08I**	21,40	7,80	7,79	174,71					
VCP09M	5,21	3,45	3,45	51,01	**VV09M**	47,82	21,28	21,27	124,82					
VCP10M	5,21	2,53	2,53	105,93	**VV10M**	25,33	13,47	13,46	88,19					
VCP11M	5,21	1,74	1,74	199,43	**VV11M**	48,11	11,33	11,32	325,00					
VCP12M	5,21	3,54	3,54	47,18	**VV12M**	26,51	23,11	23,12	14,66					
VCP13M	5,21	1,64	1,64	217,68	**VV13M**	26,76	11,90	11,89	125,06					
VCP14M	5,21	5,12	5,11	1,96	**VV14M**	19,38	10,45	10,42	85,99					
VCP|15M	5,21	3,99	3,99	30,58	**VV15M**	20,38	8,28	8,27	146,43					
VCP16M	5,21	3,43	3,42	52,34	**VV16M**	31,77	13,65	13,64	132,92					
VCP17M	5,21	1,91	1,91	172,77	**VVN01M**	32,77	13,20	13,19	148,45					
VCP18M	5,21	1,25	1,25	316,80	**VVN02M**	37,28	15,59	15,58	139,28					
VCP19I	5,21	1,18	1,18	341,53	**VVN03M**	27,13	16,32	16,31	66,34					
VCP20I	5,21	3,27	3,26	59,82	**VVN04M**	13,43	11,22	11,21	19,80					
VCP21I	5,21	2,14	2,14	143,46	**VVN05M**	25,40	6,11	6,10	316,39					
VCP22I	5,21	2,37	2,36	120,76	**VVN06M**	34,49	9,97	9,96	246,29					
VCP23I	5,21	1,97	1,97	164,47	**VVN07M**	18,12	15,63	15,62	16,01					
VCP24I	5,21	3,04	3,03	71,95	**VVN08M**	41,76	11,83	11,82	253,30					
VCP25I	5,21	2,56	2,56	103,52	**VVN09I**	28,64	18,39	18,38	55,82					
VCP26I	5,21	2,54	2,54	105,12	**VVN10I**	36,31	14,70	14,69	147,17					
VCP27I	5,21	2,23	2,23	133,63	**VVN11I**	32,66	15,27	15,26	114,02					
VCP28I	5,21	2,18	2,18	138,99	**VVN12I**	24,19	8,08	8,07	199,75					
VCP29I	5,21	2,34	2,34	122,65	**VVN13I**	27,61	15,16	15,15	82,24					
VCP30I	5,21	3,56	3,56	46,35	**VVN14I**	26,21	14,59	14,58	79,77					
VCP31I	5,21	2,71	2,71	92,25	**VVN15I**	25,23	10,76	10,75	134,70					
VCP32I	5,21	2,62	2,63	98,10	**VVN16I**	27,43	13,67	13,66	100,81					
VCP33I	5,21	3,78	3,77	38,20	**VVN17I**	18,12	15,63	15,62	16,01					
VCP34I	5,21	1,85	1,85	181,62	**VVN18I**	27,13	16,32	16,31	66,34					
VCP35I	5,21	2,13	2,13	144,60	**VVN19I**	19,38	10,45	10,42	85,99					
VCP36I	5,21	2,33	2,33	123,61	**VVN20I**	32,77	13,20	13,19	148,45					

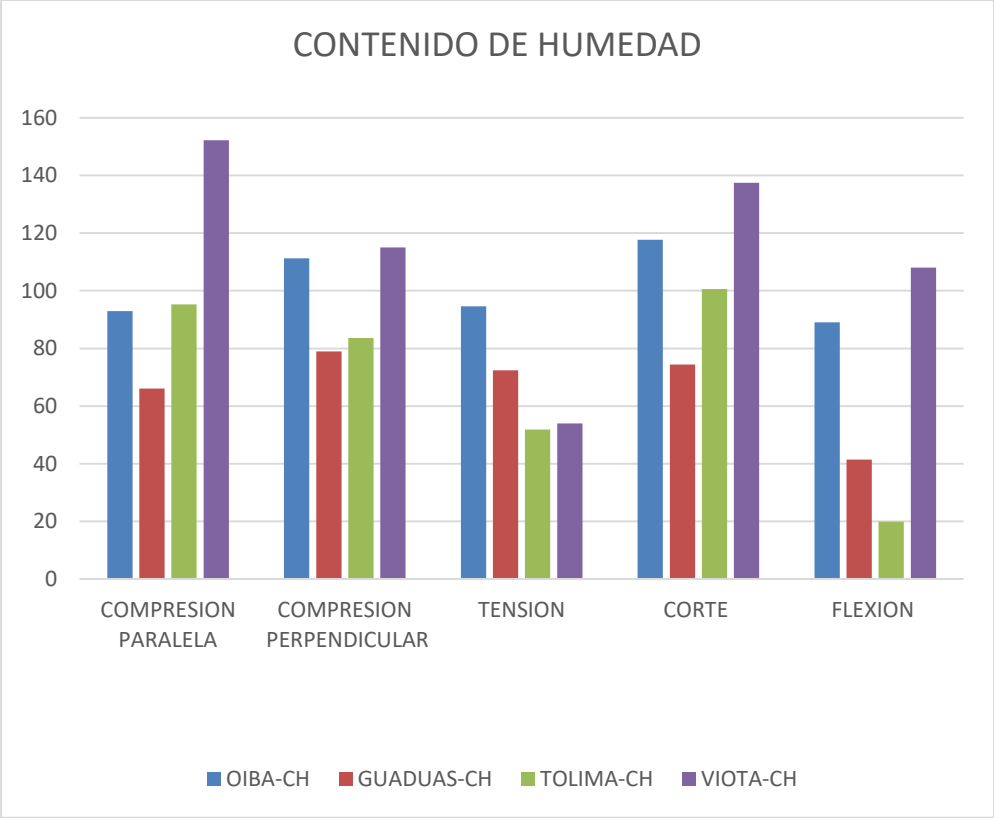
Tabla 6-2: Análisis estadístico para el contenido de humedad de las probetas ensayadas. (Autor).

ENSAYO	DATOS ESTADISTICOS	TOTAL
COMPRESION PARALELA	PROMEDIO (%)	152,17%
	DESVIACION ESTANDAR (%)	57,25%
	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	38%
COMPRESION PERPENDICULAR	PROMEDIO (%)	115%
	DESVIACION ESTANDAR (%)	76%
	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	66%
FLEXION	PROMEDIO (%)	54%
	DESVIACION ESTANDAR (%)	5%
	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	8%
CORTE PARALELO	PROMEDIO (%)	137,40
	DESVIACION ESTANDAR (%)	76,88
	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	56%
TENSION PARALELA	PROMEDIO (%)	108,07 %
	DESVIACION ESTANDAR (%)	14,49%
	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	13%

La medición de los pesos de las diferentes probetas se realizaron en estado verde puesto que antes de realizar cualquier ensayo, dichas probetas fueron sumergidas en agua por un período mínimo de dos semanas, con el fin de disminuir su resistencia. Los resultados muestran que el menor contenido de humedad fue el del ensayo a flexión, este resultado puede ser consecuencia del tiempo en el que las probetas estuvieron en el agua, el cual fue el menor, además del tiempo trascurrido en la intemperie tras el montaje del ensayo. Todas estas circunstancias pudieron producir una mayor evaporación en las probetas además que estas fueron las de mayor dimensión y es posible que la absorción de estos elementos más grandes sea diferente en comparación con una probeta más pequeña. Las probetas con el mayor contenido de humedad fueron las del ensayo de compresión paralela a la fibra con un 152.17%, este resultado puede ser consecuencia de que el tiempo que las probetas estuvieron en el agua fue el mayor ya que este fue el último ensayo en realizarse. Para el resto de las pruebas, los contenidos de humedad indican que se encuentran entre el rango de saturación y simulación del estado verde que según (Lopez Hidalgo, 2003) se encuentra entre un 40% hasta un 150%.

En comparación con los otros estudios desarrollados bajo la misma metodología utilizada (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) los contenidos de humedad obtenidos en la presente investigación son de los más altos, obteniendo en cuatro de las cinco pruebas el mayor contenido de humedad.

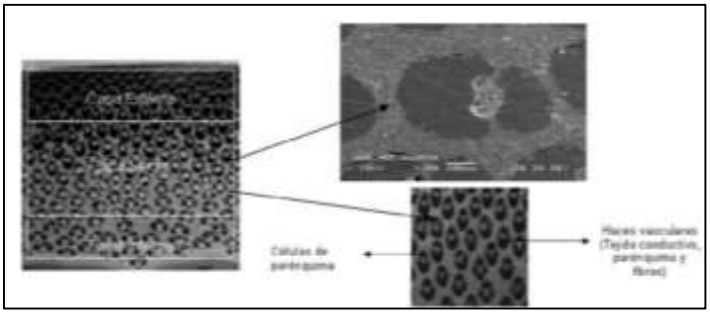
Figura 6-2:Comparación contenido de humedad. (Autor).



7. Ensayo de densidad

Al igual que la guadua, la *Bambusa vulgaris* es un material denominado como un pasto de grandes proporciones (Marín, Guedez, & Hernández, 2011), está compuesta por fibras de celulosa, células parenquimatosas y fibras en su mayor medida longitudinales, esto da como resultado una gran resistencia del material a esfuerzos de tracción. Estas propiedades son efecto de la estructura anatómica de la planta que se compone básicamente de dos partes; un tejido parenquimatoso (60%) que hace de matriz y los haces vasculares y fibras (40%) que trabajan como estructura portante (Marín et al., 2011). Según (Londoño, 2002) la forma, tamaño y concentración de haces vasculares varían desde la parte interior del culmo hasta la corteza, cercanos a esta, los haces vasculares son pequeños y numerosos y acercándose al interior del culmo los haces vasculares empieza a ser grandes y separados, según (Garzon, 2016) en todos los bambúes, los haces vasculares decrecen de tamaño desde la base hacia el ápice y su densidad se incrementa en el sentido de crecimiento, pero para el caso de la *Bambusa vulgaris* la densidad entre diferentes partes del culmo muestra una variación mínima.

Figura 7-1: Distribución de vasos vasculares. Fuente (H. José et al., 2008)



Para la determinación de la densidad básica del bambú *(Bambusa vulgaris)* se siguieron los lineamientos establecidos en la NTC 5525, basado en el principio de la determinación de la masa mediante el pesaje y del volumen a través de la medición de sus dimensiones, para el cálculo de la masa por unidad de volumen de bambú.

El equipo utilizado para la realización del ensayo comprendió:

- Instrumento de medición con exactitud de 0.1 mm.
- Balanza de exactitud de 0,01g.
- Horno eléctrico de secado a 103°c

El procedimiento realizado es el siguiente:

- Elaboración de las probetas, seleccionados de las porciones inferior y media para cada uno de los culmos, con forma prismática de aproximadamente de 25mm de ancho, 25 mm de alto y espesor igual al de la pared.
- Colocación de cada probeta en agua, durante un periodo mínimo de dos semanas para lograr el estado de saturación (verde), como se observa en la (Figura 7-2:).
- Extracción de las probetas en agua y medición de las dimensiones con exactitud de 0.1mm y cálculo del volumen verde con exactitud de 10mm3, como se observa en la Figura 7-2: .
- Ingreso de las probetas al horno de secado a una temperatura constante de 103°c durante un periodo inicial de 24 horas, como se observa en la figura 6-3.
- Luego de 24 h, las probetas se retiran del horno y se depositan en el recipiente desecador para evitar la ganancia de humedad, posteriormente se registra la masa con exactitud de 0,01g y se ingresa nuevamente al horno a la misma temperatura.
- A partir de este momento, cada dos horas se repite el proceso de medición de las probetas, hasta obtener una diferencia entre dos medidas consecutivas que no exceda 0,01g y así se considera la probeta en estado anhidro.
- Determinar la masa en estado anhidro mediante el pesaje con exactitud de 0,01 g, como se observa en la figura 6-3
- Calcular la densidad básica (ρ) por medio de la Ecuación 7-1

$\rho = (m/V)x10^6$ Ecuación 7-1: contenido de humedad.

En donde

ρ =es densidad, en kg/m^3

m= es la masa de la probeta seca en horno, en g.

V= es el volumen húmedo (verde) de la probeta en mm3.

Figura 7-2: a) Probetas saturadas en agua b) Dimensionamiento de probetas. (Autor).

a) b)

Figura 7-3:a) secado de probetas b) pesaje de probetas. (Autor).

Tabla 7-1: Resultados experimentales para el ensayo de densidad básica. (Autor).

PROBETA	p(Kg/m3)	PROBETA	p(Kg/m3)
VC01M	458,19	VC19I	423,38
V02M	405,96	V20I	401,96
V03M	375,66	V21I	425,33
V04M	569,09	V22I	519,20
V05M	510,92	V23I	376,09
V06M	1058,69	V24I	438,74
V07M	398,12	V25I	453,57
V08M	411,61	V26I	486,74
V09M	189,79	V27I	423,90
V010M	635,59	V28I	418,52
V011M	386,54	V29I	377,98
V012M	695,42	V30I	1106,73
V013M	419,00	V32I	463,50
V014M	339,68	V32I	383,37
V015M	433,11	V33I	370,70
V016M	340,89	V34I	423,70
V017M	374,55	V35I	486,10
V018M	457,70	V36I	552,92

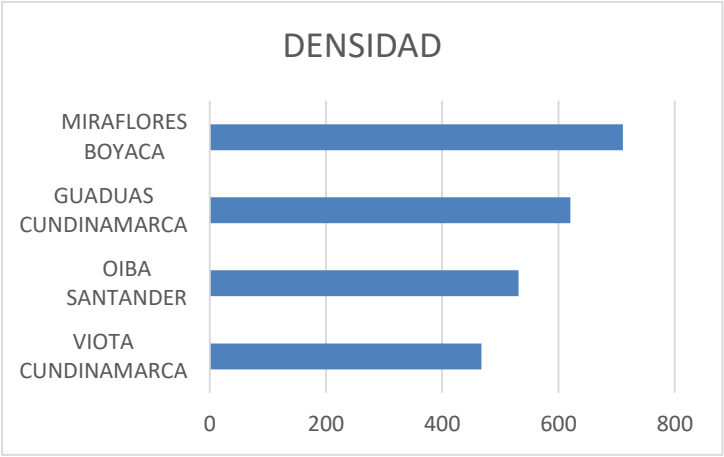
Tabla 7-2: Análisis estadístico de densidad básica para las dos porciones del culmo. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
NÚMERO DE DATOS (N)	18	18	36
PROMEDIO (MPa)	474,02	470,03	467,57
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	165,68	186,35	181,42
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	35%	40%	39%

Los resultados de densidad básica muestran que el promedio total es de 467,57 Kg/m^3, las variaciones entre las diferentes partes del culmo son mínimas, existiendo una diferencia de 3,99%. El valor mínimo encontrado fue 189,79 Kg/m^3 y está ubicado en la porción media del culmo y el valor máximo 1106,73 Kg/m^3 y está ubicado en la porción inferior. La Figura 7-4: muestra un comparativo entre los resultados encontrados con otras investigaciones. Se puede observar que los resultados obtenidos en Viotá son los menores en comparación con otras investigaciones como Guaduas (Garzon, 2016), Oiba (Narváez, 2016) y

Miraflores (Cely, 2012), sin embargo, es importante aclarar que los contenidos de humedad obtenidos en Miraflores se tomaron es estado seco. Una vez conociendo la densidad de la *Bambusa vulgaris* (BV) procedemos a determinar la resistencia y módulo de elasticidad del material. Si en el transcurso de la investigación se obtienen resultados adecuados de resistencia y módulos de elasticidad ante los diferentes ensayos mecánicos, podríamos determinar que la *Bambusa vulgaris* puede ser un material adecuado para la construcción en este caso de vivienda rural.

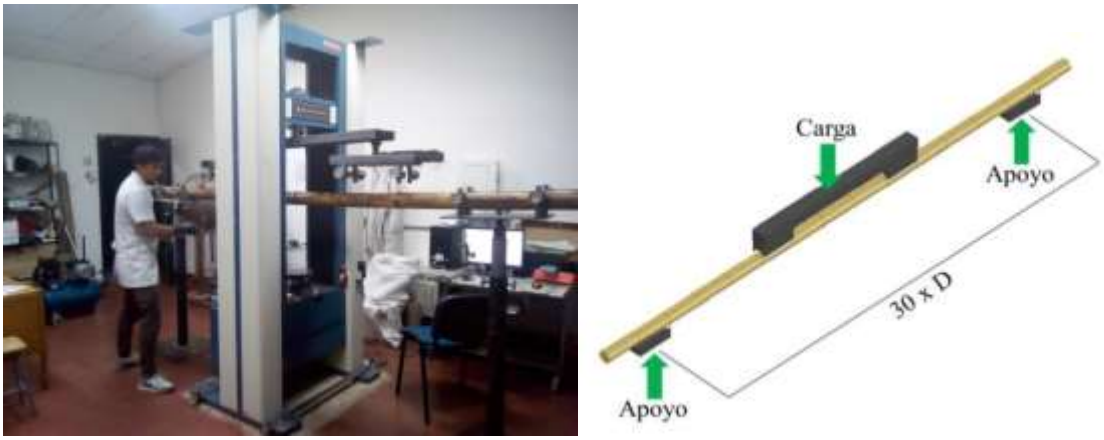
Figura 7-4:Comparación con densidades de guadua angustifolia en diferentes regiones. (Autor).



8. Ensayo de flexión

Para determinar la resistencia última del bambú *Bambusa vulgaris* procedente del municipio de Viotá - Cundinamarca, ante solicitaciones de flexión, se ensayaron 12 probetas. Debido a que los culmos se dividieron en dos segmentos, parte inferior (1.5m) y parte media (4,5 m), teniendo en cuenta la disponibilidad del material y la restricción de longitud establecida en la NTC 5525 (el espacio libre debe ser al menos 30 veces el diámetro externo) se seleccionó la parte media del culmo para realizar el ensayo con un montaje diseñado para aplicar una carga constante a una velocidad de 0,5 mm/s (15 mm/min) en la maquina universal de ensayos.

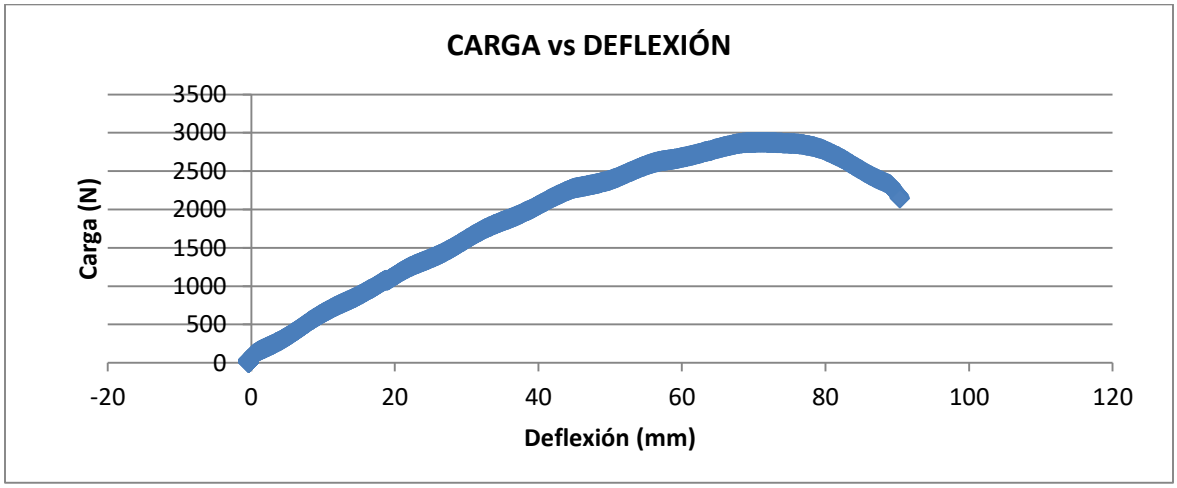
Figura 8-1 Montaje del ensayo a flexión. (Autor).



Todas las probetas fueron instrumentadas con un aparato LVDT en el centro de la luz para la medición de la deflexión y posterior cálculo del módulo de elasticidad (*E*) a flexión. La Figura 8-1 muestra el montaje del instrumento y la Figura 8-3: muestra un ejemplo de las curvas Carga vs. Deflexión obtenida.

Figura 8-2: Instrumento LVDT. (Autor).

Figura 8-3: Carga vs. Deflexión para la probeta VF05. (Autor).



La Figura 8-2:: muestra la falla tipica de las probetas, en la cual se obseva un aplastemiento cercano al nudo donde se aplican las cargas, tambien se puede apreciar el instrumento LVDT midiendo la deflexion de la probeta para un futuro calculo del modulo de elasticidad

8.1 Esfuerzo ultimo a flexión

Tabla 8-1: presenta los resultados obtenidos de esfuerzo último a flexión (σ_{uf}), módulo de elasticidad longitudinal (*E*), y porcentaje de contenido de humedad (CH %) de las 12 probetas ensayadas en la parte media de culmo. Los formatos que contienen los espesores, diámetros, longitud, carga última, deformación y demás información consignada durante el ensayo de cada probeta se encuentran en el Anexo.

El momento de inercia (I_B) se calculó usando la Ecuación 8-1 tomada de la NTC 5525.

$I_B = \frac{\pi}{64} * (D^4 - (D - 2t)^4)$ Ecuación 8-1: Momento de inercia.

En donde:
D = *D*iámetro externo promedio
t = Espesor de pared promedio

El esfuerzo último a flexión (σ_{uf}) se determinó usando la Ecuación 8-2 tomada de la NTC 5525, que contiene el momento de inercia I_B calculado con la Ecuación 8-1.$\sigma_{uf} = F * L * \frac{D/2}{6} * \frac{1}{I_B}$ Ecuación 8-2: Ecuación esfuerzo último a flexión.

En donde:
F = Carga máxima aplicada.
L = Luz libre.
D = Diámetro externo.

Tabla 8-1: Resultados para el ensayo de flexión en la porción media del culmo incluyendo resultados atípicos. (Autor).

PROBETA	σ_{uf} (Mpa)	E (Mpa)	CH (%)
VF01M	55,35	14209,30	52,80
VF02M	106,74	26106,52	58,56
VF03M	52,73	11782,43	50,31
VF04M	108,61	17427,21	54,55
VF05M	63,36	16512,97	53,19
VF06M	51,96	17038,40	48,08
VF07M	59,83	15336,83	54,53
VF09M	61,04	13177,59	56,98
VF10M	59,41	12387,75	51,53
VF13M	57,61	13529,57	57,67
VF14M	70,88	21232,75	63,27
VF16M	48,10	8751,02	52,80

Con base en los resultados presentados en las pruebas de resistencia a flexión, para la poción media del culmo. En la Tabla 8-2 se presenta el análisis estadístico del esfuerzo ultimo obtenido para las probetas ensayadas, el valor característico a flexión (R_{kf}) mostrando en la tabla es calculado usando la Ecuación 5-1 tomada de la ISO 22156:2004 y la NSR-10 G.12.7-1.

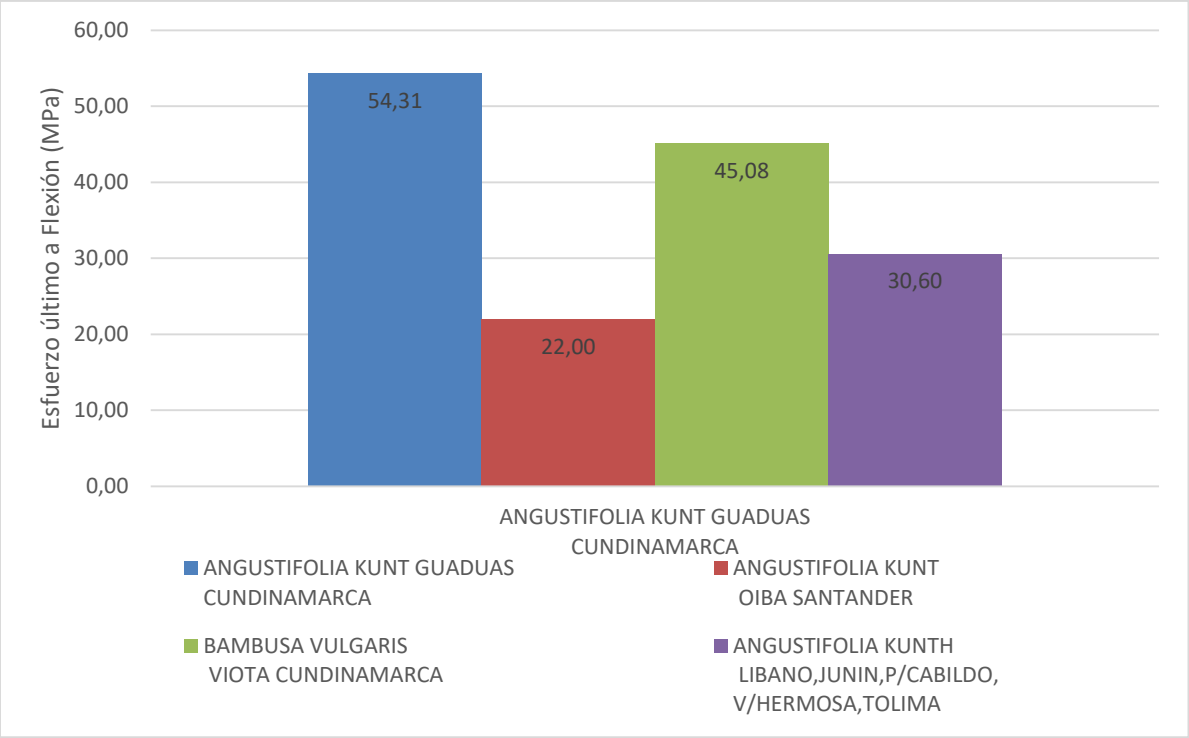
En la Tabla 8-2, el número de datos corresponde a los usados para realizar el análisis estadístico luego de excluir los resultados atípicos del ensayo usando el criterio de chauvenet. Para el ensayo a flexión se debió descartar las probetas VF02 Y VF04 puesto que superaron el coeficiente máximo de dicho criterio.

Tabla 8-2: Análisis estadístico para esfuerzo último a flexión sin descartes. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN MEDIA
NÚMERO DE DATOS (N)	10
PROMEDIO (MPa)	58,03
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	6,49
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	11%
PERCENTIL 5 (MPa)	49,83
VALOR CARACTERÍSTICO (Mpa)	45,08

La Figura 8-4 muestra la comparación del esfuerzo ultimo obtenido entre diferentes municipios (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016), en donde se observa que el valor de Viota se encuentra en segundo lugar después de guaduas(Garzón, 2016).

Figura 8-4: Comparación de esfuerzo último a flexión entre Bambusa vulgaris y Angustifolia kunth (Autor).



8.2 Esfuerzo admisible a flexión

Si bien, se determinaron los valores promedio y característicos del esfuerzo ultimo a flexión para la bambusa vulgaris, se debe tener en cuenta que ante la normativa nacional NSR-10 y la normativa internacional ISO, estos valores deben ser sometidos a factores de reducción los cuales me determinaran el esfuerzo admisible. En el capítulo G-12 de la NSR-10 se trabaja un esfuerzo admisible de la guadua de 15 Mpa. Para determinar el valor admisible, se trabajó con dos ecuaciones: la primera es extraída de la norma ISO 22156:2004 y la segunda es de la NSR-10: Ecuación 8-3 y Ecuación 8-4 mostradas completas en el capítulo 5. En la ISO 22156 para encontrar el esfuerzo admisible, el valor característico obtenido en los ensayos a flexión se trabaja bajo los siguientes valores:

$\sigma_{admi} = R_{ki} * G * \frac{D}{S}$ Ecuación 8-3: Ecuación esfuerzo admisible ISO 22156.

En donde:

σadmi = Esfuerzo admisible.

Rki = Valor característico

G = Coeficiente de modificación laboratorio cuyo valor predeterminado es 0.5.

D = Coeficiente de modificación por duración de la carga

- 1.0 para carga permanente (M)
- 1.25 para carga permanente más carga temporal (M+V)
- 1.5 para carga permanente más carga temporal más carga de viento (M+V+W)

S = Factor de seguridad cuyo valor predeterminado es 2.25.

El valor de los esfuerzos admisibles a flexión (σ_{admi}), mostrados en la Tabla 8-3 se calcularon a partir de la Ecuación 8-3 .

Tabla 8-3 Esfuerzo admisible a flexión, porción media. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN MEDIA
M (Mpa)	10,02
M+V (Mpa)	12,52
M+V+W (Mpa)	15,05

Para el caso del esfuerzo admisible obtenido de la Ecuación 8-4 tomada de la NSR-10 se trabajó bajo los siguientes valores.

$F_i = \frac{FC}{F_S * FDC} * F_{ki}$ Ecuación 8-4: ecuación esfuerzo admisible NSR-10.

F_i = Esfuerzo admisible

F_{ki} = Valor característico del esfuerzo

FC = Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura

- 1.0 para flexión

F_s = Factor de seguridad

- 2.0 para flexión

FDC = factor de duración de carga

- 1.5 para flexión

En la Tabla 8-4 se observa el esfuerzo obtenido por la Ecuación 8-4 . Se puede mostrar que el valor admisible obtenido por la NSR-10 es menor que el valor de la ISO 22156, esto puede ser gracias a que los factores de reducción de la NSR-10 son más altos que la norma ISO reduciendo de esta manera el esfuerzo de la bambusa vulgaris.

Tabla 8-4: Esfuerzo admisible a flexión, ecuación NSR-10. (Autor).

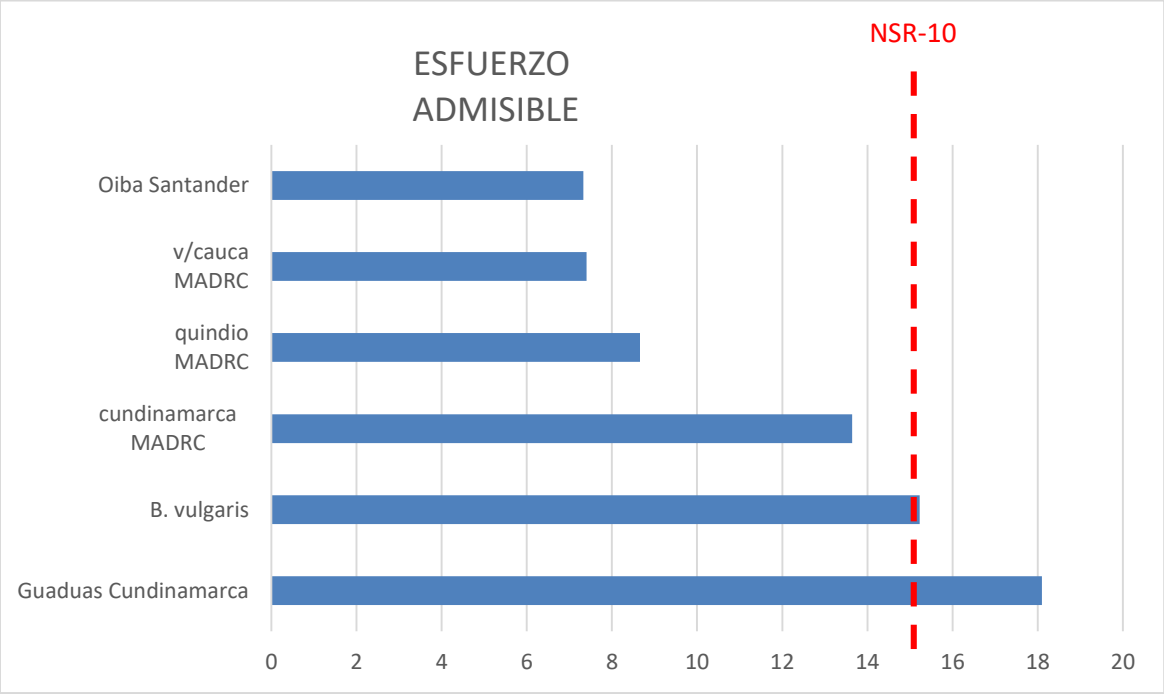
CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN MEDIA
(Mpa)	15,03

En la Tabla 8-5 se muestran los datos de los resultados obtenidos en el presente trabajo con investigaciones anteriores ensayando guadua Angustifolia kunth y en la Figura 8-5 la comparación de los valores admisibles obtenidos en relación con la NSR-10. La guadua de Oiba presenta menor esfuerzo admisible a flexión junto con la de V/cauca; en segundo lugar se encuentra la B. vulgaris y por último la especie que presenta mayor esfuerzo admisible a flexión es la de Guaduas. Usando la ecuación del esfuerzo admisible según la NSR-10 la resistencia de la B. vulgaris supera en 0,3 Mpa la exigencia de la norma que equivale a 15Mpa incluyendo los factores de reducción por contenido de humedad.

Tabla 8-5, Comparación esfuerzo admisible a flexión de Viota con otras regiones(Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016). (Autor)

CONDICIÓN DE CARGA	VIOTA/ CUNDINAMARCA	GUADUAS/ CUNDINAMARCA	OIBA/ SANTANDER
M (Mpa)	10,02	12,07	4,89
M+V (Mpa)	12,52	15,08	6,11
M+V+W (Mpa)	15,03	18,01	7,33

Figura 8-5 Comparación de esfuerzo admisible a flexión entre *Bambusa vulgaris* y *Angustifolia kunth otras investigaciones*(Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) (Autor).



Es importante resaltar que los valores dados en la norma NSR-10 se determinaron con probetas que fueron ensayadas con un contenido de humedad del 12% el cual se encuentra por debajo del obtenido en las probetas de la presente investigación (54,11%) y otras investigaciones con las que se realizan comparaciones. Se puede notar la influencia del contenido de humedad en las probetas con la resistencia obtenida, permitiendo inferir que a mayor contenido de humedad menor resistencia obtenida.

Figura 8-6. Comparación Contenido de humedad VS resistencia de probetas a flexión en diferentes investigaciones. (Autor).

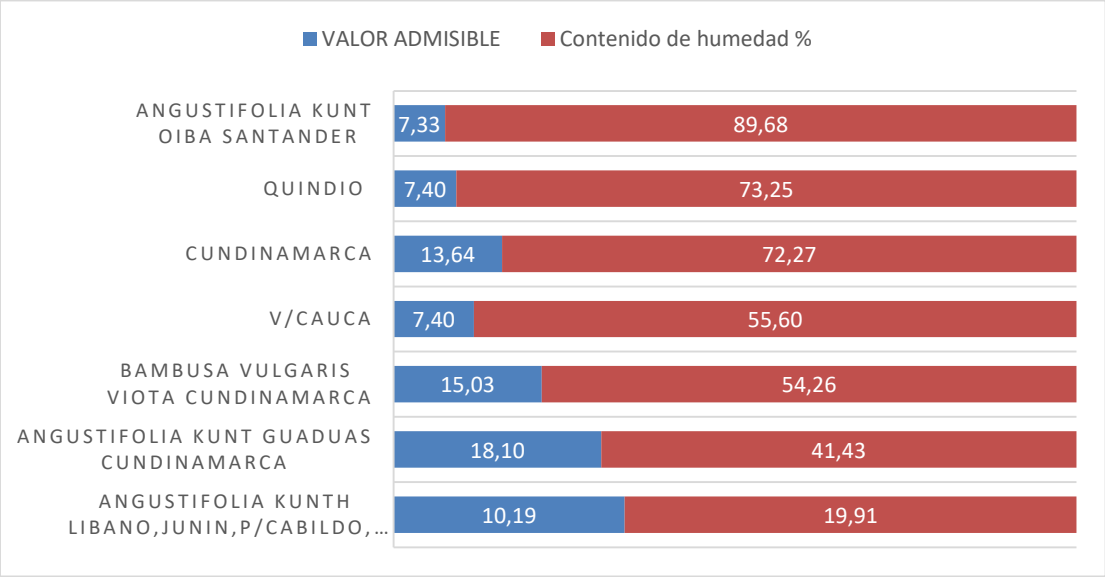


Tabla 8-6, Contenido de humedad de probetas a flexión. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN MEDIA
PROMEDIO (%)	54,11
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	4,54
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	8%

Aunque la NSR-10 tiene como requisito que la especie utilizada como elemento de soporte estructural es la Guadua *Angustifolia Kunth* y no contempla la posibilidad de utilizar otras especies de bambúes como elemento estructural, al realizar los ensayos de caracterización físico-mecánica de la *Bambusa vulgaris* para comparar con los valores mínimos para el esfuerzo admisible presentados en el Título G- Estructuras de madera y estructuras de guadua para ver la viabilidad de emplear esta especie como elemento estructural, el esfuerzo mínimo admisible según la NSR-10 es de 15 MPa y el obtenido con *B. vulgaris* fue de 15,03, es decir, seleccionando material vegetal con menor cantidad de humedad se podría cumplir este requisito.

8.3 Módulo de elasticidad a flexión

En la Tabla 8-7 se muestra el análisis estadístico para el módulo de elasticidad a flexión en la porción media del culmo. El número de datos consignados en la tabla corresponde a los usados para el análisis estadístico luego de excluir los datos atípicos después de usar el criterio de chauvenet, para este caso de descartaron las probetas VF02 Y VF04 que sobrepasaron este coeficiente.

El módulo de elasticidad (*E*) a flexión se determinó usando la Ecuación 8-5 tomada de la NTC 5525.

$$E = \frac{23*F*L^3}{1296*\delta*I_B}$$ Ecuación 8-5: módulo de elasticidad.

En donde:
F = Carga máxima aplicada.
L = Luz libre.
I_B = Momento de inercia.
δ = Deflexión en el punto medio de la luz.

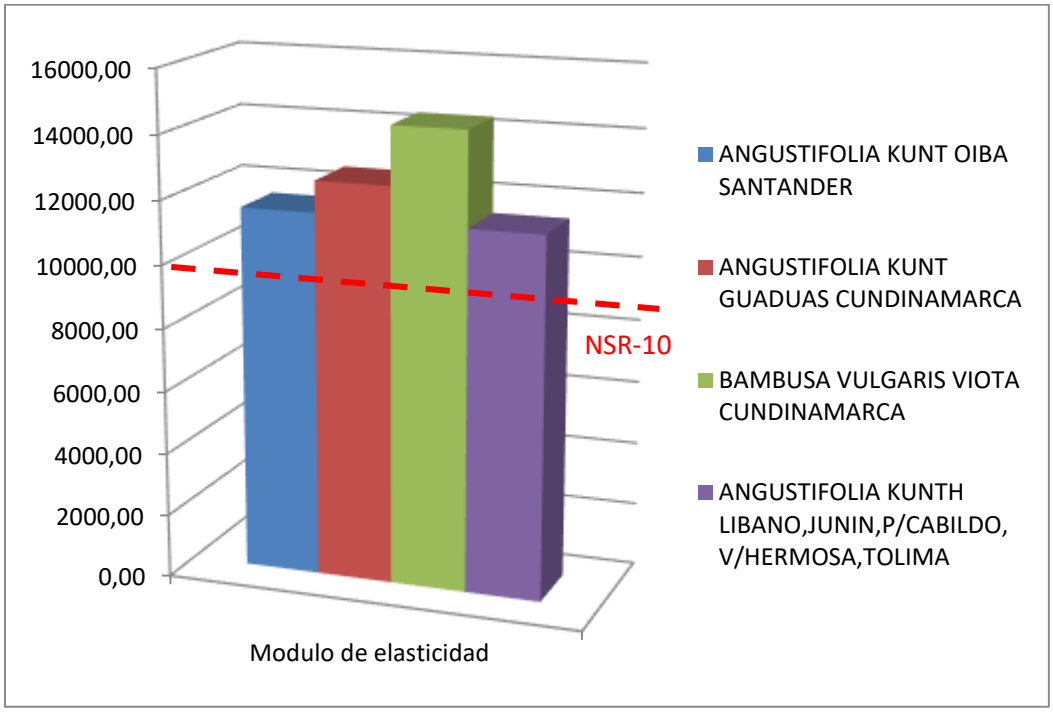
Tabla 8-7, Análisis estadístico para módulo de elasticidad a flexión. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN MEDIA
NÚMERO DE DATOS (N)	10
PROMEDIO (MPa)	14395,86
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	3400,81
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	24%
PERCENTIL 5 (MPa)	10115,15
VALOR MÍNIMO (Mpa)	8751,02

En comparación con los resultados obtenidos en otras investigaciones para regiones como (Oiba Santander, guaduas Cundinamarca y Tolima) con la especie guadua angustifolia kunth registrados en la Figura 8-7, se observa que la especie bambusa vulgaris procedente

del municipio de Viota tiene el mayor valor registrado con un módulo de elasticidad promedio de 14395 Mpa, además en comparación con el valor admisible permitido por la NSR-10 que es de 9500 Mpa; el valor obtenido en esta investigación sobrepasa considerablemente el valor propuesto por dicha norma.

Figura 8-7, Comparación de módulo de elasticidad *Bambusa vulgaris* y *Angustifolia kunth. Otras regiones* (Autor).



9. Ensayo corte paralelo a las fibras

Para determinar la resistencia última del Bambú (*Bambusa vulgaris*) procedente del municipio de Viotá-Cundinamarca, ante solicitaciones de corte paralelo a las fibras, se ensayaron 36 probetas de dos segmentos de los culmos, parte inferior (1.5m), parte media (4,5 m), distribuidas de la forma indicada en la tabla Tabla 9-1

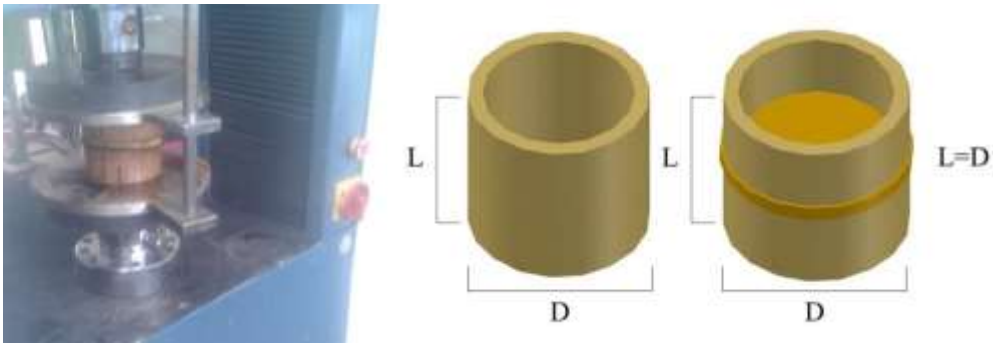
Tabla 9-1: distribución de las probetas ensayadas a corte paralelo a las fibras. (Autor).

	CON NUDO	SIN NUDO
INFERIOR	9	9
MEDIA	9	9
SUBTOTAL	18	18
TOTAL	36	

Para la realización de este ensayo se utilizó un montaje según lo descrito en la NTC 5525, en el cual se aplica una carga constante a una velocidad de 0.01 mm/s en el extremo superior de los elementos metálicos que tienen dos cuartas partes de sus superficies vacías y las otras dos cuartas partes llenas, teniendo en cuenta que el elemento superior e inferior tengan las partes llenas y vacías opuestas entre sí, para producir cuatro áreas de corte, tal como se muestra en la Figura 9-1.

Para este ensayo el 50% de las probetas debe tener nudo y el 50% restante no debe tener nudo. La longitud de la probeta debe ser igual a su diámetro externo y las superficies de los extremos deben ser planas y estar en ángulo recto con la longitud de esta. La Figura 9-2 muestra la falla típica de las probetas, en donde se generan fisuras verticales, ya que hay un desplazamiento en las cuatro áreas de corte.

Figura 9-1: a) montaje de ensayo a corte paralelo a las fibras b) tipo de probetas usadas. (Autor).



a) b)

Figura 9-2: Falla típica a corte paralelo a las fibras, con nudo y sin nudo. (Autor).

9.1 Esfuerzo último a corte paralelo a las fibras

El esfuerzo último a corte paralelo a las fibras (σ_{uv}) se determinó usando la Ecuación 9-1 tomada de la NTC 5525.

$$\sigma_{uv} = \frac{F_{ult}}{\sum(t*L)}$$ Ecuación 9-1: esfuerzo ultimo a corte paralelo.

En donde:

F_{ult} = Carga máxima aplicada.

t = Espesor de pared en cada una de las cuatro áreas de corte.

L = Altura de la probeta en cada una de las cuatro áreas de corte.

La Tabla 9-2 presenta los resultados obtenidos de esfuerzo último de corte paralelo a las fibras (σ_{uv}) y contenido de humedad (CH%) de las 36 probetas ensayadas en las dos porciones del culmo. Los formatos que contienen los espesores, diámetros, longitud, carga última y demás información consignada durante el ensayo de cada probeta se encuentran en el anexo.

Tabla 9-2: Lista de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio. (Autor).

PORCIÓN INFERIOR			PORCIÓN MEDIA		
PROBETA	σuv (Mpa)	CH (%)	PROBETA	σuv (Mpa)	CH (%)
VV01I	3,58	122,99	**VVN01M**	5,54	148,45
VV02I	9,21	224,16	**VVN02M**	4,46	139,28
VV03I	2,39	221,88	**VVN03M**	5,42	66,34
VV04I	3,64	116,31	**VVN04M**	6,23	19,80
VV05I	3,17	114,54	**VVN05M**	3,14	316,39
VV06I	1,44	138,75	**VVN06M**	8,83	246,29
VV07I	3,32	120,39	**VVN07M**	5,73	16,01
VV08I	5,34	174,71	**VVN08M**	2,58	253,30
VVN09I	4,95	124,82	**VV09M**	6,43	55,82
VVN10I	4,89	88,19	**VV10M**	4,29	147,17
VVN11I	6,99	325,00	**VV11M**	3,64	114,02
VVN12I	6,79	14,66	**VN12M**	5,74	199,75
VVN13I	4,22	125,06	**VV13M**	3,18	82,24
VVN14I	2,69	85,99	**VV14M**	3,95	79,77
VVN15I	3,89	146,43	**VV15M**	4,02	134,70
VVN16I	3,61	132,92	**VV16M**	1,87	100,81
VVN17I	3,43	123,53	**VV17M**	2,03	98,54
VVN178I	2,53	112.54	**VVN18M**	1,65	97,32

Una vez obtenidos los datos de esfuerzo ultimo para las probetas a corte, se realizó el análisis estadístico de esfuerzo para las dos porciones del culmo. Tabla 9-3 presenta el análisis de esfuerzo último para las probetas ensayadas. El valor característico a corte

paralelo a las fibras (R_{kv}) mostrado en las tablas es calculado usando la Ecuación 5-1 tomada de la ISO 22156:2004 y la NSR-10 G.12.7-1.

Tabla 9-3: Análisis estadístico para esfuerzo último a corte paralelo a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
NÚMERO DE DATOS (N)	18	18	36
PROMEDIO (MPa)	4,38	4,69	4,54
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	1,96	1,74	1,83
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	45%	37%	40%
PERCENTIL 5 (MPa)	2,06	2,40	2,16
VALOR CARACTERÍSTICO (Mpa)	1,44	1,80	1,74

Los resultados obtenidos en el presente ensayo muestran que no existe una variación de resistencia significativa en las diferentes porciones del culmo. Esto puede ser gracias a que posiblemente no exista un cambio significativo de volumen en las fibras a lo largo del culmo; caso contrario que pasa en la especie guadua *Angustifolia kunth* (Garzon, 2016).

La Figura 9-3 muestra una comparación con resultados obtenidos en investigaciones previas para otras regiones (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016). Se puede observar que la *(Bambusa vulgaris)* procedente del municipio de Viotá presenta el tercer valor más alto de las regiones estudiadas después de la guadua *Angustifolia Kunth* del municipio de Guaduas, este resultado puede ser consecuencia del contenido de humedad registrado, en la cual a pesar de que las probetas se mantuvieron en agua por un periodo superior a dos semanas para todas las investigaciones, en el caso de Guaduas se registró un contenido de humedad del 74,84% mientras que en la presente investigación el contenido de humedad fue del 137,40% como se muestra en la Tabla 9-4.

Figura 9-3: Comparación esfuerzos últimos a corte paralelo para Cundinamarca, Tolima, Santander. (Autor).

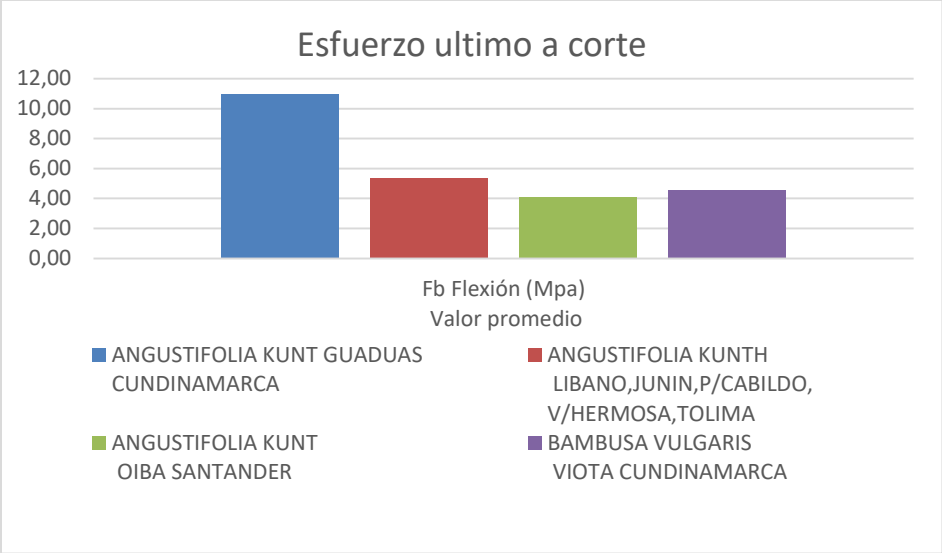


Tabla 9-4: contenido de Humedad de probetas a corte paralelo a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	TOTAL
PROMEDIO (%)	137,40
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	76,88
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	56%

9.2 Esfuerzo admisible a corte paralelo a las fibras

El valor del esfuerzo admisible a corte paralelo a las fibras (σadmi), mostrado en Tabla 9-5 se calculó a partir de la Ecuación 9-2 tomada de la ISO 22156:2004 y la Ecuación 9-3 tomada de la NSR-10. El esfuerzo admisible obtenido a partir de Ecuación 9-2 y la Ecuación 9-3 obtuvo resultados distintos puesto que se trabajan con valores de análisis diferentes. Para el caso del resultado obtenido por medio de la ecuación tomada de la ISO 22156 se toman en cuenta los siguientes valores:

$$\sigma_{admi} = R_{ki} * G * \frac{D}{S}$$

Ecuación 9-2: Ecuación esfuerzo admisible ISO 22156.

En donde:

σadmi = Esfuerzo admisible.

Rki = Valor característico

G = Coeficiente de modificación laboratorio cuyo valor predeterminado es 0.5.

D = Coeficiente de modificación por duración de la carga

- 1.0 para carga permanente (M)
- 1.25 para carga permanente más carga temporal (M+V)
- 1.5 para carga permanente más carga temporal más carga de viento (M+V+W)

S = Factor de seguridad cuyo valor predeterminado es 2.25.

Tabla 9-5: Esfuerzo admisible a corte paralelo a las fibras ISO 22156. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
M (Mpa)	0,32	0,40	0,39
M+V (Mpa)	0,40	0,50	0,48
M+V+W (Mpa)	0,49	0,60	0,58

Para el caso del esfuerzo admisible obtenido de la Ecuación 9-3 tomada de la NSR-10 se trabajó bajo los siguientes valores.

$$F_i = \frac{FC}{F_S * FDC} * F_{ki}$$ Ecuación 9-3: ecuación esfuerzo admisible NSR-10.

En donde:

F_i = Esfuerzo admisible

F_{ki} = Valor característico del esfuerzo

FC = Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura

- 0.6 para corte

F_s = Factor de seguridad

- 1.8 para corte

FDC = factor de duración de carga

- 1.1 para corte

En la Tabla 9-6 se muestra el esfuerzo admisible obtenido bajo la Ecuación 9-3. Al igual que los resultados obtenidos en la prueba de corte paralelo, el esfuerzo admisible para corte según la NSR-10 obtuvo una menor resistencia que los resultados obtenidos por la norma ISO 22156, esto se puede dar gracias a que para el caso de la NSR-10, si las probetas tienen un (CH%) superior al 12%, se toma en cuenta un factor de reducción por contenido de humedad para el ensayo de corte.

Tabla 9-6: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
(Mpa)	0,42	0,55	0,53

En comparación con resultados obtenidos en otras investigaciones para la especie guadua *Angustifolia kunth* en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Santander (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) registrados en la Figura 9-4, se muestra que para la *(Bambusa vulgaris)* se registra el menor valor de esfuerzo admisible comparado con las otras regiones, estos resultados pueden ser consecuencia de los contenidos de humedad registrados en donde a mayor contenido de humedad la resistencia se disminuye como se muestra en la Figura 9-5.

Figura 9-4: Comparación esfuerzo admisible a corte paralelo para Cundinamarca, Tolima, Santander. (Autor).

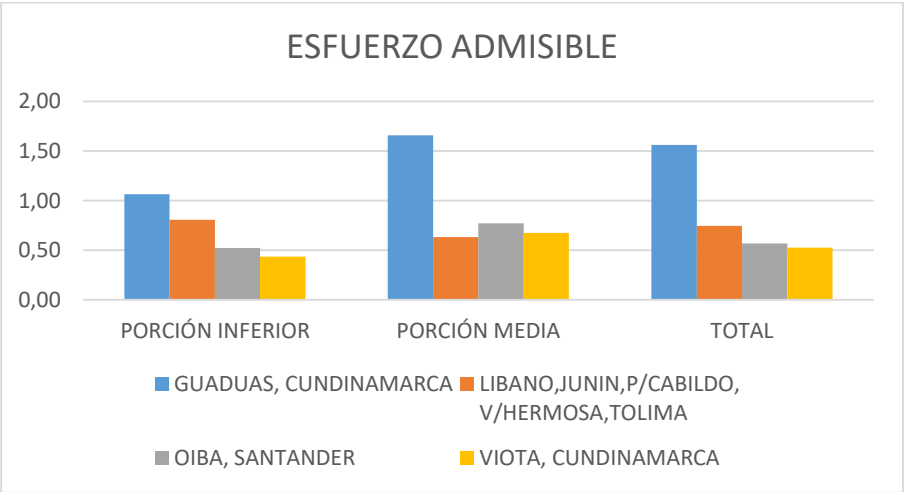
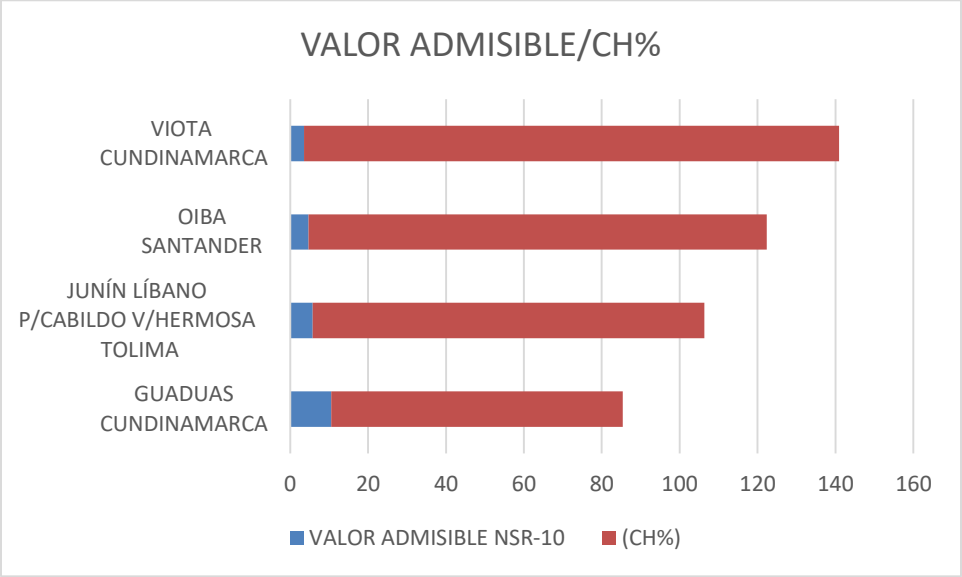


Figura 9-5: Comparación entre contenido de humedad y esfuerzo admisible a corte paralelo a la fibra. (Autor).



10. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras

Al igual que la estructura anatómica de la Guadua *Angustifolia Kunth*, las fibras del Bambú (*Bambusa vulgaris*) están alineadas en el sentido longitudinal por lo que su resistencia en el eje perpendicular a las fibras se reduce considerablemente. Por esta razón, La determinación de esta propiedad mecánica es importante para el dimensionamiento de elementos en donde existan cargas concentradas; teniendo en cuenta que este ensayo no está considerado en la legislación nacional, se incluye a la metodología de esta investigación el procedimiento utilizado en trabajos anteriores (Validación de la Guadua Angustifolia como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles, 2010).

Para determinar la resistencia ultima del Bambú (*Bambusa vulgaris*) procedente del municipio de Viotá-Cundinamarca, ante solicitaciones de compresión perpendicular a las fibras, se ensayaron 36 probetas de los dos segmentos de los culmos, parte inferior (1.5m), parte media (4,5 m), distribuidas de la forma indicada en la Tabla 10-1.

Tabla 10-1: Distribución de las probetas ensayadas a compresión perpendicular a las fibras. (Autor).

	# PROBETAS
INFERIOR	18
MEDIA	18
SUPERIOR	0
TOTAL	36

Para realizar este tipo de ensayo se utilizaron probetas con una longitud de 17cm sin nudo, una vez ubicados en el centro del plato de soporte de la maquina universal de ensayos se procede a aplicarle una carga constante con una velocidad de 0.01mm/s tal y como se muestra en la Figura 10-1.

Figura 10-1: a) tipo de probetas usadas b) montaje de ensayo a compresión perpendicular a las fibras. (Autor).

a)

b)

Figura 10-2 muestra las fallas típicas de las probetas generadas en el sentido longitudinal por lo general en la parte superior e inferior del interior de la probeta.

Figura 10-2: Fallas típicas a compresión perpendicular a las fibras, interior y exterior. (Autor).

10.1 Esfuerzo ultimo a compresión perpendicular a las fibras

El esfuerzo último a compresión perpendicular a las fibras (σ_{ucp}) se determinó usando la Ecuación 10-1 tomada de MADR-UNAL, 2010.

$$\sigma_{ucp} = \frac{3*D_e*F}{2*L*t^2}$$ Ecuación 10-1: Esfuerzo ultimo a compresión perpendicular

En donde:

D_e = Diámetro externo promedio de la probeta.

F = Carga máxima aplicada.

L = Longitud promedio.

t = Espesor de pared promedio.

La Tabla 10-2 presenta los resultados obtenidos de esfuerzo último a compresión perpendicular a las fibras (σ_{ucp}) y el contenido de humedad de las 36 probetas ensayadas en la parte inferior y media del Bambú. Los formatos con la información contenida en los ensayos de resistencia tales como espesores, diámetros, longitud, carga última para cada una de las probetas ensayadas se encuentran en el anexo.

Tabla 10-2: Resultados experimentales para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras en las tres porciones del culmo. (Autor).

PORCIÓN INFERIOR			PORCIÓN MEDIA		
PROBETA	σucp (MPa)	CH (%)	PROBETA	σucp (MPa)	CH (%)
VCP19I	2,71	341,53	VCP01M	2,94	176,34
VCP20I	4,33	59,82	VCP02M	2,60	110,93
VCP21I	4,80	143,46	VCP03M	4,31	-28,83
VCP22I	3,90	120,76	VCP04M	3,34	117,08
VCP23I	4,52	164,47	VCP05M	3,62	116,18
VCP24I	3,52	71,95	VCP06M	4,50	72,52
VCP25I	4,12	103,52	VCP07M	3,37	51,45
VCP26I	4,10	105,12	VCP08M	4,72	92,25
VCP27I	5,30	133,63	VCP09M	5,01	51,01
VCP28I	3,95	138,99	VCP10M	5,13	105,93
VCP29I	3,36	122,65	VCP11M	4,44	199,43
VCP30I	3,83	46,35	VCP12M	3,28	47,18
VCP31I	5,78	92,25	VCP13M	3,47	217,68
VCP32I	5,91	98,10	VCP014M	3,32	1,96
VCP33I	4,89	38,20	VCP|15M	5,91	30,58
VCP34I	3,87	181,62	VCP16M	5,34	52,34
VCP35I	3,51	144,60	VCP17M	6,09	172,77
VCP36I	3,19	123,61	VCP18M	2,23	316,80

Se realizó el análisis estadístico con los datos obtenidos de esfuerzo último para las porciones inferior y media del culmo, la Tabla 10-3 presenta el análisis estadístico de esfuerzo ultimo para las probetas ensayadas, el valor característico para esta prueba fue calculado usando la Ecuación 5-1, esta ecuación es tomada de la NSR-10 G.12.7-1 la cual es la misma que se usa en la norma ISO 22156:2004. Para este caso el análisis estadístico no excluyo datos atípicos ya que según el criterio de chauvenet, ningún dato analizado sobrepaso dicho coeficiente.

Tabla 10-3: Análisis estadístico para esfuerzo último a compresión perpendicular a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
NÚMERO DE DATOS (N)	18	18	36
PROMEDIO (MPa)	4,20	4,09	4,14
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	0,87	1,12	0,99
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	21%	27%	24%
PERCENTIL 5 (MPa)	3,11	2,54	2,68
VALOR CARACTERÍSTICO (MPa)	2,70	2,10	2,39

Los resultados obtenidos muestran que existe una variación de resistencia a compresión perpendicular entre las diferentes porciones del culmo, la resistencia de la porción inferior del culmo presento un aumento leve de resistencia en comparación con la porción media. Esto puede ser consecuencia de que el tamaño de la sección en la porción inferior del culmo es mayor que su porción media.

En comparación con los resultados obtenidos en investigaciones previas para otras regiones (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) mostrados en la Figura 10-3, se observa que la *(bambusa vulgaris)* procedente del municipio de Viota tiene el mejor comportamiento registrando un esfuerzo de 2.39 MPa, esta diferencia no se puede considerar consecuencia del contenido de humedad de las probetas, ya que según los datos obtenidos en la Tabla 10-4, el contenido de humedad de las probetas para Viota fue el más alto comparado con las otras regiones Figura 10-4.

Figura 10-3: Comparación de esfuerzo ultimo a compresión perpendicular a la fibra en diferentes regiones. (Autor).

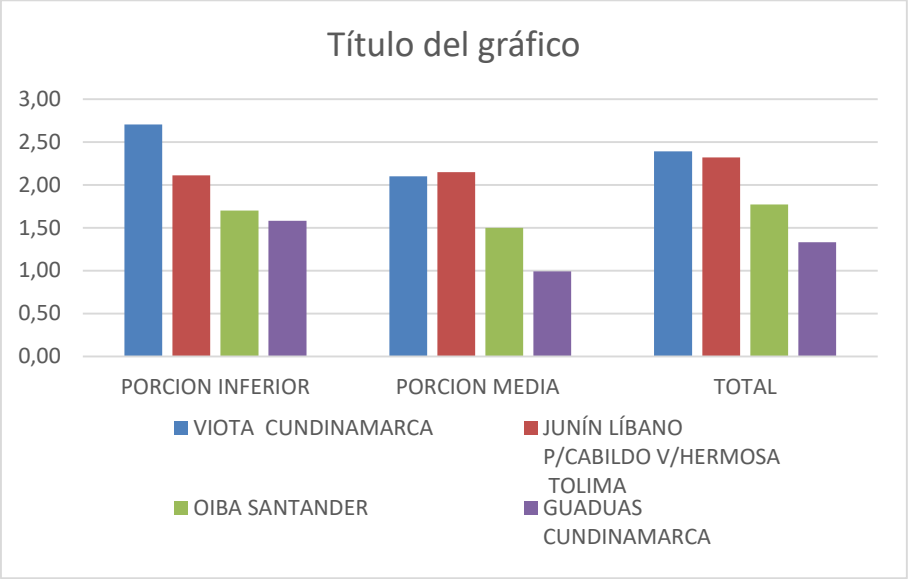
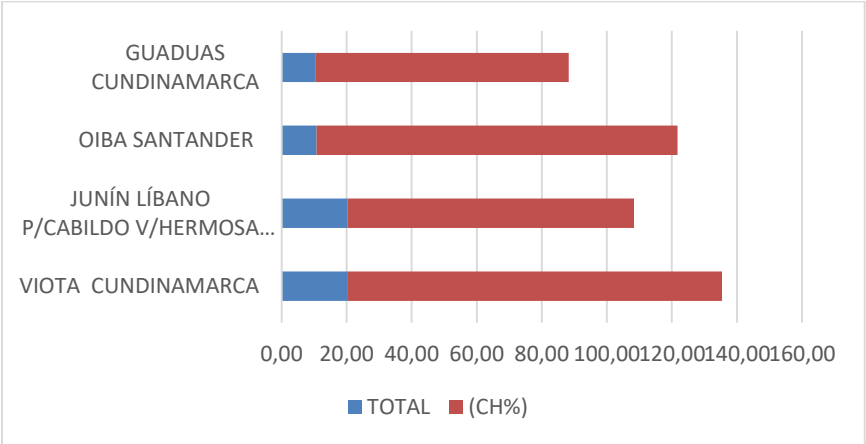


Tabla 10-4: Contenido de humedad de probetas a compresión perpendicular a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	TOTAL
PROMEDIO (%)	114,84
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	76,10
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	66%

Figura 10-4: Comparación esfuerzo vs contenido de humedad ensayo compresión perpendicular a la fibra. (Autor).



10.2 Esfuerzo admisible compresión perpendicular a las fibras

El valor del esfuerzo admisible a compresión perpendicular a las fibras (σ_{admi}), mostrado en Tabla 10-5 se calculó a partir de la Ecuación 10-2 tomada de la ISO 22156:2004 y la Ecuación 10-3 tomada de la NSR-10 mostradas completas en el capítulo 5. El esfuerzo admisible obtenido a partir de la Ecuación 10-2 y la Ecuación 10-3 obtuvieron resultados distintos puesto que se trabajan con valores de análisis diferentes. Para el caso del resultado obtenido por medio de la ecuación tomada de la ISO 22156 se toman en cuenta los siguientes valores:

$$\sigma_{admi} = R_{ki} * G * \frac{D}{S}$$ Ecuación 10-2: Ecuación esfuerzo admisible ISO 22156.

En donde:

σadmi = Esfuerzo admisible.
Rki = Valor característico
G = Coeficiente de modificación laboratorio cuyo valor predeterminado es 0.5.
D = Coeficiente de modificación por duración de la carga

- 1.0 para carga permanente (M)
- 1.25 para carga permanente más carga temporal (M+V)
- 1.5 para carga permanente más carga temporal más carga de viento (M+V+W)

S = Factor de seguridad cuyo valor predeterminado es 2.25.

Tabla 10-5: Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a las fibras ISO 22156. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
M (Mpa)	0,31	0,50	0,39
M+V (Mpa)	0,39	0,63	0,48
M+V+W (Mpa)	0,46	0,75	0,58

Para el caso del esfuerzo admisible obtenido de la Ecuación 10-3 tomada de la NSR-10 se trabajó bajo los siguientes valores.

$F_i = \frac{FC}{F_S * FDC} * F_{ki}$ Ecuación 10-3: ecuación esfuerzo admisible NSR-10.

En donde:

F_i = Esfuerzo admisible

F_{ki} = Valor característico del esfuerzo

FC = Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura

- 1.0 para compresión perpendicular

F_s = Factor de seguridad

- 1.8 para compresión perpendicular

FDC = factor de duración de carga

- 1.2 para compresión perpendicular

En la Tabla 9-6 se muestra el esfuerzo admisible obtenido bajo la Ecuación 10-3. A diferencia de los resultados obtenidos en la prueba de flexion y corte, el esfuerzo admisible para compresión perpendicular según la NSR-10 obtuvo una mayor resistencia que los resultados obtenidos por la norma ISO 22156, esto se puede dar gracias a que para el caso de la NSR-10, los factores de reducción son diferentes para cada tipo de ensayo en este caso de compresión perpendicular.

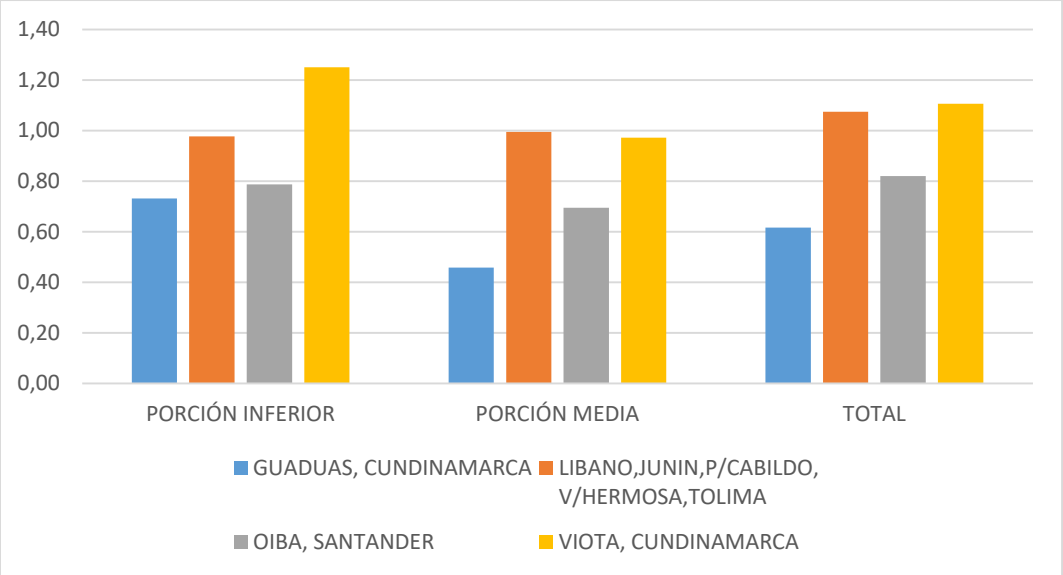
Tabla 10-6: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
(Mpa)	1,25	0,97	1,11

En comparación con resultados obtenidos en otras investigaciones para la especie guadua angustifolia kunth en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Santander (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) mostrados en la Figura 10-5, la *(Bambusa vulgaris)* registra el mayor valor de esfuerzo admisible comparado con las otras regiones. Al igual que en los resultados obtenidos en el esfuerzo último, esta diferencia no se puede considerar consecuencia del contenido de humedad de las probetas, ya que según los

datos obtenidos en la Tabla 10-4, el contenido de humedad de las probetas para Viotá fue el más alto comparado con las otras regiones Figura 10-4.

Figura 10-5: Comparación esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra para Cundinamarca, Tolima, Santander. (Autor).



11. Ensayo tensión paralela a las fibras

Para determinar la resistencia ultima del Bambú (*Bambusa vulgaris*) procedente del municipio de Viotá-Cundinamarca, ante solicitaciones de tensión paralela a las fibras, se ensayaron 36 probetas de los dos segmentos de los culmos, parte inferior (1.5m), parte media (4,5 m), distribuidas de la forma indicada en la Tabla 11-1

Tabla 11-1: Distribución de las probetas ensayadas a tensión paralela a las fibras. (Autor)

	# PROBETAS
INFERIOR	18
MEDIA	18
SUPERIOR	0
TOTAL	36

Para la realización de este ensayo se utilizó un montaje según lo descrito en la NTC 5525, en el cual se ejerce una carga de tensión constante a una velocidad de 0.01 mm/s por medio de unos sujetadores o mordazas, que garanticen la aplicación de dicha carga a lo largo del eje longitudinal de la probeta y eviten la torsión longitudinal de esta, teniendo en cuenta que la probeta esté sostenida perpendicular a las fibras y en dirección radial, tal como se muestra en la Figura 11-1.

Para este ensayo se utilizaron probetas con una longitud total de 27cm, estas probetas estarán cortadas con un entrenudo en la mitad de la probeta. Cada porción de apoyo tendrá 5.5 cm de largo con un ancho igual al espesor de la pared de la probeta. La porción del ensayo tendrá una longitud de 7 cm de Largo y la porción de transición tendrá 2.5cm de largo Figura 11-1.

Figura 11-1: a) montaje de ensayo a tensión paralela a las fibras b) tipo de probetas usadas

Para determinar el módulo de elasticidad longitudinal (*E*) a tensión paralela a las fibras, fueron instrumentadas 36 probetas con extensómetro en donde se midieron alargamientos en la dirección de las fibras, El extensómetro utilizado para medir el desplazamiento es de marca Epsilon y para la captura de los datos se utilizó un adquisidor de datos PCD-300 marca Kyowa Figura 11-2.

Figura 11-2: Ubicación del extensómetro en la probeta. (Autor).

La Figura 11-3 muestra las fallas típicas para el ensayo de tensión paralela a las fibras, donde se presenta una rotura de las fibras en la zona del nudo.

Figura 11-3: Fallas típicas a tensión paralela a las fibras. (Autor).

11.1.1 Esfuerzo ultimo a tensión paralelo a las fibras

El esfuerzo último a tensión paralela a las fibras (σ_{ut}) se determinó usando la Ecuación 11-1 tomada de la NTC 5525.

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

Ecuación 11-1: Esfuerzo último a tensión paralelo a las fibras.

En donde:

F_{ult} = Carga de falla de la probeta.
A = Área de la sección transversal de la porción de ensayo.

La Tabla 11-2 presenta los resultados obtenidos de esfuerzo ultimo a tensión paralela a las fibras (σ_{ut}), módulo de elasticidad (E_{prom}), y contenido de humedad (CH%) de las 36 probetas ensayadas en la porción inferior y superior. Para este caso los resultados de esfuerzo ultimo no excluyeron datos atípicos ya que según el criterio de chauvenet, ningún dato analizado sobrepaso dicho coeficiente en el análisis estadístico.

Tabla 11-2: Resultados experimentales para el ensayo de tensión paralela a las fibras. (Autor).

PORCIÓN INFERIOR				PORCIÓN MEDIA			
PROBETA	**σ_{ut} (MPa)**	**E_{prom} (MPa)**	**CH (%)**	**PROBETA**	**σ_{ut} (MPa)**	**E_{prom} (MPa)**	**CH (%)**
VT1I	100,55	81343,58	109,93	**VT19M**	40,35	6375,38	115,60
VT2I	36,20	10048,94	101,93	**VT20M**	94,41	14225,96	104,99
VT3I	61,13	8582,65	105,16	**VT21M**	51,15	10963,77	127,08
VT4I	80,94	24032,13	112,99	**VT22M**	95,10	11059,49	94,92
VT5I	90,94	11864,85	124,04	**VT23M**	65,03	8165,54	111,92
VT6I	69,18	12826,96	76,96	**VT24M**	28,87	10112,92	113,04
VT7I	114,34	18608,03	111,62	**VT25M**	65,96	15304,12	109,14
VT8I	53,54	11767,63	116,24	**VT26M**	76,88	17052,34	104,35
VT9I	65,31	27640,57	145,57	**VT27M**	82,20	12500,91	98,80
VT10I	53,85	8504,42	104,55	**VT28M**	87,30	16947,87	95,47
VT11I	43,08	34194,80	102,20	**VT29M**	86,82	11729,58	70,12
VT12I	106,98	44456,97	100,41	**VT30M**	46,95	12610,81	109,45
VT13I	46,59	46644,78	96,77	**VT31M**	46,72	8621,10	114,03
VT14I	96,23	38160,13	132,11	**VT32M**	80,83	13722,24	111,97
VT15I	38,78	5750,25	120,26	**VT33M**	77,26	13197,73	128,64
VT16I	74,78	23064,00	114,63	**VT34M**	87,19	9382,31	96,90
VT17I	45,00	3851,29	99,42	**VT35M**	43,28	4753,52	89,12
VT18I	69,47	16412,17	100,43	**VT36M**	46,85	16096,69	119,61

Se realizó el análisis estadístico de los datos de esfuerzo ultimo y módulo de elasticidad longitudinal obtenido en los ensayos de resistencia, para las porciones estudiadas inferior y media. La Tabla 11-3 presenta el análisis estadístico de esfuerzo ultimo para las probetas ensayadas a tensión, el valor característico a tensión paralela a las fibras (R_{kt}) mostrado en la tabla fue calculado con la Ecuación 5-1 tomada de la NSR-10 G.12.7-1 la cual es la misma de la norma ISO 22156:2004. Para este caso los resultados del análisis estadístico no excluyeron datos atípicos ya que según el criterio de chauvenet, ningún dato analizado sobrepaso dicho coeficiente.

Tabla 11-3: Análisis estadístico para esfuerzo último a tensión paralela a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
NÚMERO DE DATOS (N)	18	18	36
PROMEDIO (MPa)	69,27	66,84	68,06
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	24,46	21,12	22,56
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	35%	32%	33%
PERCENTIL 5 (MPa)	38,39	38,63	38,13
VALOR CARACTERÍSTICO (MPa)	29,76	30,86	32,44

En comparación con los resultados obtenidos en investigaciones previas para otras regiones (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) mostrados en la Figura 11-4, se puede observar que la (*bambusa vulgaris)* procedente del municipio de Viota presento el mejor comportamiento en la porción media y en el total del análisis estadístico, se puede observar que el comportamiento en las diferentes partes del culmo para Viota muestran un resistencia similar a diferencia de las otras regiones en donde existen variaciones considerables, por ejemplo Tolima presenta una resistencia de 43 MPa en la porción inferior y una significativa disminución en la porción media con 30 MPa. Estas diferencias no se puede considerar consecuencia del contenido de humedad de las probetas, ya que según los datos obtenidos en la Tabla 11-4, el contenido de humedad de las probetas para Viota fue el más alto comparado con las otras regiones Figura 11-5.

Figura 11-4: Comparación esfuerzo último a tensión paralela para Tolima, Santander, Cundinamarca

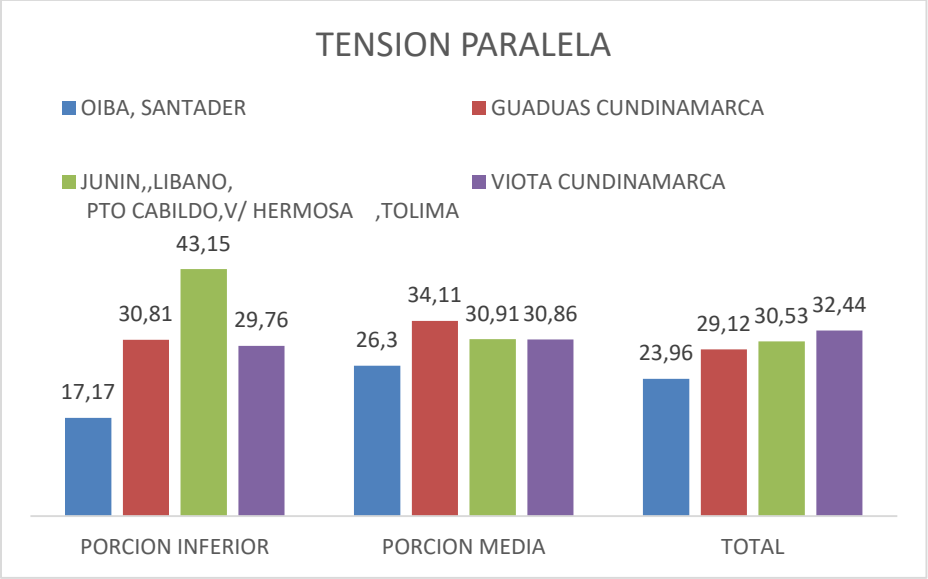
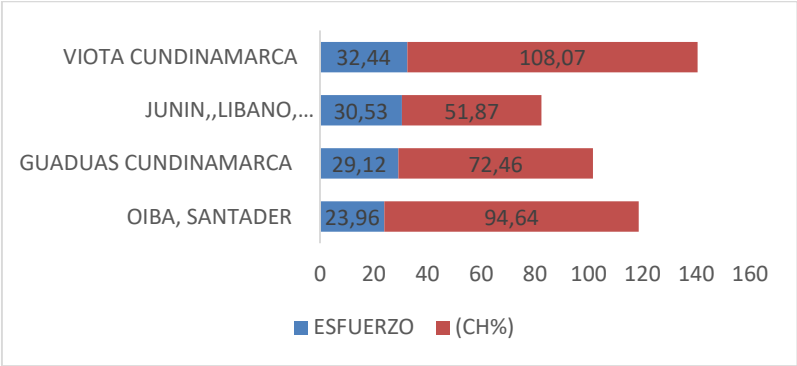


Tabla 11-4: Contenido de humedad de probetas a tensión paralela a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	TOTAL
PROMEDIO (%)	108,07
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	14,49
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	13%

Figura 11-5: Comparación entre contenido de humedad y esfuerzo ultimo tensión paralela a la fibra. (Autor).



11.2 Esfuerzo admisible a tensión paralelo a las fibras

El valor del esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras (σ_{admi}), mostrado en la Tabla 11-5 y Tabla 11-6 se calculó a partir de la Ecuación 11-2 tomada de la ISO 22156:2004 y la Ecuación 11-3 tomada de la NSR-10 mostradas completas en el capítulo 5.

El esfuerzo admisible obtenido a partir de la Ecuación 11-2 y la Ecuación 11-3 obtuvieron resultados distintos puesto que se trabajan con valores de análisis diferentes. Para el caso del resultado obtenido por medio de la ecuación tomada de la ISO 22156 se toman en cuenta los siguientes valores:

$$\sigma_{admi} = R_{ki} * G * \frac{D}{S}$$ Ecuación 11-2: Ecuación esfuerzo admisible ISO 22156.

En donde:

σadmi = Esfuerzo admisible.
Rki = Valor característico
G = Coeficiente de modificación laboratorio cuyo valor predeterminado es 0.5.
D = Coeficiente de modificación por duración de la carga

- 1.0 para carga permanente (M)
- 1.25 para carga permanente más carga temporal (M+V)
- 1.5 para carga permanente más carga temporal más carga de viento (M+V+W)

S = Factor de seguridad cuyo valor predeterminado es 2.25.

Tabla 11-5: Esfuerzo admisible a tensión paralela a las fibras ISO 22156. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
M (MPa)	6,61	6,86	7,21
M+V (MPa)	8,27	8,57	9,01
M+V+W (MPa)	9,92	10,29	10,81

Para el caso del esfuerzo admisible obtenido de la Ecuación 11-3 tomada de la NSR-10 se trabajó bajo los siguientes valores.

$F_i = \frac{FC}{F_S * FDC} * F_{ki}$ Ecuación 11-3: ecuación esfuerzo admisible NSR-10

En donde:

F_i = Esfuerzo admisible

F_{ki} = Valor característico del esfuerzo

FC = Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura

- 0,5 para tensión paralela

F_s = Factor de seguridad

- 2.0 para tensión paralela

FDC = factor de duración de carga

- 1.5 para tensión paralela

En la Tabla 11-6 se muestra el esfuerzo admisible obtenido bajo la Ecuación 11-3. Al igual que los resultados obtenidos en la prueba de flexión y corte, el esfuerzo admisible para tensión paralela a las fibras según la NSR-10 obtuvo una menor resistencia que los resultados obtenidos por la norma ISO 22156, esto se puede ser consecuencia de que la NSR-10, trabaja con factores de reducción diferentes para cada tipo de ensayo. En este caso para el ensayo de tensión paralela. Los factores de reducción son los más altos utilizados por la norma lo cual produce una disminución significativa cercana al 50% del esfuerzo admisible según la NSR-10 en comparación con la ISO 22156.

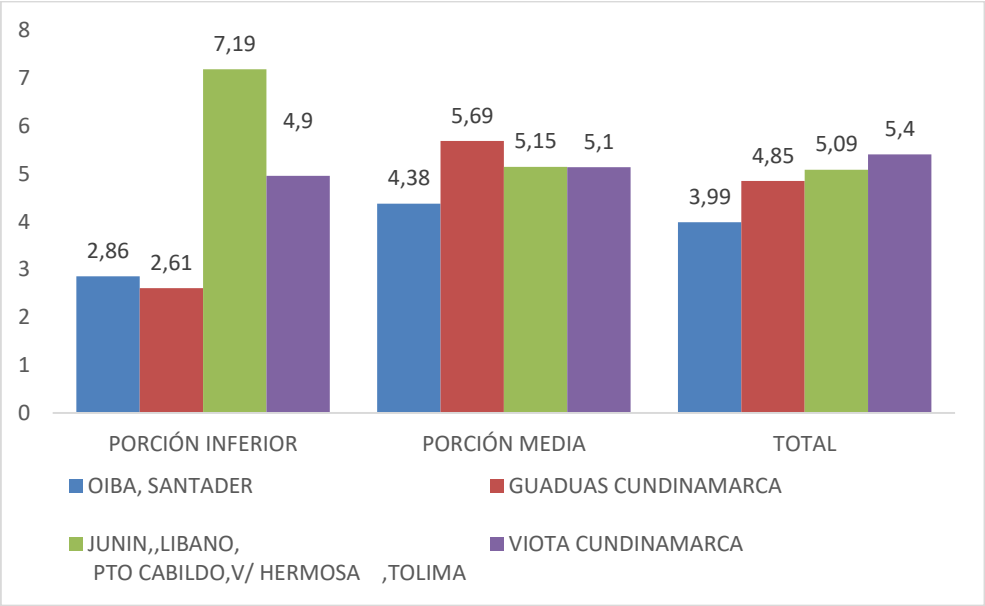
Tabla 11-6: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
(MPa)	4,96	5,14	5,41

En comparación con resultados obtenidos en otras investigaciones para la especie guadua *Angustifolia kunth* en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Santander (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) mostrados en la Figura 11-6, la *(Bambusa vulgaris)* registra el mayor valor de esfuerzo admisible comparado con las otras regiones. Al igual que en los resultados obtenidos en el esfuerzo último, esta diferencia no se puede considerar consecuencia del contenido de humedad de las probetas, ya que según los

datos obtenidos en la Tabla 11-4, el contenido de humedad de las probetas para Viotá fue el más alto comparado con las otras regiones Figura 11-5.

Figura 11-6: Comparación esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra para Cundinamarca, Tolima, Santander. (Autor).

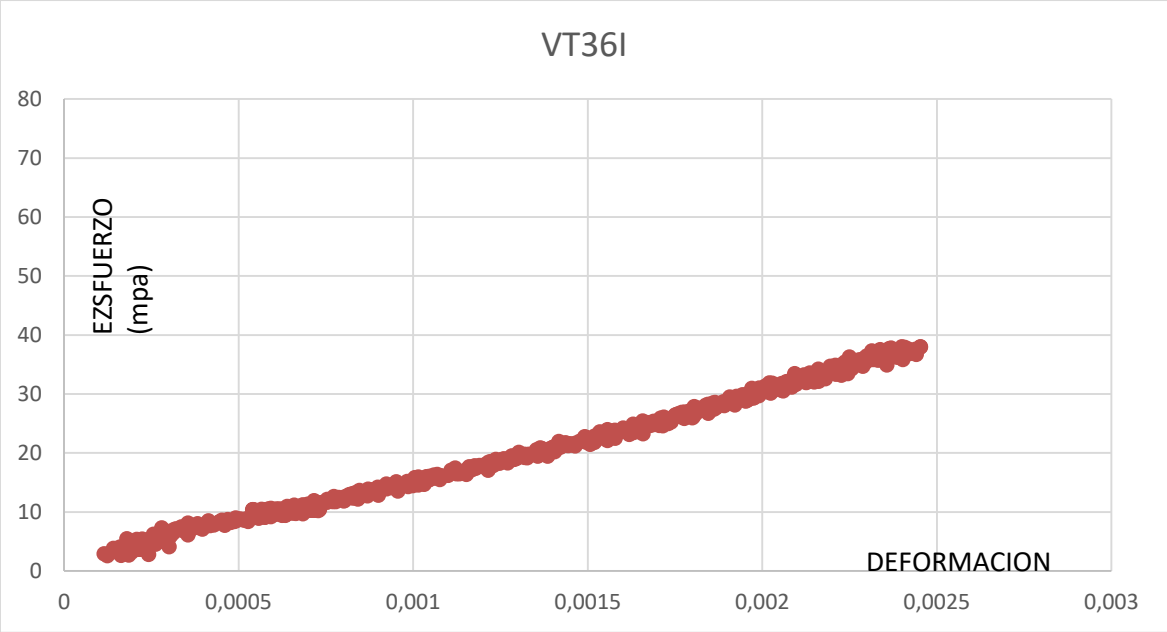


11.3 Módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras

Con los datos de esfuerzo y deformación obtenidos en los ensayos, se realizaron gráficas para la determinación del módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras, este módulo

Es tomado de un tramo de la pendiente de la graficas obtenidas, el rango del tramo tomado comprendió entre el 10% y 30% de F_{ult}, a diferencia de la norma donde dice que el rango debe ser entre el 10% y el 60%, este cambio se debió a que para el rango entre 10% y 60% existen variaciones de la pendiente que generarían valores no confiables, la Figura 11-7 muestra un ejemplo de las gráficas obtenidas con extensómetro.

Figura 11-7: Gráfico esfuerzo vs. Deformación longitudinal para tensión paralela a las fibras. (Autor).



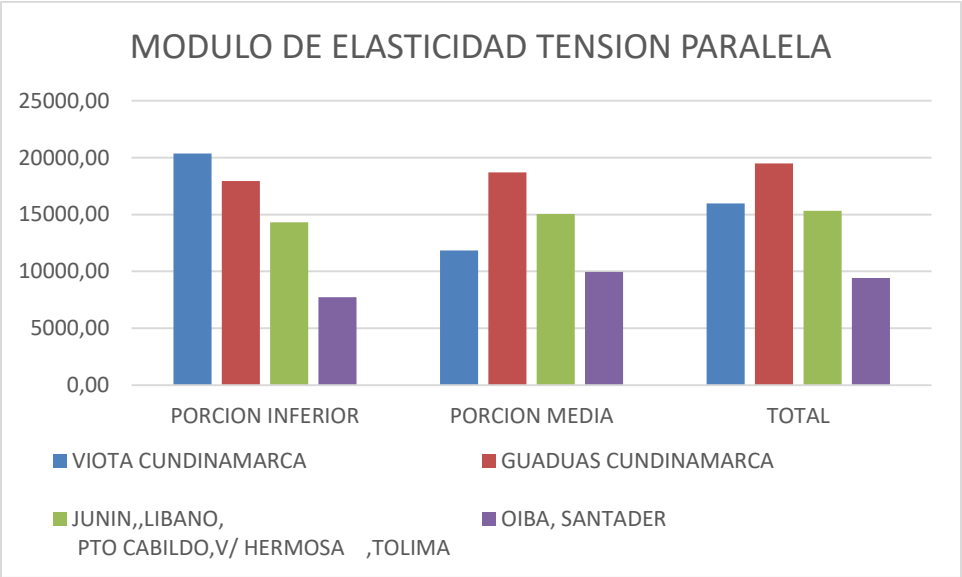
Para determinar el módulo de elasticidad, se instrumentaron la totalidad de las probetas con un extensómetro marca EPSILON. En la Tabla 11-7 se muestra el análisis estadístico para el módulo de elasticidad longitudinal. Para este caso no se descartaron los datos atípicos usando el criterio de chauvenet puesto que ninguno sobrepaso dicho coeficiente.

Tabla 11-7: Análisis estadístico para módulo de elasticidad a tensión paralela a las fibras con extensómetro. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
NÚMERO DE DATOS (N)	18	18	36
PROMEDIO (MPa)	20377,09	11823,46	15978,08
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	13570,55	3513,33	10566,41
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	67%	30%	66%
PERCENTIL 5 (MPa)	5370,46	6132,10	5451,23
VALOR MÍNIMO (MPa)	8504,42	4753,52	4753,52

En comparación con los resultados obtenidos en investigaciones previas para otras regiones (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) mostrados en la Figura 11-8 se muestra que la bambusa vulgaris procedente del municipio de Viota registro el segundo mayor valor de módulo de elasticidad después de la guadua angustifolia kunt del municipio de Guaduas. Se evidencia la variación del módulo entre las porciones inferior y media, en consecuencia a esto no se puede establecer una tendencia para las diferentes fuentes (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) ya que todas presentan comportamientos distintos

Figura 11-8: Comparación módulo de elasticidad a tensión paralela a lo largo del culmo en diferentes autores. (Autor).



12. Ensayo de compresión paralela a las fibras

Para determinar la resistencia ultima del Bambú (*Bambusa vulgaris*) procedente del municipio de Viotá-Cundinamarca, ante solicitaciones de compresión paralela a las fibras, se ensayaron 32 probetas de los dos segmentos de los culmos, parte inferior (1.5m), parte media (4,5 m), distribuidas de la forma indicada en la Tabla 12-1.

Tabla 12-1: Distribución de las probetas ensayadas a compresión paralela a las fibras. (Autor).

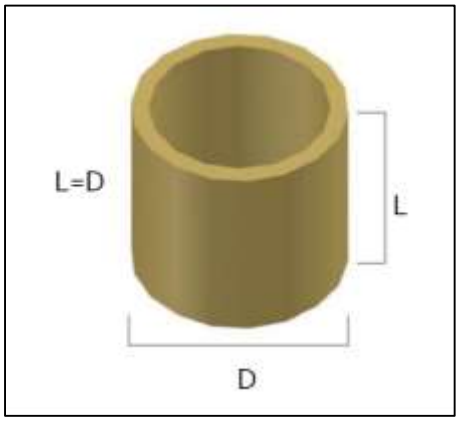
	# PROBETAS
INFERIOR	18
MEDIA	18
SUPERIOR	0
TOTAL	36

Para la realización de este ensayo se realizó el montaje según lo descrito en la norma técnica Colombiana 5525 (NTC 5525), en el cual se aplica una carga constante a una velocidad de 0.01 mm/s, garantizando una distribución uniforme de la carga y reduciendo de este modo la fricción al mínimo, por medio de la capa intermedia de las placas de acero delgadas en ambos extremos de la probeta , tal y como se muestra en la Figura 12-1.

Figura 12-1: a) capa intermedia b) montaje del ensayo a compresión paralela a las fibras. (Autor).

Para este ensayo se utilizaron probetas sin nudos, con una longitud igual al diámetro externo de la probeta, asegurándose que los extremos fueran planos y estuviesen en ángulo recto con respecto a dicha altura

Figura 12-2: Esquema de las probetas usadas. (Autor).



Para determinar el módulo de elasticidad longitudinal (E) a compresión paralela a las fibras, fueron instrumentados con un deformimetro en la mitad de la totalidad de las probetas a ensayar; todo esto con el fin de medir acortamientos en la dirección de las fibras; la distribución de estas probetas se muestra en la Tabla 12-2. Para la captura de los datos de los deformimetros se utilizó un adquisidor de datos PCD- 300 marca kyowa.

Tabla 12-2: Distribución de las probetas instrumentadas para determinación del módulo de elasticidad longitudinal a compresión paralela a las fibras. (Autor).

	# PROBETAS
INFERIOR	8
MEDIA	11
SUPERIOR	0
TOTAL	19

La Figura 12-3 muestra las fallas típicas para el ensayo de compresión paralela a las fibras, donde se presenta aplastamiento en el borde inferior o superior, aplastamientos al interior de la probeta y fisuras verticales.

Figura 12-3: Fallas típicas a compresión paralela a las fibras – exterior e interior. (Autor).

12.1 Esfuerzo ultimo a compresión paralela a las fibras

El esfuerzo último a compresión paralela a las fibras (σ_{uc}) se determinó usando la Ecuación 12-1: tomada de la NTC 5525.

$$\sigma_{uc} = \frac{F_{ult}}{A}$$ Ecuación 12-1: esfuerzo ultimo a compresión paralela a las fibras.

En donde:

F_{ult} = carga de falla de la probeta.
A = área de la sección transversal de la probeta.

Tabla 12-3 muestra los resultados obtenidos en los ensayos de esfuerzo ultimo a compresión paralela a las fibras (σ_{uc}), módulo de elasticidad longitudinal (E_{prom}), y contenido de humedad (CH%) de las 36 probetas ensayadas de las porciones inferior y media. Los formatos que contienen los espesores, diámetros, carga última, deformación y demás información registrada durante el ensayo de cada probeta se encuentran en el anexo. Las casillas en blanco corresponden a las probetas que no les coloco deformimetros debido a que su cantidad fue limitada.

Tabla 12-3: Resultados experimentales para el ensayo de compresión paralela a las fibras. (Autor).

PORCIÓN INFERIOR				PORCIÓN MEDIA			
PROBETA	**σc (Mpa)**	**Eprom (Mpa)**	**CH (%)**	**PROBETA**	**σc (Mpa)**	**Eprom (Mpa)**	**CH (%)**
VC19I	19,04	7264,51	149,70	**VC01M**	30,49		138,13
VC20I	19,53	9170,23	178,24	**VC02M**	30,19		149,06
VC21I	25,16	15303,61	112,88	**VC03M**	29,82		182,35
VC22I	31,65	14504,93	144,77	**VC04M**	27,47		142,97
VC23I	18,89	13747,54	335,56	**VC05M**	21,62		35,30
VC24I	28,08		146,23	**VC06M**	20,19		80,46
VC25I	29,21		88,27	**VC07M**	31,39	14522,45	106,76
VC26I	31,03		142,66	**VC08M**	24,17	10745,39	125,85
VC27I	33,10		170,33	**VC09M**	24,37	10222,20	354,30
VC28I	30,71		149,26	**VC010M**	35,03		84,75
VC29I	17,19		167,96	**VC011M**	27,36	14357,93	172,68
VC30I	15,56		137,18	**VC012M**	29,63	18260,79	129,80
VC32I	25,32		130,12	**VC013M**	31,06	9113,61	133,73
VC32I	26,47	-23614,91	151,43	**VC014M**	26,13	15839,04	191,29
VC33I	21,33		181,48	**VC015M**	26,59	7331,87	154,13
VC34I	27,57		151,24	**VC016M**	25,09	9290,64	176,62
VC35I	33,07	-14055,57	144,31	**VC017M**	26,32	24925,05	166,83
VC36I	38,43	-27269,26	141,52	**VC018M**	29,78	17588,63	129,79

Una vez determinado el esfuerzo último de cada una de las probetas ensayadas, se realizó el análisis estadístico de los datos para esfuerzo último y módulo de elasticidad para las porciones inferior y media de los culmos. La Tabla 12-4 presenta dicho análisis para las probetas ensayadas a compresión paralela, el valor característico (R_{kc}) mostrado en la tabla fue calculado con la Ecuación 5-1 tomada de la ISO 22156:2004 la cual es la misma que se utiliza en la NSR-10 G.12.7-1. No existió necesidad de excluir información obtenida en los ensayos, puesto que no se encontraron datos atípicos con el criterio de chauvenet, ningún resultado sobrepaso el coeficiente de este criterio.

Tabla 12-4: Análisis estadístico para esfuerzo último a compresión paralela a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
NÚMERO DE DATOS (N)	18	18	36
PROMEDIO (MPa)	26,19	27,59	26,89
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	6,42	3,71	5,22
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	25%	13%	19%
PERCENTIL 5 (MPa)	16,95	21,40	18,47
VALOR CARACTERÍSTICO (Mpa)	14,30	19,57	16,85

En comparación con los resultados obtenidos en investigaciones previas para otras regiones del país (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) como se muestra en la figura12.4 se puede observar que la (*bambusa vulgaris)* procedente del municipio de Viota presento el segundo mejor comportamiento en la porción media y en el total del análisis estadístico, se puede observar que el comportamiento en las diferentes partes del culmo para Viota muestran un resistencia similar a diferencia de las otras regiones en donde existen variaciones, por ejemplo Santander presenta una resistencia de 18,46 MPa en la porción inferior y un aumento en la porción media con 23,19 MPa. Estas diferencias no se puede considerar consecuencia del contenido de humedad de las probetas, ya que según los datos obtenidos en la Tabla 12-5, el contenido de humedad de las probetas para Viota fue el más alto comparado con las otras regiones.

Figura 12-4: Análisis estadístico para esfuerzo último a compresión paralela a las fibras, Santander, Tolima, Cundinamarca. (Autor).

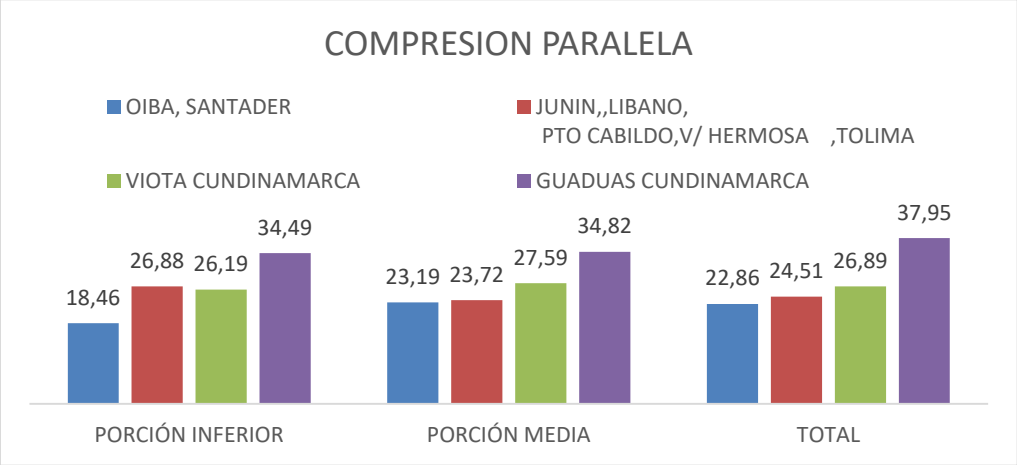
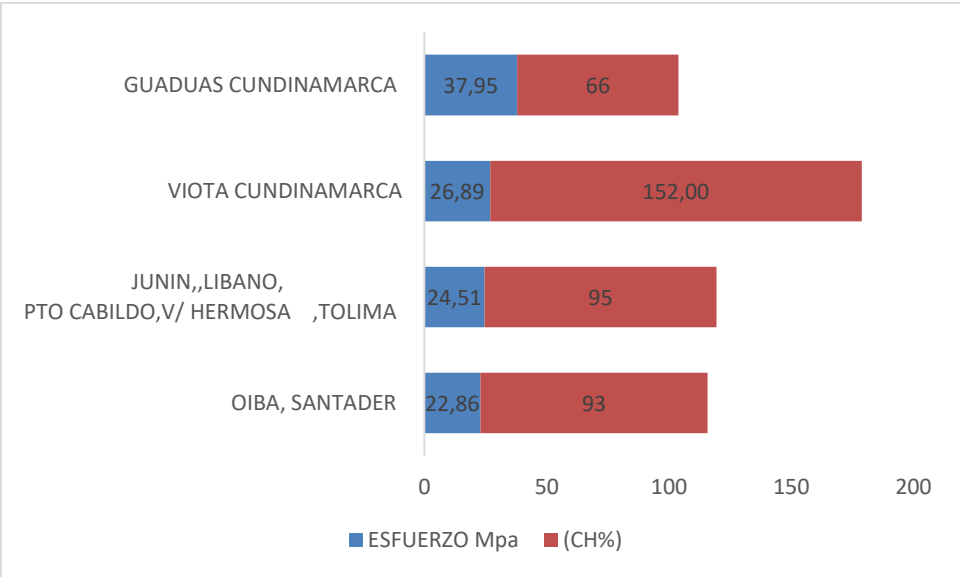


Tabla 12-5: Contenido de humedad de probetas a compresión paralela a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	TOTAL
PROMEDIO (%)	152,17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%)	57,25
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	38%

Figura 12-5: relación contenido de humedad Vs esfuerzo. (Autor).



12.2 Esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras

El valor del esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras (σ_{admi}), mostrado en la Tabla 12-6 y Tabla 12-7 se calculó a partir de la Ecuación 12-2 tomada de la ISO 22156:2004 y la Ecuación 12-3 tomada de la NSR-10 mostradas completas en el capítulo 5.

El esfuerzo admisible obtenido a partir de la Ecuación 12-2 y la Ecuación 12-3 obtuvieron resultados distintos puesto que se trabajan con valores de análisis diferentes. Para el caso del resultado obtenido por medio de la ecuación tomada de la ISO 22156 se toman en cuenta los siguientes valores:

$$\sigma_{admi} = R_{ki} * G * \frac{D}{S}$$ Ecuación 12-2: Ecuación esfuerzo admisible ISO 22156.

En donde:

σadmi = Esfuerzo admisible.
Rki = Valor característico
G = Coeficiente de modificación laboratorio cuyo valor predeterminado es 0.5.
D = Coeficiente de modificación por duración de la carga

- 1.0 para carga permanente (M)
- 1.25 para carga permanente más carga temporal (M+V)
- 1.5 para carga permanente más carga temporal más carga de viento (M+V+W)

S = Factor de seguridad cuyo valor predeterminado es 2.25.

Tabla 12-6: Esfuerzo admisible a compresión paralela a las fibras ISO 22156. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
M (Mpa)	3,18	4,35	3,74
M+V (Mpa)	3,97	5,44	4,68
M+V+W (Mpa)	4,77	6,52	5,62

Para el caso del esfuerzo admisible obtenido de la Ecuación 12-3 tomada de la NSR-10 se trabajó bajo los siguientes valores.

$F_i = \frac{FC}{F_S * FDC} * F_{ki}$ Ecuación 12-3: ecuación esfuerzo admisible NSR-10.

En donde:

F_i = Esfuerzo admisible

F_{ki} = Valor característico del esfuerzo

FC = Factor de reducción por diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura

- 1.0 para compresión paralela

F_s = Factor de seguridad

- 1.5 para compresión paralela

FDC = factor de duración de carga

- 1.2 para compresión paralela

En la Tabla 12-7 muestra el esfuerzo admisible obtenido bajo la Ecuación 12-3. A diferencia que los resultados obtenidos en la prueba de flexión y corte, el esfuerzo admisible para tensión paralela a las fibras según la NSR-10 obtuvo una mayor resistencia que los resultados obtenidos por la norma ISO 22156, esto se puede ser consecuencia de que la NSR-10, trabaja con factores de reducción diferentes para cada tipo de ensayo. En este caso para el ensayo de tensión paralela. Los factores de reducción son los más bajos.

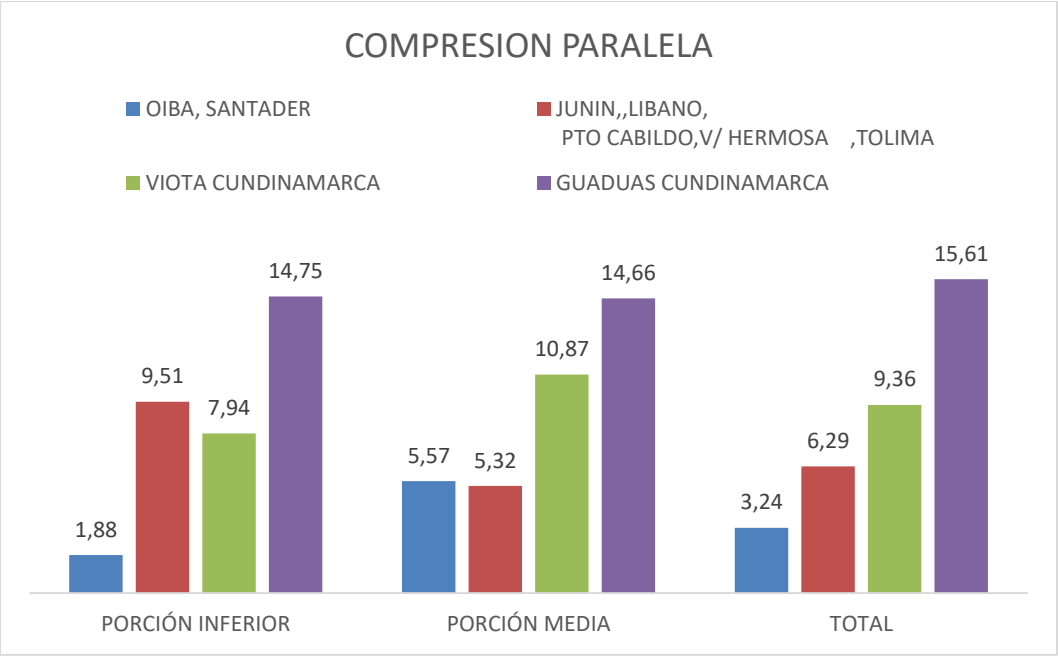
Tabla 12-7: Esfuerzo admisible según NSR-10. (Autor).

CONDICIÓN DE CARGA	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
(MPa)	7,94	10,87	9,36

En comparación con resultados obtenidos en otras investigaciones para la especie guadua angustifolia kunth en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Santander (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016) mostrados en la Figura 12-6, la *(bambusa vulgaris)* registra el segundo mayor valor de esfuerzo admisible comparado con las otras regiones. Al igual que en los resultados obtenidos en el esfuerzo último, esta diferencia no se puede considerar consecuencia del contenido de humedad de las probetas, ya que según los

datos obtenidos en la Tabla 12-5, el contenido de humedad de las probetas para Viota fue el más alto comparado con las otras regiones Figura 12-5

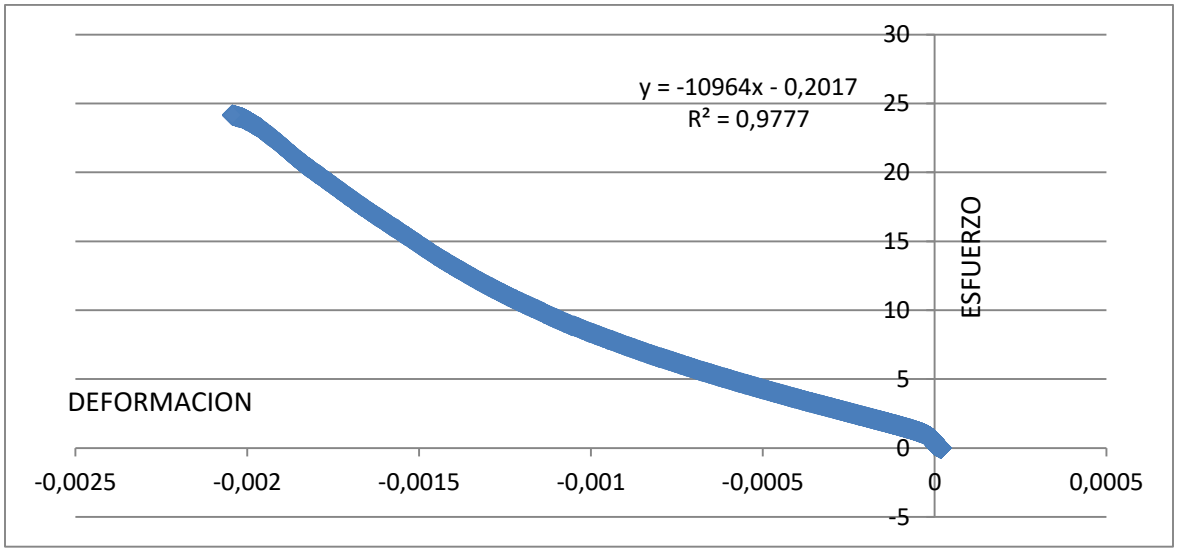
Figura 12-6: Comparación esfuerzo admisible a compresión paralela a la fibra para Cundinamarca, Tolima, Santander. (Autor).



12.3 Módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras

Con los datos de esfuerzo y deformación obtenidos en los ensayos, se realizaron gráficas para la determinación del módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras, este módulo es tomado de un tramo de la pendiente de la graficas obtenidas, el rango del tramo tomado comprendió entre el 10% y 30% de F_{ult}, a diferencia de la norma NTC 5525 donde dice que el rango debe ser entre el 10% y el 60%, este cambio se debió a que para el rango entre 10% y 60% existen variaciones de la pendiente que generarían valores no confiables, la Figura 12-7 muestra un ejemplo de las gráficas obtenidas con deformimetro.

Figura 12-7: Gráfico esfuerzo vs. Deformación longitudinal para compresión paralela a las fibras. (Autor).



La Tabla 12-8 muestra el análisis estadístico para el módulo de elasticidad longitudinal a compresión paralela a las fibras en la porción inferior y media del culmo, para esta tabla el número de datos corresponde a los usados para el análisis estadístico luego de excluir los atípicos usando el criterio de Chauvenet, para este caso los datos descartados para módulo de elasticidad longitudinal fueron VC36I puesto que sobrepaso dicho coeficiente.

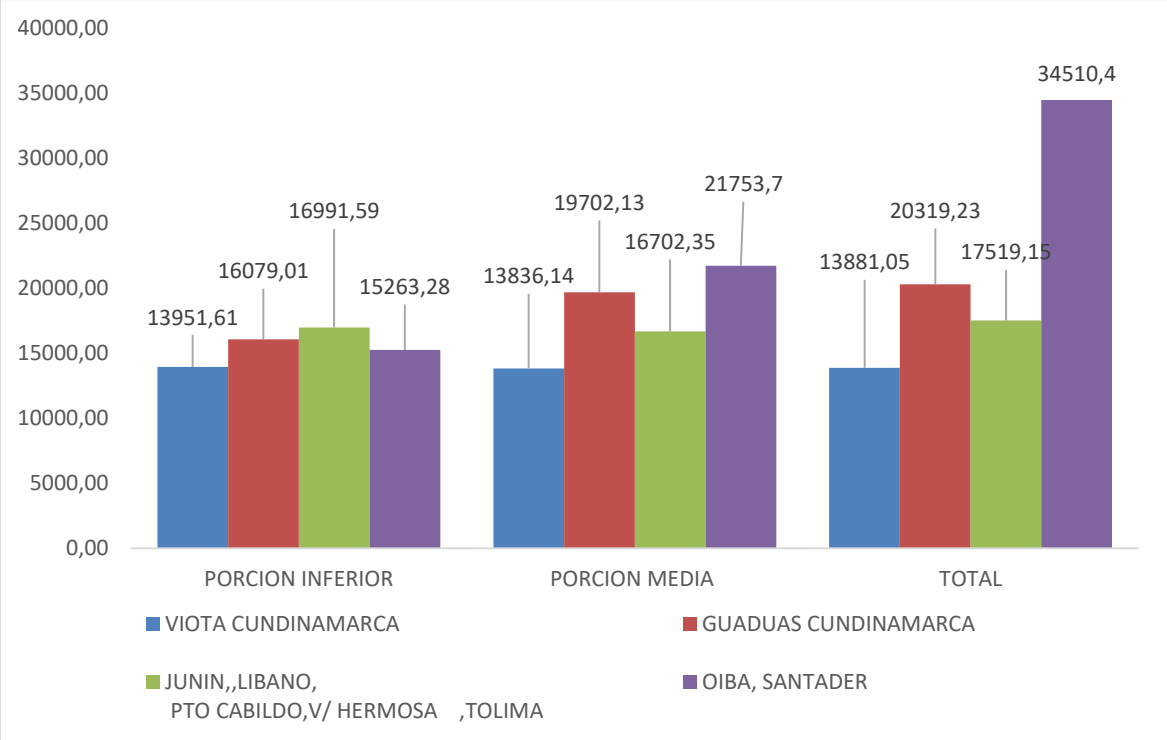
Tabla 12-8: Análisis estadístico para módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN INFERIOR	PORCIÓN MEDIA	TOTAL
NÚMERO DE DATOS (N)	7	11	18
PROMEDIO (MPa)	13951,61	13836,14	13881,05
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa)	6743,62	5189,03	5043,70
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	48%	38%	36%
PERCENTIL 5 (MPa)	7645,65	8222,74	7321,76
VALOR MÍNIMO (MPa)	7264,51	7331,87	7264,51

En comparación con los resultados obtenidos en investigaciones previas para otras regiones(Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016),mostrados en la Figura 12-8, se observa que la *(bambusa vulgaris)* presenta el menor valor registrado con un módulo de

elasticidad promedio de 13881MPa en el total de pruebas, a pesar que estos valores sobrepasan el valor admisible establecido por la NSR-10 el cual es 9500 MPa, es importante mencionar que los valores dados por la norma se trabajaron con un contenido de humedad del 12% y que para esta investigación y los otras que sirven de comparación, los contenidos de humedad partieron desde el 66% hasta el 152%.

Figura 12-8: Gráfica comparativa de módulos de elasticidad longitudinal promedio para compresión paralela a las fibras por zona. Fuente: (Autor)



13. Sistema estructural y Análisis de cargas

Una vez realizada la caracterización de las propiedades físico-mecánicas del bambú (*Bambusa vulgaris*) proveniente del municipio de Viotá, se procedió a diseñar el sistema estructural de la vivienda rural y analizar las cargas de la estructura. Esto, con el fin de encontrar las solicitaciones máximas que deberán soportar los elementos estructurales de la vivienda, tales como vigas, columnas y uniones de la estructura.

13.1 Sistema estructural

Según Fonseca Martínez (1977), existen varios sistemas estructurales y tipologías constructivas de la vivienda rural dependiendo de la región y clima donde se construya. Si bien existen estas diferencias en los sistemas constructivos para diferentes zonas rurales del país, es importante mencionar que la estructura del bahareque para la vivienda rural es muy común en varias regiones independientemente de su clima. Por ejemplo, en la región andina (suroccidente) se construyen estructuras en madera rolliza que posteriormente se recubren con barro y estiércol de animales, por lo que se crean muros muy gruesos que ayudan a proteger del intenso frío en la zona (Sánchez & Concha, 2016). En la región caribe, las viviendas autóctonas poseen una estructura combinada entre caña y madera, recubierta de material vegetal combinado con relleno de tierra y la cubierta está hecha de hojas de palma u otros vegetales (SENA, 1990). Para la región de Antioquia y el Viejo Caldas, la situación no es diferente. El uso de la guadua como material de construcción con un posterior recubrimiento de materiales naturales como la paja y el barro ha existido por mucho tiempo en esta región (CORONA, 2016)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 13-1: utilización del bahareque en varias regiones del país (a) región andina, (b) región del Viejo Caldas (c)región caribe. (Autor).

(a) (b) (c)

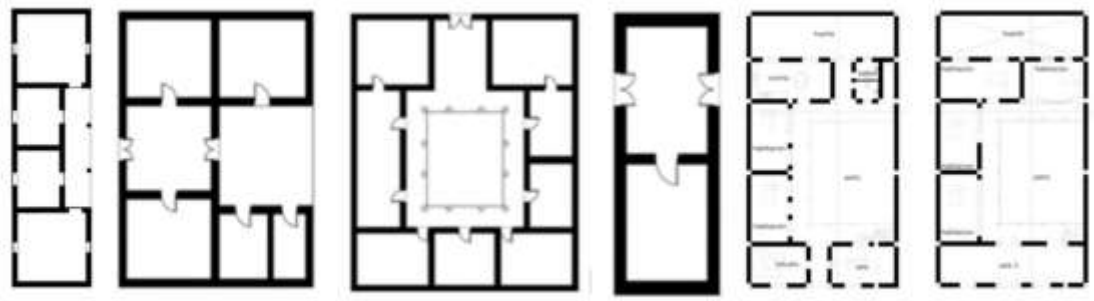
Teniendo en cuenta que este sistema constructivo es muy común en diferentes zonas del país y que la arquitectura campesina usó el bahareque como una de las primeras tecnologías constructivas en Colombia, destacándose por su resistencia, rapidez en la construcción y bajos costos (Fonseca, lorenzo & Saldarriaga, 1980; Rivera, 2018), se decidió plantear que para la vivienda rural desarrollada en esta investigación, la mejor opción sería una estructura portante en bambú (*Bambusa vulgaris*) que posteriormente sería recubierta con una malla metálica y mortero de cemento, tierra, arena y paja bajo la técnica del muro tendinoso (Agencia de Noticias UN, 2015).

Figura 13-2: sistema de muro tendinoso. (zuarc.co).

Esta decisión se tomó con el fin de evocar la identidad arquitectónica que la vivienda rural ha tenido con la implementación de esta tecnología constructiva a lo largo de los años; además de que su costo y facilidad de construcción beneficiarían el desarrollo del proyecto si se llegara a consolidar. Otro factor importante para escoger el bahareque como sistema

estructural y constructivo fue que la tipologías organizativas y formas tradicionales de la vivienda rural construidas con esta técnica se han desarrollado en un solo eje, lo que evidencia una linealidad en la vivienda (Sánchez & Concha, 2016)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Esta linealidad está relacionada con el sistema constructivo, ya que es una condicionante para las distancias entre apoyos y ancho en las edificaciones, de modo que las formas tradicionales de las viviendas bajo este sistema son prácticamente rectangulares.

Figura 13-3: el rectángulo, forma tradicional de la vivienda rural bajo el sistema del bahareque.(CORONA, 2016).



Una vez definidas algunas características del sistema constructivo a utilizar, se procede a diseñar la estructura de la vivienda. El diseño se realiza con base en tres parámetros:

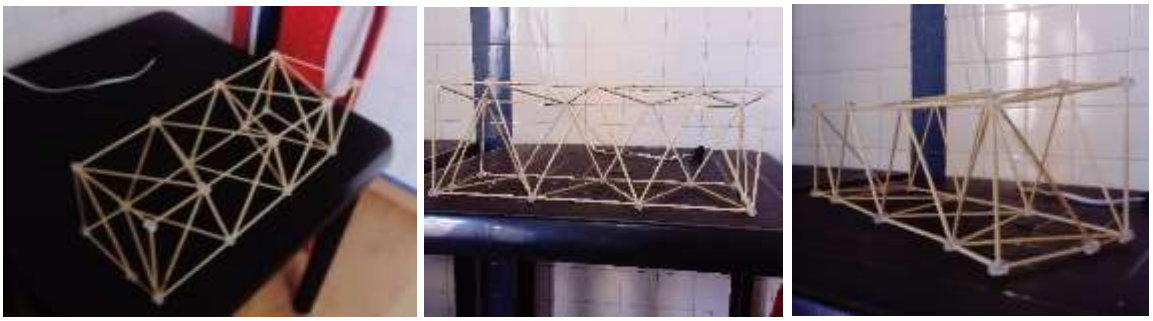
- El material de la vivienda
- Los elementos estructurales de la vivienda
- La morfología de la vivienda

El bambú presenta un buen desempeño ante esfuerzos de tensión y compresión, (Takeuchi Tam, 2004). Basados en las características del material, el diseño planteado en la estructura busca que los elementos constructivos solo trabajen ante esfuerzos de tensión y compresión, es decir, que trabajen ante fuerzas horizontales y verticales pero no de momento. Debido a estas características, las uniones y apoyos de la estructura deberán ser articuladas. Además de esta razón, se plantea el uso de elementos articulados a fin de facilitar el proceso constructivo de la estructura por medio de ensambles.

La estabilidad de la vivienda dependerá de su morfología, es decir, de cómo se disponen sus elementos estructurales. Por esta razón, la estructura propuesta se basa en la

triangulación de elementos. Como se sabe, el triángulo es la figura geométrica más estable y resistente que se puede construir a partir de barras. Así, esta piel triangulada y tridimensional logra la máxima resistencia con el menor uso de material, siendo una de las estructuras más esbeltas conocidas. Se realizaron algunos modelos a escala para determinar la mejor propuesta en términos de morfología, diseño y estabilidad (Figura 13-4).

Figura 13-4: modelos a escala sistema estructural. (Autor).



Teniendo en cuenta las características morfológicas estudiadas anteriormente, la estructura de la vivienda está diseñada por un módulo básico de forma rectangular de 9m de largo por 3.3m de ancho**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Este módulo se conforma por el ensamble de varios elementos estructurales conectados a través de uniones articuladas que darán como resultado una estructura aporticada triangular o también conocida como sistema reticulado de simple pared.

Figura 13-5: estructura básica módulo de vivienda rural. (Autor).

-

13.2 Análisis de cargas

Más adelante, se procede a desarrollar el análisis de cargas con el fin de encontrar las solicitaciones máximas que deberán soportar los elementos estructurales de la vivienda. Para el presente análisis, fueron necesarios los siguientes parámetros:

- **Parámetros sísmicos:**

Se utilizan los parámetros máximos (críticos) para que la estructura pueda ser replicable en cualquier zona de amenaza sísmica con la condición más crítica de efectos locales producidos por el suelo de fundación.

Aa = 0.35

Av = 0.3

Fa = 2.5

Fb = 3.5

- **Peso propio**

La estructura se diseña con *Bambusa vulgaris,* de densidad = 467kg/m3. Esta densidad fue determinada al caracterizar las propiedades físico-mecánicas del bambú.

- **Cargas de cubierta**

Carga muerta = 30 kgf/m2

Carga viva = 50 kgf/m2

- **Cargas de entrepiso**

Carga muerta = 15 kgf/m2

Carga viva = 180 kgf/m2

13.2.1 Análisis de deflexiones

Luego, se desarrolla el análisis de deflexiones de la estructura, el cual se lleva a cabo con base en la tabla G.12.8-2 de la NSR-10. Esta tabla determina los valores admisibles de las deflexiones en una estructura, basados en condiciones de servicio que dicha norma establece.

Tabla 13-1: deflexiones admisibles. (Autor).

Deflexiones admisibles δ (mm), nota3

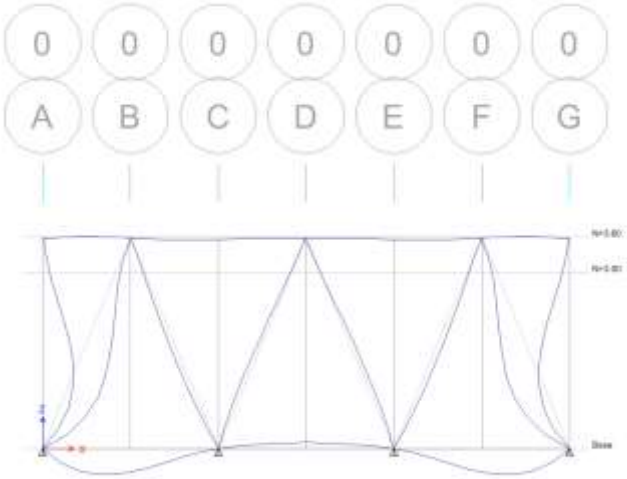
Condición de servicio	Cargas vivas (l/k)	Viento o Granizo (l/k)	Cargas totales (l/k) Nota 2
Elementos de techo / Cubiertas			
Cubiertas inclinadas			
Cielo rasos de pañete o yeso	l/360	l/360	l/240
Otros cielo rasos	l/240	l/240	l/180
Sin cielo raso	l/240	l/240	l/180
Techos planos	Nota 1	Nota 1	l/300
Techos industriales	-	-	l/200
Entrepisos			
Elementos de entrepiso	l/360	-	l/240
Entrepisos rígidos	-	-	l/360
Muros exteriores			
Con acabados frágiles	-	l/240	-
Con acabados flexibles	-	l/120	-

Las condiciones de servicio se determinan según las características de la vivienda según sus acabados y dimensiones. Para la vivienda rural, los acabados de cielo raso se establecen como otros y el entrepiso, como elementos adosados. La longitud de la vivienda se toma como la más corta entre apoyos (3.3m).

Cubiertas inclinadas con otro cielorraso l/180 = (3.3m/180) = 0.018m.

Elementos de entrepiso l/240 = (3m/240) = 0.0137m.

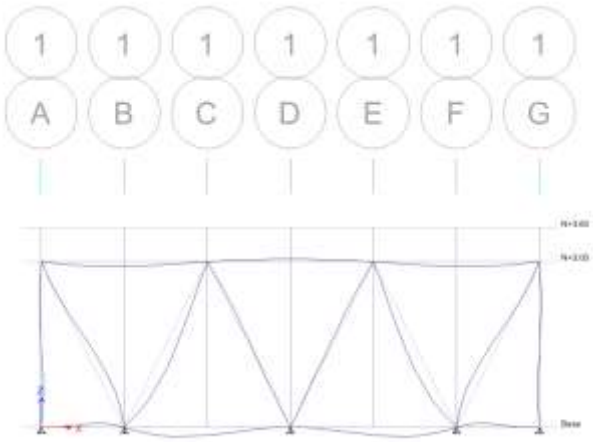
Figura 13-6: análisis en el eje 0 (la estructura está cargada sobre el eje 0 y el eje 1).



Deflexión máxima vigas de carga de cubierta = 0.00025m < 0.016m → Cumple diseño por deflexiones.

Deflexión máxima vigas de carga de piso= 0.0045m < 0.0125m → Cumple diseño por deflexiones.

Figura 13-7: análisis en el eje 1 (la estructura está cargada sobre el eje 0 y el eje 1).



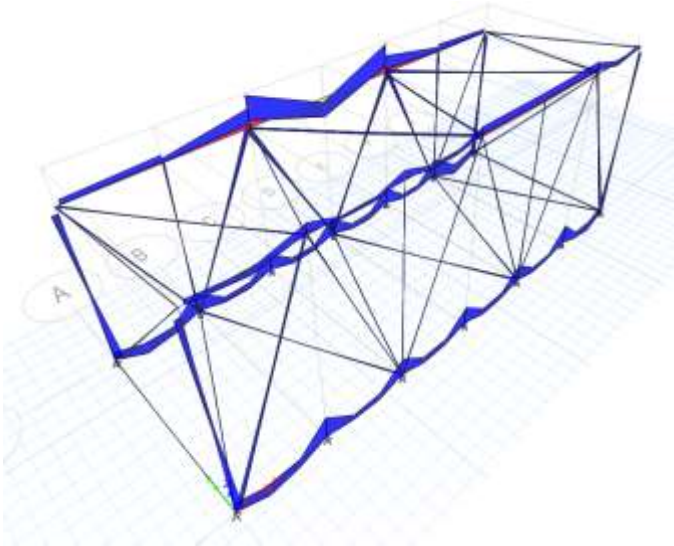
Deflexión máxima vigas de carga de cubierta = 0.001m < 0.016m → Cumple diseño por deflexiones.

Deflexión máxima vigas de carga de piso= 0.00175m < 0.0125m → Cumple diseño por deflexiones.

13.2.2 Diseño por flexión

Después de cumplir con el diseño por deflexión, se procede a realizar el diseño por flexión de la vivienda. Para este diseño se utilizan los valores admisibles determinados en la caracterización de la *Bambusa vulgaris* con el fin de encontrar los valores de estabilidad lateral y coeficiente de modificación.

Figura 13-8: esfuerzo por flexión estructura en estructura planteada. (Autor).



- **Estabilidad lateral y coeficiente de modificación (CL)**

Las vigas de la estructura están conformadas por una sola guadua, por lo tanto, el coeficiente de modificación es C_L=1

- **Momento resistente** (momento máximo)

El momento resistente se determina con la Ecuación 13-1, tomada del título G.12.8-4 de la NSR-10.

$$f_b = \frac{M}{s} \leq f_b^{\cdot}$$

Ecuación 13-1: momento resistente. (Autor).

En donde:

f_b: esfuerzo a flexión actuante en MPa

M: momento actuante sobre el elemento en N.mm

s : módulo de sección en mm3

$f_b^{\cdot}$: esfuerzo admisible modificado en MPa

Para determinar el módulo de sección del elemento es necesario utilizar la Ecuación 13-2, tomada del título G.12.8-5 de la NSR-10.

$$s = \pi \frac{(D_e^4 - [D_{e-}2t]^4)}{32D_e}$$

Ecuación 13-2: módulo de sección. (Autor).

En donde:

S: módulo de sección en mm3

De: diámetro promedio exterior del culmo mm

t: espesor promedio de la pared del culmo en mm

Para el caso de la *Bambusa vulgaris,* proveniente del municipio de Viotá, el diámetro promedio exterior del culmo es de 107mm y el espesor promedio, 10.63mm. Con estos valores se encontró el valor del módulo de sección en mm3, el cual fue:

s: 70683.3477mm3 (módulo de sección).

Teniendo en cuenta que el valor que se requiere en la ecuación 13.1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es el momento máximo actuante sobre el elemento (M), procedemos a modificar dicha ecuación para encontrar el momento máximo.

$f'b$: 15.03MPa (esfuerzo admisible a flexión de la *Bambusa vulgaris*)

El momento máximo que puede asumir un elemento a flexión será entonces:

$$\mathrm{Mmax} = f'b * S$$

$\mathrm{Mmax} =$ 1062370.72Nmm (momento máximo)

- **Esfuerzo cortante paralelo a las fibras**

El esfuerzo cortante paralelo a las fibras se determinará con la ecuacion13.3,**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** tomada del título G.12.8-9 de la NSR-10.

$$f_v = \frac{2v}{3a}\left[\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2}\right] \leq f_v''$$

Ecuación 13-3: Esfuerzo cortante a las fibras. (Autor).

Donde:

fv = esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante, en MPa

A = área de la sección transversal del elemento de guadua rolliza, en mm2

De = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm

t = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm

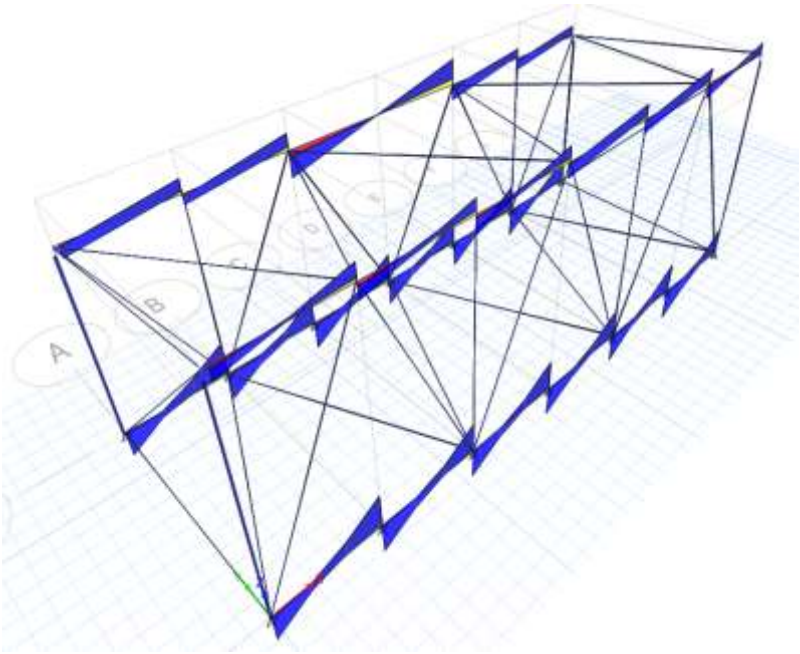
fv” = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

v = fuerza cortante en la sección considerada, en N

En el caso de la *Bambusa vulgaris* proveniente del municipio de Viotá, el diámetro promedio exterior del culmo es de 107mm y el espesor promedio, 10.63mm. El área de la sección transversal es 3218.28867mm2 y el esfuerzo admisible a corte, 0.53MPa. Estos datos son remplazados en la anterior ecuación, dando como resultado en esfuerzo cortante máximo. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Vmax= 795.082N (cortante máximo)

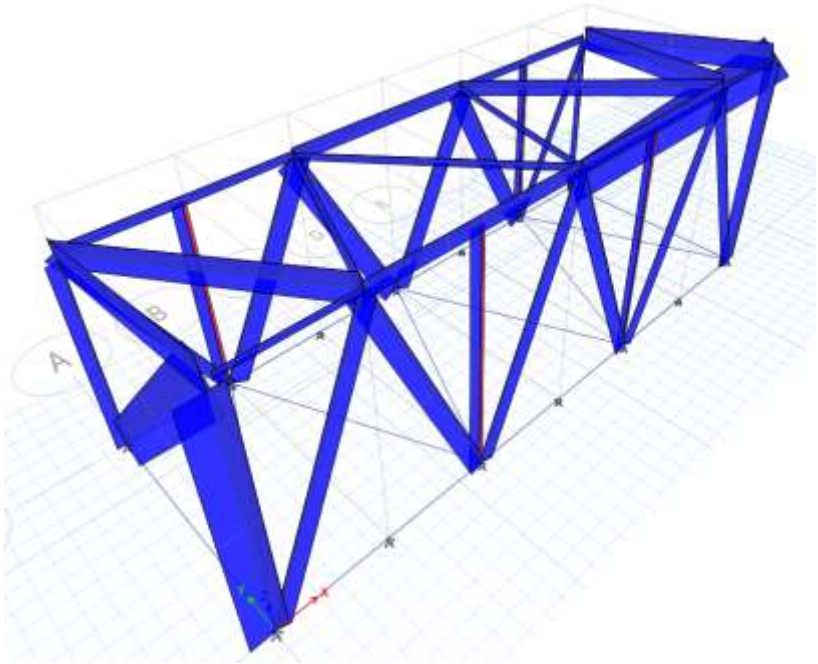
Figura 13-9: gráfico de esfuerzos cortantes que actúan sobre la vivienda. (Autor).



13.2.3 Diseño por fuerza axial

El diseño por fuerza axial se realiza para determinar los esfuerzos de elementos estructurales que trabajen a tensión y compresión, para el caso de la estructura diseñada todos los elementos portantes poseen uniones articuladas que solo trabajan bajo este tipo de esfuerzos. Por esta razón los resultados obtenidos bajo este diseño serán muy importantes para poder determinar la resistencia de las uniones que permitirán ensamblar la estructura de la vivienda.

Figura 13-10: gráfico diseño por fuerza axial. (Autor).



- **Elementos solicitados a tensión axial**

El esfuerzo máximo solicitado a tensión axial se determinará con la Ecuación 13-4,**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** tomada del título G.12.9-1 de la NSR-10.

$$f_t = \frac{t}{A_n} \leq f_t^{'}$$

Ecuación 13-4: esfuerzo tensión axial. (Autor).

En donde:

t f = esfuerzo a tensión actuante, en MPa

T = fuerza de tensión axial aplicada, en N

Ft = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar

An = área neta del elemento, en mm

En el caso de la *Bambusa vulgaris* proveniente del municipio de Viotá, el diámetro promedio exterior del culmo es de 107mm y el espesor promedio, 10.63mm. El área de la sección transversal es 3218.28867mm2 y el esfuerzo admisible a tensión, 5.41MPa.

Teniendo en cuenta que el valor que se requiere en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es el esfuerzo a tensión máximo actuante sobre el elemento (T), procedemos a modificar dicha ecuación para encontrar dicho esfuerzo.

El esfuerzo máximo que puede asumir un elemento a tensión será entonces:

$\mathrm{Tmax} = f't * A$

$\mathrm{Tmax} = 17410.94$ N

- **Elementos solicitados a compresión**

El esfuerzo máximo solicitado a compresión axial se determinará con la Ecuación 13-5,**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** tomada del título G.12.9-7 de la NSR-10.

$$f_c = \frac{N}{A_n} \leq f_c'$$

Ecuación 13-5: esfuerzo compresión axial. (Autor).

En donde:

f_c = esfuerzo a compresión actuante, en MPa

N = fuerza de compresión axial aplicada, en N

f_c' = esfuerzo de compresión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar

An = área neta del elemento, en mm

En el caso de la *Bambusa vulgaris* proveniente del municipio de Viotá, el diámetro promedio exterior del culmo es de 107mm y el espesor promedio, 10.63mm. El área de la sección transversal es 3218.28867mm2 y el esfuerzo admisible a compresión, 9.36MPa.

Teniendo en cuenta que el valor que se requiere en la es el esfuerzo a compresión máximo actuante sobre el elemento (N), procedemos a modificar dicha ecuación para encontrar dicho esfuerzo.

El esfuerzo máximo que puede asumir un elemento a compresión será entonces:

$\mathrm{Nmax} = f'c * A$

$\mathrm{Nmax} = 30123.18\mathrm{N}$

13.3 Máxima solicitación de uniones

Con los esfuerzos máximos se pudo calcular la carga que los elementos estructurales y uniones de la vivienda deberían resistir. Esto se realizó en el programa ETABS, con los resultados y respectivos informes en el anexo.

En el caso de las uniones y elementos estructurales, la carga máxima tanto de tensión como de compresión fue de:

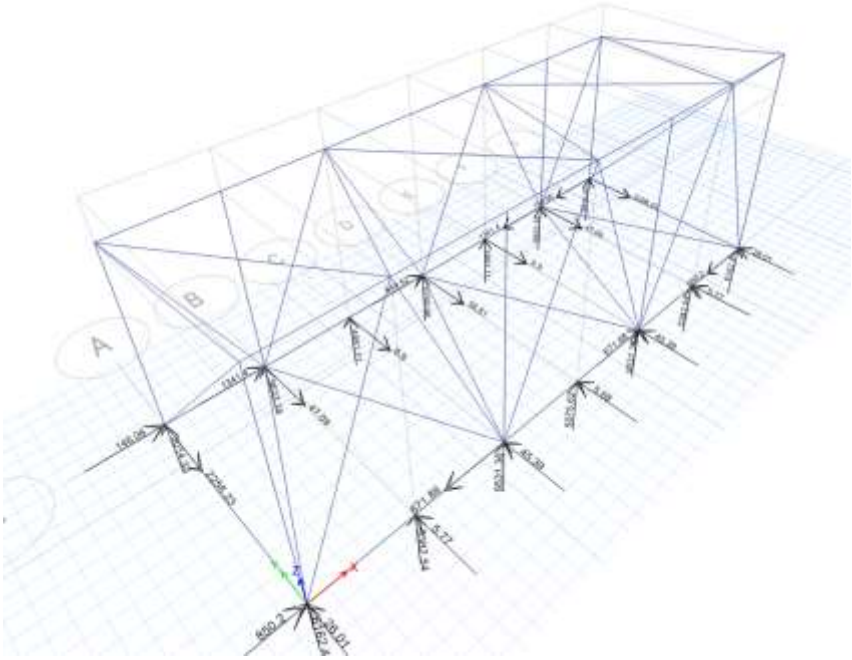
- 3296N en Tensión
- 3296N en Compresión

13.4 Reacciones de los apoyos sobre diseño de cimentación

Se hizo un análisis de cargas específico para el sistema de cimentación empleado en la vivienda, el cual permitió determinar que la cantidad de pedestales o zapatas aisladas que servirían de apoyo en la estructura no era suficiente.

Por recomendación del ingeniero Andrés Guerra, se decidió ubicar más pedestales de cimentación en los centros de las vigas para reducir los momentos flectores y posibles vibraciones en la estructura (Figura 13-11).

Figura 13-11: gráfico reacciones en apoyos de la vivienda. (Autor).



Teniendo en cuenta que el modelo de vivienda tiene la posibilidad de expandirse, se realizó el análisis de cargas para los diferentes modelos de ampliación, que se pueden ver en los anexos (Figura 13-12).

Figura 13-12: gráficos de fuerza axial, cortantes y momentos.

14. Diseño y modelado de uniones

Según , el objetivo de una unión es proporcionar continuidad entre elementos estructurales de una construcción, es decir, que los esfuerzos que actúan sobre la estructura puedan transmitirse de manera segura y eficiente para disiparse hasta su cimentación, procurando que las deformaciones se reduzcan al mínimo.

Teóricamente, una unión mecánica eficiente debería cumplir unas condiciones ideales que deben someterse a las características específicas del material que se pretende unir (Díaz, 2013). Para esta investigación las condiciones ideales del diseño de la unión mecánica se tomaron con base en el subtítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y fueron las siguientes:

- Garantizar la resistencia de la unión ante esfuerzos de tensión y compresión con base en los resultados del análisis de cargas.
- Ser sencilla y de fácil colocación.
- Ser segura y confiable en el tiempo.
- Ser de costo razonable frente a su eficiencia.
- No agregar peso considerable en su conjunto.
- No ser visualmente muy notoria.

14.1 Prototipos iniciales

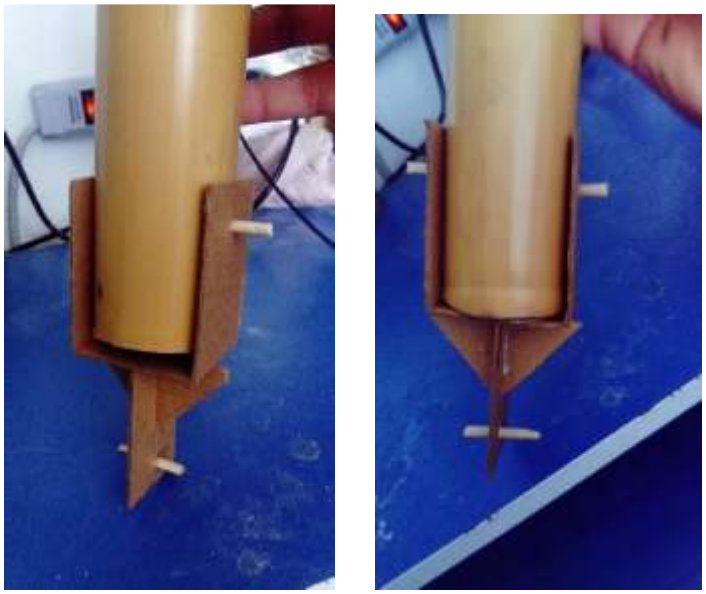
Una vez definida la resistencia mínima que las uniones y elementos estructurales deben soportar ante cargas de tensión y compresión (3296N) y de las condiciones principales que la unión deberá tener para garantizar la estabilidad de una estructura, se procede a desarrollar algunos prototipos iniciales a escala que definirán características geométricas

y dimensiones de las uniones. Basados en estudios anteriores consignados en el marco teórico, se diseñaron tres propuestas que veremos a continuación.

14.1.1 Unión simple con agarre exterior

Esta unión se plantea a partir un elemento que abraza la pared exterior del bambú**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Se asegura por medio de un perno o varilla que atraviesa al bambú de extremo a extremo y lo fija con tuercas. A fin de evitar una posible falla por cizallamiento también se plantea el relleno del canuto con mortero fluido para aumentar la resistencia de la unión.

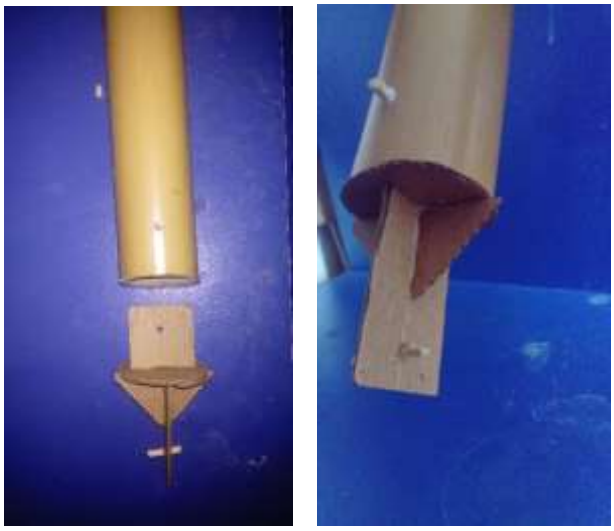
Figura 14-1: prototipo unión simple con agarre exterior. (Autor).



14.1.2 Unión simple con agarre interior

Esta propuesta toma como referencia la unión diseñada por la empresa Bambuterra de Ciudad de México. La unión pretende sujetar al bambú desde la parte interna del canuto, introduciendo un elemento de unión que tiene una aleta para sujetarse desde su centro. Posteriormente, este se asegura con un perno o barrila. A diferencia de la propuesta anterior, esta unión es menos notoria y plantea el relleno del canuto con mortero fluido para aumentar la resistencia de la unión y evitar una posible falla por cizallamiento.

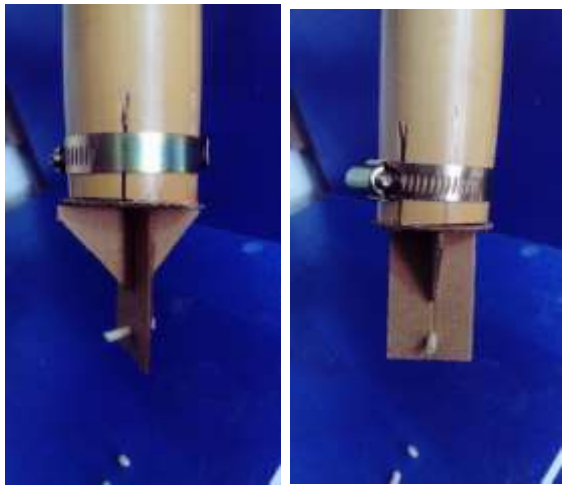
Figura 14-2: unión simple con agarre interno. (Autor).



14.1.3 Unión compuesta con reducción de diámetro

Esta propuesta fue tomada de la unión diseñada por la empresa Guaduatech (Jorge Bernardo Londoño, 2005). Básicamente, esta unión funciona mediante la reducción del diámetro del bambú, el cual se asegura con una abrazadera metálica**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Una vez reducido el diámetro, se introduce una platina y se restringen los desplazamientos gracias al relleno de mortero que confina a los elementos que se están uniendo. Esta unión es la más compleja de construir.

Figura 14-3: unión compuesta con reducción de diámetro. (Autor).



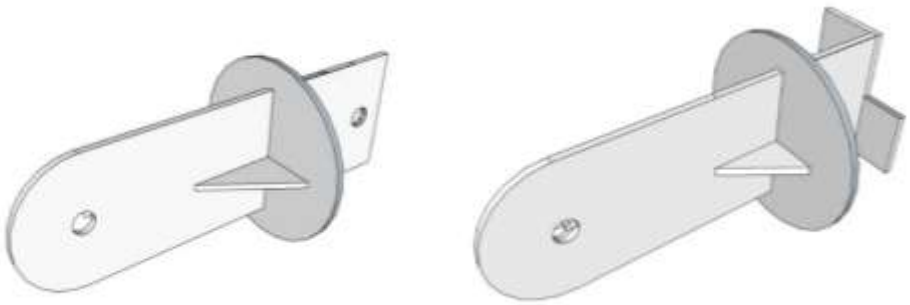
Después de realizar los prototipos a escala y evaluar cuáles de las propuestas son más factibles de fabricar a escala 1:1, se tomó la decisión de elaborar la unión con agarre interno y la unión compuesta con reducción de diámetro. Se descartó la unión simple con agarre externo, ya que esta era muy notoria y gran parte de su estructura permanecía a la intemperie, por lo que surgía la posibilidad de que se deteriorara rápidamente.

14.2 Fabricación de prototipos para ensayos

En la fabricación de los prototipos a escala 1:1, previamente se realizaron modelos 3D para definir las dimensiones exactas de las uniones. Una vez modeladas las uniones, se empezó con el proceso de fabricación (Figura 14-4).

Luego, se empieza a diseñar las platinas de agarre que ayudarán a ensamblar la estructura por medio de pernos o pasadores. Estos elementos se ubicarán principalmente en las partes de cimentación y cubierta, permitiéndome construir la estructura del reticulado espacial de doble pared (Figura 14-5).

Figura 14-4: (a) modelo 3D unión simple con agarre interno; (b) modelo 3D unión compuesta.



(a) (b)

Figura 14-5: detalle de uniones propuestas con ensambles en cimentación y en cubierta. (Autor).

Definidas las dimensiones de las uniones, se comienza con el proceso de fabricación. Se realizaron planos de taller, los cuales se encuentran en el anexo, y se elaborar unas uniones de prueba por encargo en Ricaurte.

El material escogido fue una lámina de hierro de 4mm, que se cortó según los parámetros presentados en planos y, posteriormente, se soldaron para unificar las piezas (Figura 14-16)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 14-6: (a) proceso de soldadura unión; (b) unión compuesta de prueba.

(a) (b)

14.2.1 Prototipo de unión compuesta

El prototipo de esta unión está conformado por dos elementos, una abrazadera industrial y una platina metálica que se fijará con el canuto del bambú (Figura 14-7) El proceso de

montaje comienza con unos pequeños cortes en los extremos del tallo que reducirán el diámetro de este en un 10%. A fin de mantener dichas secciones en una condición cerrada, se instala un anillo de retención, que en este caso será la abrazadera metálica (Figura 14-8)Figura 14-7: (a) abrazadera metálica; (b) platina metálica compuesta. (Autor).

(a) (b)

Figura 14-8: (a) elaboración cortes; (b) cortes realizados; (c) confinamiento con abrazadera. (Autor).

(a) (b) (c)

Como se había mencionado antes, esta unión toma como referencia el diseño planteado por la empresa Guaduatecth (Jorge Bernardo Londoño, 2005), que rellena el entrenudo con una mezcla de arena, resina de fenol y catalizador para confinar el conjunto de elementos instalados y fijarlos. En el caso de la unión propuesta, se plantea utilizar un

mortero realizado con arena, cal y viruta de madera, el cual mantendrá unida la mezcla. La mezcla se dosifica con tres cantidades de arena por una de cal. Una vez relleno el entrenudo, se introduce la platina metálica y se reduce el diámetro del tallo apretando la abrazadera. Posteriormente, se deja secar y se realizan las pruebas de resistencia (Figura 14-9).

Figura 14-9: (a) relleno de entrenudo; (b) reducción de diámetro. (Autor).

(a) (b)

Siete días después de verter la mezcla en el entrenudo, se ejecuta la primera prueba piloto de resistencia a tracción. Esta arroja un valor de 275N, muy por debajo del mínimo requerido (3296N).

Finalizada la prueba de resistencia, se revisa la probeta de ensayo. Al intentar retirar la platina metálica del entrenudo, se puede observar que la mezcla realizada según indicaciones dadas presenta poca consistencia, razón por la cual la resistencia dada en la prueba fue tan baja**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Dado que los resultados obtenidos en la prueba no fueron los esperados, se plantea utilizar otra mezcla con arena y cemento para hacer un mortero simple. La dosificación de esta mezcla es una cantidad se cemento por cuatro de arena. Se repite el proceso de montaje en las uniones y se dejan secar por otros siete días. En este caso, se realizaron seis probetas de ensayo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 14-10:(a) baja consistencia del mortero; (b) unión realizada con nueva mezcla de mortero. (Autor).

14.2.2 Prototipo de unión simple con agarre interno

A diferencia de la unión compuesta, este prototipo tiene un mecanismo de montaje mucho más sencillo. Básicamente, la unión está conformada por una varilla de ½" y una platina metálica que se introduce en el entrenudo del bambú**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 14-11: (a) varilla de ½"; (b) unión simple con agarre interno. (Autor).

(a) (b)

El proceso de montaje comienza al perforar las paredes del bambú con un taladro y una broca de ½". La perforación debe realizarse a una distancia de 5cm del borde del tallo. Una

vez realizado esto, se introduce la unión y se asegura pasando la varilla de ½" por las perforaciones del tallo y el centro de la platina (Figura 14-12)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 14-12: (a) perforación de entrenudo (b) Paso de varilla entre el tallo y unión simple. (Autor).

14.3 Ensayos mecánicos en uniones

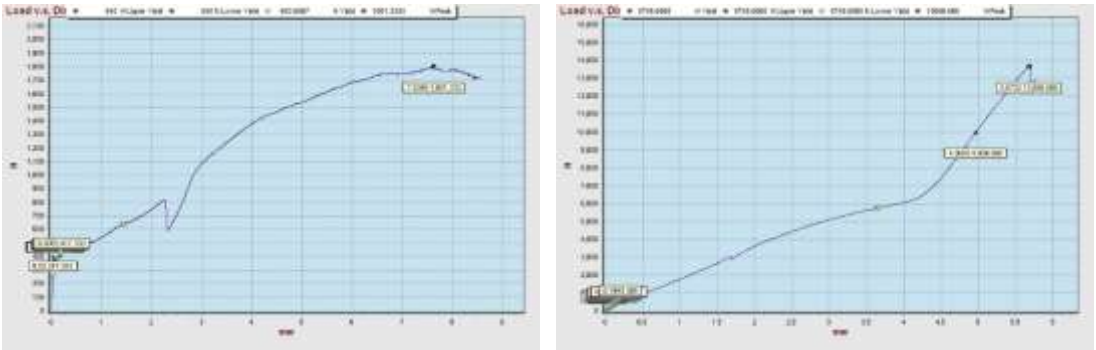
La totalidad de probetas fueron ensayadas en la máquina universal HUNG TA INSTRUMENT GO. LTD, modelo 2010, con capacidad de 20 toneladas**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. No se utilizó un montaje especial para la realización de estos ensayos. Se ejerció una carga de tensión y compresión constante a una velocidad de 0.01mm/s por medio de unos sujetadores o mordazas, que garantizaron la aplicación de dicha carga a lo largo del eje longitudinal de la probeta y evitaron la torsión longitudinal de esta.

Figura 14-13: montaje de unión para realizar ensayo de tensión.

14.3.1 Ensayos unión compuesta

Una vez secas las probetas con las que se utilizó la nueva mezcla de mortero mencionada en 14.2.1, se realizaron el montaje de la máquina universal y los ensayos de tensión y compresión.

Figura 14-14: (a) ensayo de tensión, gráfica carga/deformación unión compuesta con mortero; (b) ensayo de compresión gráfica carga/deformación unión compuesta con mortero. (Autor).



(a) (b)

La Figura 14-14**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la gráfica de carga versus deformación en los ensayos de tensión y compresión para la unión

compuesta. Los datos obtenidos en estos ensayos fueron superiores en comparación con el que se realizó en una probeta rellena de mortero sin cemento. Los resultados de los ensayos se muestran a continuación en la Tabla 14-1**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Tabla 14-1: resultados ensayos de tensión y compresión para unión compuesta. (Autor).

PROBETA TENSION	F (N)
UT01	1230,00
UT02	1801,00
UT03	6043,00
UT04	2610,00
UT05	1296,00
UT06	3100,00
PROMEDIO	2680,00

PROBETA COMPRESION	F (N)
UC01	15213,00
UC02	12866,00
UC03	11440,00
UC04	10613,00
UC05	9013,00
UC06	16080,00
PROMEDIO	12537,50

Para el ensayo de compresión, la carga obtenida sobrepasó el valor mínimo necesario, que en este caso es 3296N. En promedio, la unión a compresión soportó una carga de 12537N, 73% por encima de la necesaria. El tipo de falla que presentó la unión compuesta fue de aplastamiento.

A pesar de que los resultados obtenidos en los ensayos de tensión fueron superiores al obtenido en la primera prueba, estos no pudieron alcanzar el valor mínimo de 3296N. En promedio, la unión compuesta soportó una carga de 2680N, un 19% por debajo de la necesaria. El tipo de falla que presentó esta unión fue producido en la mezcla del entrenudo y no en el bambú (Figura 14-4)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

En esencia, esta unión falla porque no existe suficiente adherencia entre la mezcla de mortero y el bambú. Esta se desprende de las paredes del entrenudo y empieza a

desplazarse hacia afuera del tallo (Figura 14-4)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. A pesar de que existe una reducción de diámetro en el extremo de la probeta, dicha reducción no es suficiente y no es posible restringir el desplazamiento del material de relleno hacia afuera presentando una baja resistencia.

Debido a que este tipo de unión no obtuvo los resultados esperados en la prueba de tensión, se descarta la posibilidad de terminar los ensayos propuestos. Para ambas uniones se plantearon 12 ensayos de tensión y 12 ensayos de compresión. Más adelante, se procede a realizar los ensayos mecánicos con la siguiente unión propuesta.

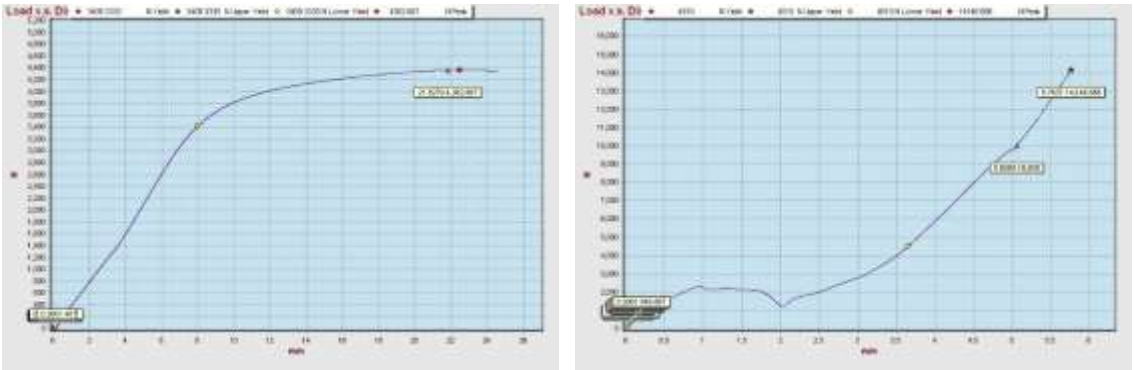
Figura 14-15: (a) falla de unión compuesta a tensión; (b) falla de unión compuesta a compresión. (Autor).

(a) (b

14.3.2 Ensayos unión simple

En el caso de la unión simple con agarre interno, se ejecutó el mismo proceso de montaje que en la unión compuesta. En total se realizaron 24 ensayos, 12 de tensión y 12 de compresión.

Figura 14-16: (a) ensayo de tensión, gráfica carga/deformación unión simple; (b) ensayo de compresión gráfica carga/deformación unión simple. (Autor).



(a) (b)

La Figura 14-16 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**muestra la gráfica típica de carga versus deformación en los ensayos de tensión y compresión. A diferencia de los anteriores resultados, los datos obtenidos para el prototipo de unión simple fueron muy superiores y cumplieron con el valor mínimo de carga (3296N). Los resultados de los ensayos se muestran a continuación en la Tabla 14-2**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

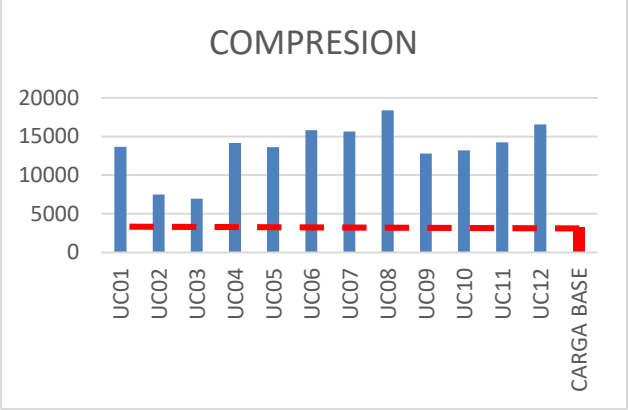
Tabla 14-2: resultados ensayos de tensión y compresión para unión simple. (Autor).

PROBETA	F (N)
UT01	4362,00
UT02	4983,33
UT03	3808,43
UT04	4034,67
UT05	3848,09
UT06	4556,65
UT07	3934,87
UT08	4260,66
UT09	4643,56
UT10	4146,33
UT11	4212.45
UT12	3862,66
PROMEDIO	4221,93

PROBETA	F (N)
UC01	13666,00
UC02	7480,00
UC03	6970,00
UC04	14146,67
UC05	13633,33
UC06	15820,00
UC07	15626,67
UC08	18386,67
UC09	12800,00
UC10	13206,67
UC11	14253,00
UC12	16540,00
PROMEDIO	13544,08

En el ensayo de compresión, la carga obtenida sobrepasó el valor mínimo necesario, que en este caso es 3296N. En promedio, la unión a compresión soportó una carga de 13544N, 76% por encima de la necesaria (Figura 14-17)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. El tipo de falla que presentó la unión compuesta fue de aplastamiento (Figura 14-19)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 14-17: comparación resultados obtenidos en ensayos de compresión con carga mínima determinada en análisis de cargas. (Autor).



En el ensayo de tensión, la carga obtenida sobrepasó el valor mínimo necesario de 3296N.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En promedio, la unión a tensión soportó una carga de 4221N, 21% por encima de la necesaria (Figura 14-18)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. El tipo de falla que presentó la unión simple fue de cizallamiento por parte de la varilla hacia las paredes del bambú (Figura 14-19).

Figura 14-18: comparación resultados obtenidos en ensayos de tensión con carga mínima determinada en análisis de cargas. (Autor).

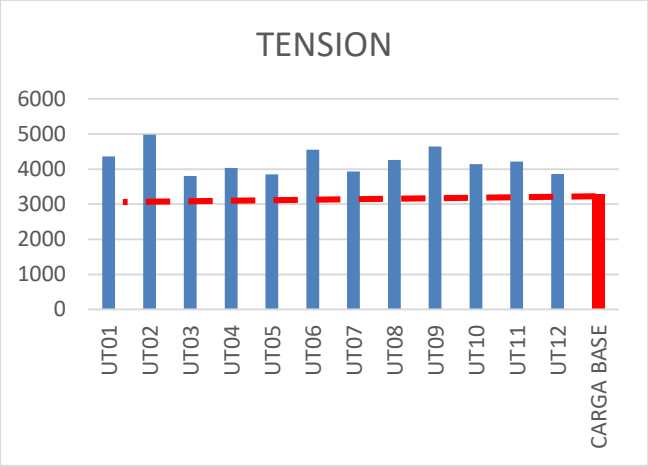


Figura 14-19: (a) falla por aplastamiento a compresión; (b) falla por cizallamiento a tensión parte superior; (c) falla por cizallamiento a tensión parte inferior. (Autor).

(a) (b) (c)

En el ensayo de tensión, se realizaron ocho pruebas adicionales en las que se agregó una mezcla de mortero simple en los entrenudos donde se fijan las uniones. Teóricamente, esto aumentaría la resistencia del elemento. Debido a que el material utilizado para el

desarrollo de esta investigación no fue el suficiente para realizar los 12 ensayos de tensión y los 12 de compresión propuestos, se determinó realizar solo las pruebas de tensión, considerando que presentaban la menor carga de esta prueba en comparación con la otra. Los resultados de los ensayos se muestran a continuación en la Tabla 14-3.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 14-3: resultados ensayos de tensión para unión simple con mortero. (Autor).

PROBETA TENSION	F (N)
UC01	10003,00
UC02	9103,00
UC03	8390,00
UC04	8333,00
UC05	8430,00
UC06	8990,00
UC07	10360,00
UC08	8046,00
PROMEDIO	8956,88

Con la adición del mortero en el entrenudo del bambú, las cargas obtenidas en los ensayos de tensión sobrepasaron el valor mínimo necesario de 3296N. En promedio, la unión a compresión soportó una carga de 8956N, 63% por encima de la necesaria (Figura 14-20)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. El tipo de falla que presentó la unión simple con la adición de mortero fue de corte en el centro de la probeta (Figura 14-21)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 14-20: comparación resultados obtenidos en ensayos de tensión para unión y mortero con carga mínima determinada en análisis de cargas. (Autor).

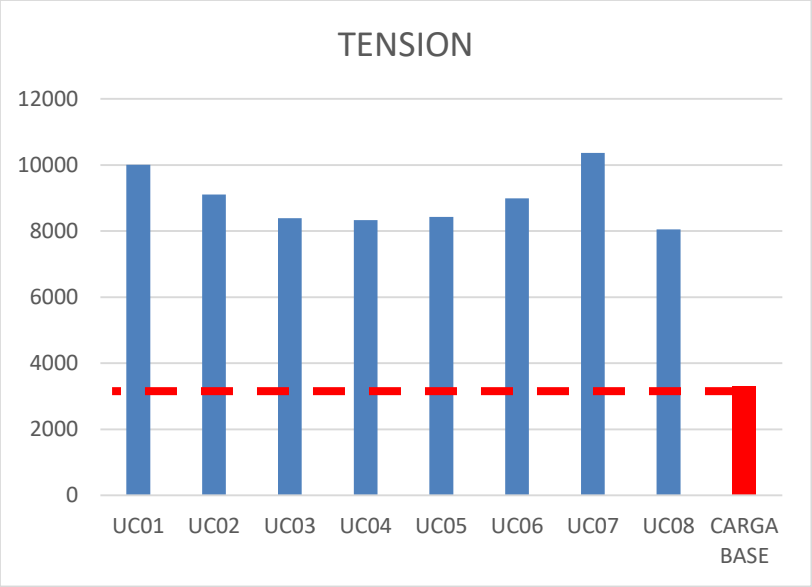


Figura 14-21: falla por corte en probeta de unión simple con adición de mortero. (Autor).

14.4 Análisis de resultados

La Tabla 14-4**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos en los ensayos de tensión y compresión para la

unión simple. El valor característico mostrado en la tabla se calculó con la Ecuación 5-1, tomada de la ISO 22156:2004 y la NSR-10 G.12.7-1.

Tabla 14-4: análisis estadístico, resultados de ensayos de compresión y tensión para unión simple. (Autor).

DATOS ESTADÍSTICOS COMPRESION	PORCIÓN MEDIA	DATOS ESTADÍSTICOS TENSION	PORCIÓN MEDIA
NÚMERO DE DATOS	12	NÚMERO DE DATOS	12
PROMEDIO	13544,08	PROMEDIO	4221,14
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N)	3350,59	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N)	363,54
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	25%	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	9%
PERCENTIL 5 (N)	7250,50	PERCENTIL 5 (N)	3830,24
VALOR CARACTERÍSTICO (N)	5852,48	VALOR CARACTERÍSTICO (N)	3573,13

Una vez realizado el análisis estadístico, se comparan los resultados finales del valor característico obtenido con la resistencia mínima necesaria que se obtuvo en el análisis de cargas. A pesar de que los valores obtenidos en este análisis se redujeron considerablemente en comparación con su promedio, este valor alcanzó a ser superior que la resistencia mínima necesaria en la estructura de las uniones (3296N). El valor característico de la comprensión fue de 5852N y de tensión, 3573N.

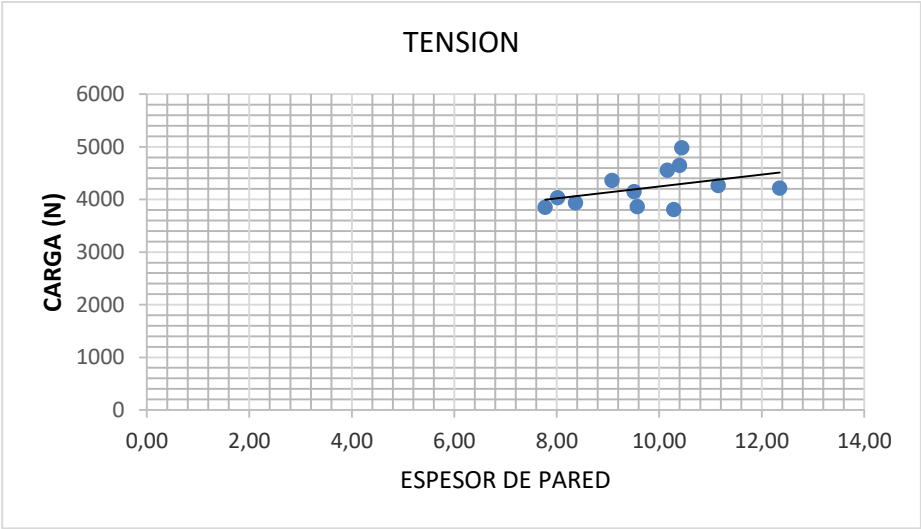
Tabla 14-5: análisis estadístico, resultados de ensayos de tensión para unión simple con mortero. (Autor).

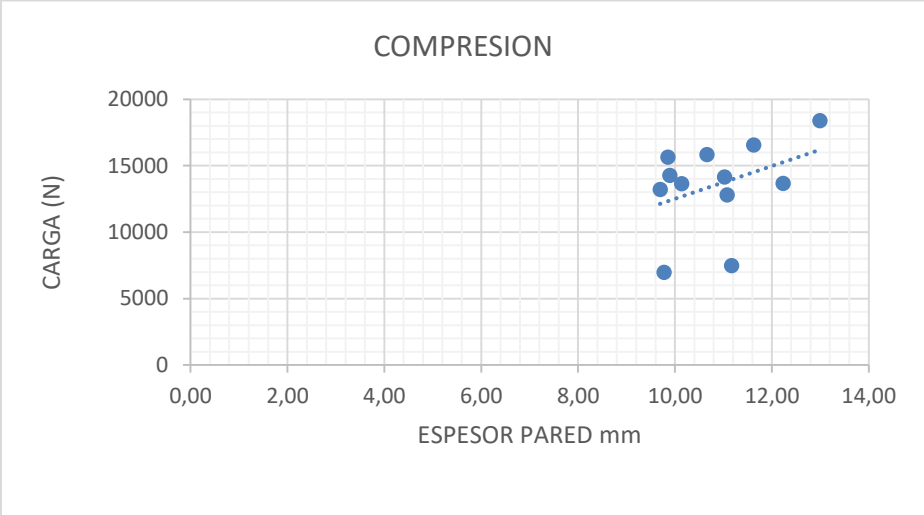
DATOS ESTADÍSTICOS	PORCIÓN MEDIA
NÚMERO DE DATOS (N)	8
PROMEDIO (N)	8956,88
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (N)	836,95
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	9%
PERCENTIL 5 (N)	8146,45
VALOR CARACTERÍSTICO (N)	7419,79

La Tabla 14-5**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos en los ensayos de tensión para la unión con mortero. Del mismo modo que los resultados anteriores, el valor característico muestra una reducción del 16% en comparación con el promedio. Sin embargo, este valor sigue siendo

superior a la resistencia mínima requerida para la estructura (3296N). En el caso de estas uniones con mortero, el valor característico fue de 7419N, 55% por encima de la necesaria.

Figura 14-22: gráfica comparativa entre espesor de la pared y carga resultante en ensayos. (Autor).





La Figura 14-22**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra un análisis comparativo entre la carga obtenida de los ensayos y el espesor de pared en el bambú. Se puede observar que, en ambos casos, la carga resultante es proporcional al espesor de la pared, es decir que a medida que el espesor de la pared aumenta, la carga obtenida es mayor.

Después de definir estos resultados en relación con los requerimientos del análisis de cargas, se decidió que la unión más adecuada para la estructura es la simple con agarre interno y rellena de mortero, teniendo en cuenta que la NSR-10 especifica que los elementos estructurales en bambú deben tener un relleno estructural para mejorar la resistencia (Titulo G-7-.2.1, NSR-10).

15. Modelo de vivienda

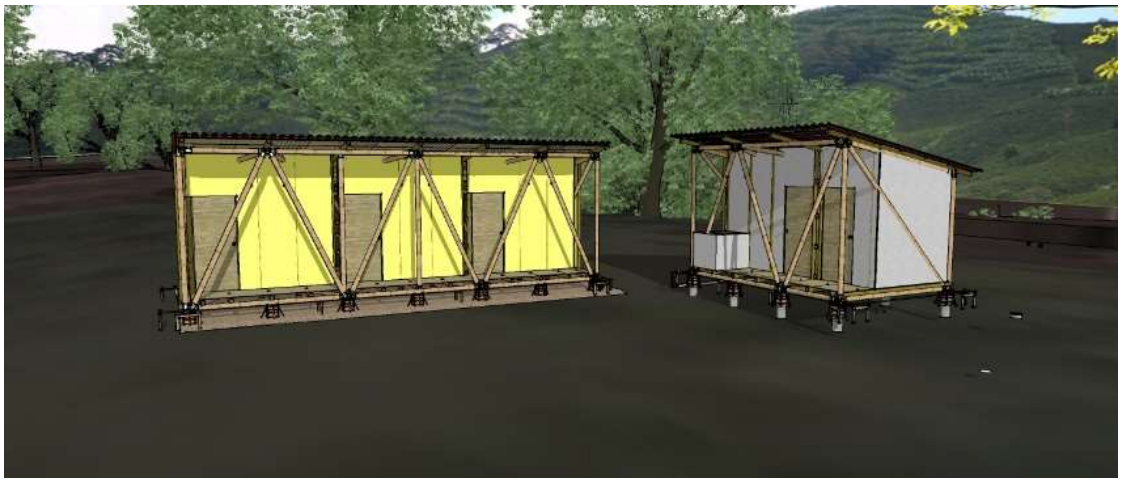
El modelo de vivienda planteado busca generar flexibilidad en el diseño arquitectónico permitiendo la configuración de diferentes prototipos de vivienda con base en una misma estructura portante. Cada prototipo se conforma como un modelo constructivo transportable, el cual puede ser ensamblado en el sitio. Este proceso se lleva a cabo con asistencia técnica en la que los habitantes aprenden a construir su propia vivienda.

La propuesta busca recuperar algunas características de la arquitectura rural, como la relación con el exterior mediante el uso de espacios de transición (corredores, patios, solares, etc.) (Gómez, 2015), las relaciones propias de la vivienda rural con espacios productivos o la separación y clara diferenciación entre los espacios servidos (estudios, salas, habitaciones) y los espacios servidores (cocina, baño) (Sánchez & Concha, 2016).

15.1 Características de diseño

La vivienda diseñada tiene un área de 55m2 está compuesta por dos módulos de uso, el módulo de espacios servidos (habitaciones, porches, depósitos, etc.) y el módulo de espacios servidores (baño, cocina, lavadero). Estos se diseñan y se construyen con base en el sistema estructural planteado previamente (Figura 15-1).

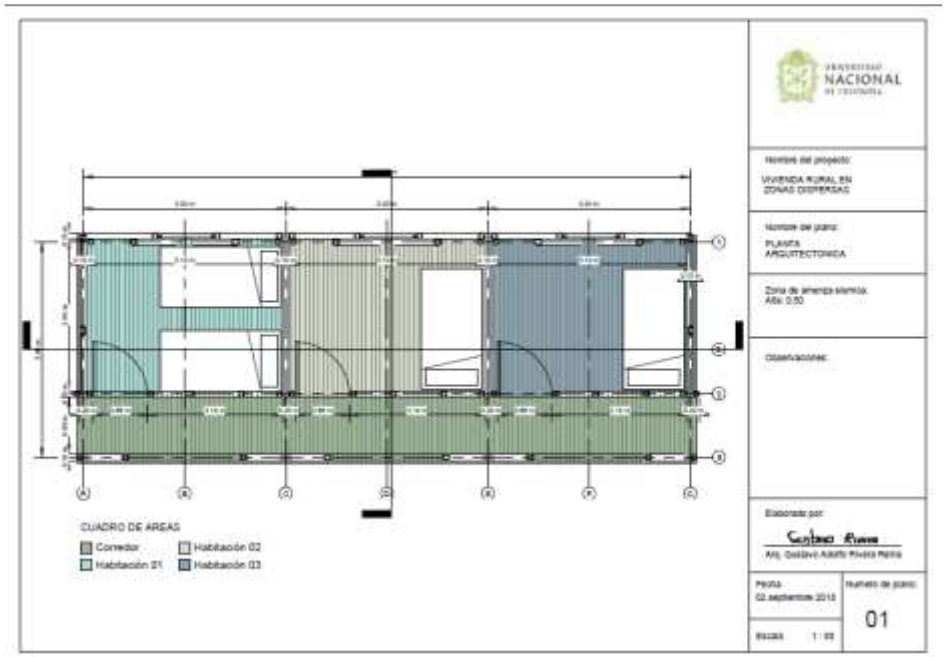
Figura 15-1: esquema general de vivienda. (Autor).



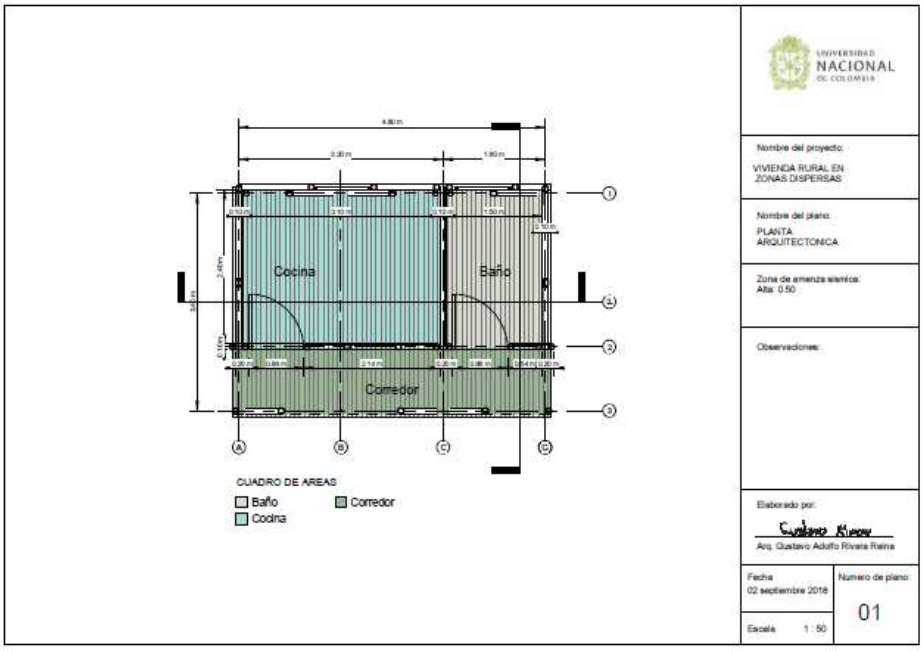
Para el modelo básico de vivienda se opta por una tipología de bloque única con corredor, ya que esta facilita la distribución con los espacios servidos, los relaciona y los vincula con el exterior. Además de servir como circulación hacia los espacios servidos, los corredores se convierten en el espacio de interacción familiar, producción, encuentro social, contemplación y esparcimiento. Esta tipología facilita una adecuada adaptación topográfica, la simplicidad de la vivienda acentúa el dominio visual del paisaje y debido a su modulación se puede zonificar fácilmente (Figura 15-2).

Con la concentración del área de servicios en el módulo donde se ubica la cocina, baño y lavadero, se optimiza el diseño y la operación de redes eléctricas, sanitarias e hidráulicas. Gracias a esta concentración, se puede optar por el uso de sistemas técnicos de recolección de agua y dispositivos de bajo consumo (Figura 15-2). Las dimensiones y características específicas de los módulos de vivienda se determinan en los planos arquitectónicos que se encuentran en los anexos.

Figura 15-2: esquema distribución vivienda rural; (a) módulo habitacional; (b) módulo de servicios. (Autor).



(a)



(b)

15.2 Tipologías organizativas

El sistema arquitectónico busca generar flexibilidad en el diseño. El modelo de vivienda brinda la posibilidad de diseñar y construir seis tipologías bajo la misma estructura portante para el módulo habitacional. Los planos arquitectónicos, técnicos, instalaciones, constructivos, etc. de cada una de las tipologías organizativas se encuentran en los anexos. A continuación, se presentan las seis posibilidades de diseño:

Figura 15-3: tipología 01, circulación lateral, tres espacios habitables. (Autor).

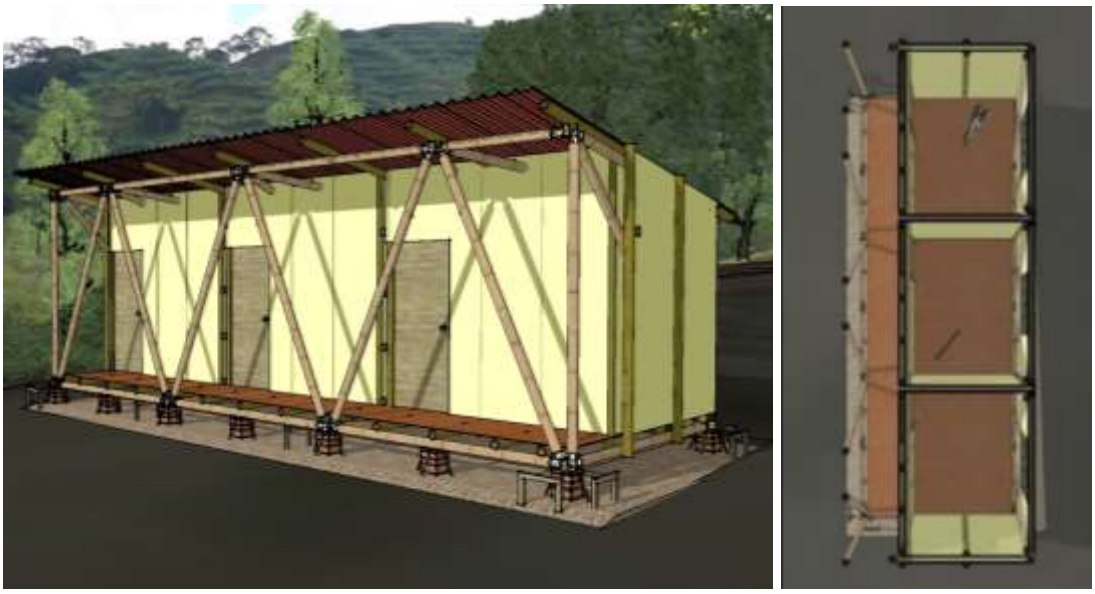


Figura 15-4: tipología 02, circulación lateral con retranqueo. (Autor).

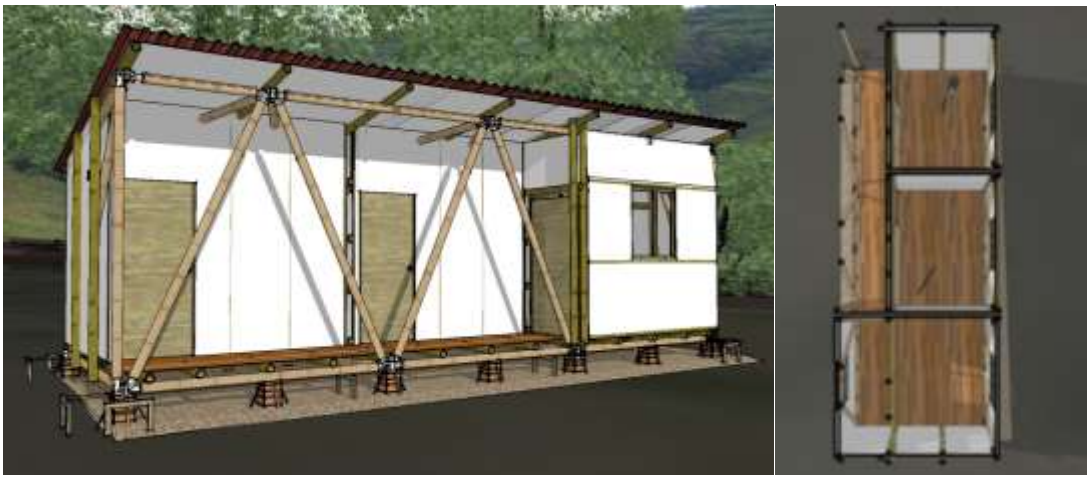


Figura 15-5: tipología 03, circulación lateral con acceso central. (Autor).

Figura 15-6: tipología 04, circulación central con espacio cubierto. (Autor).

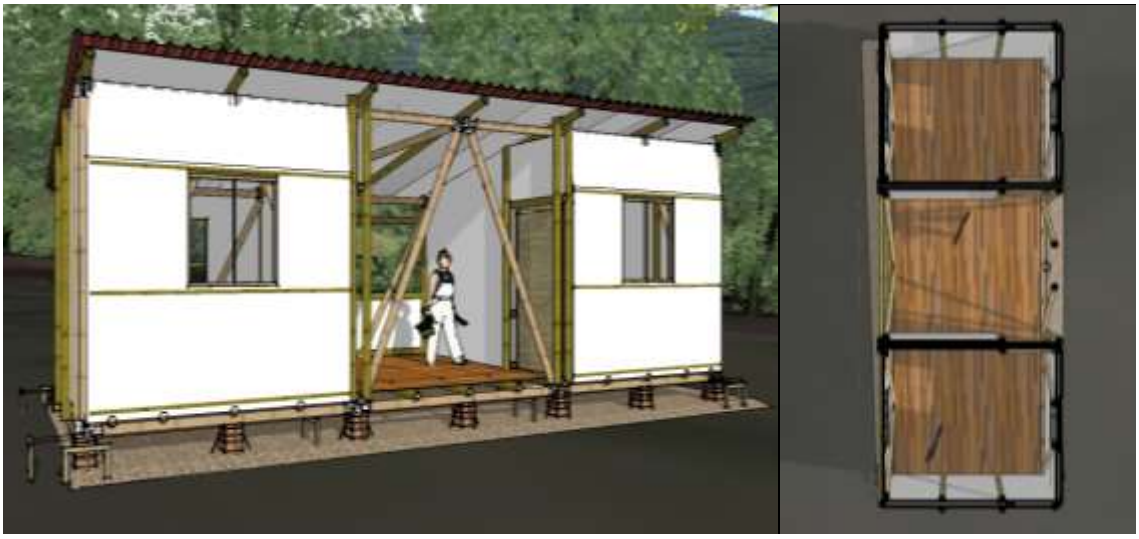


Figura 15-7: tipología 05, circulación lateral con espacio lateral abierto. (Autor).

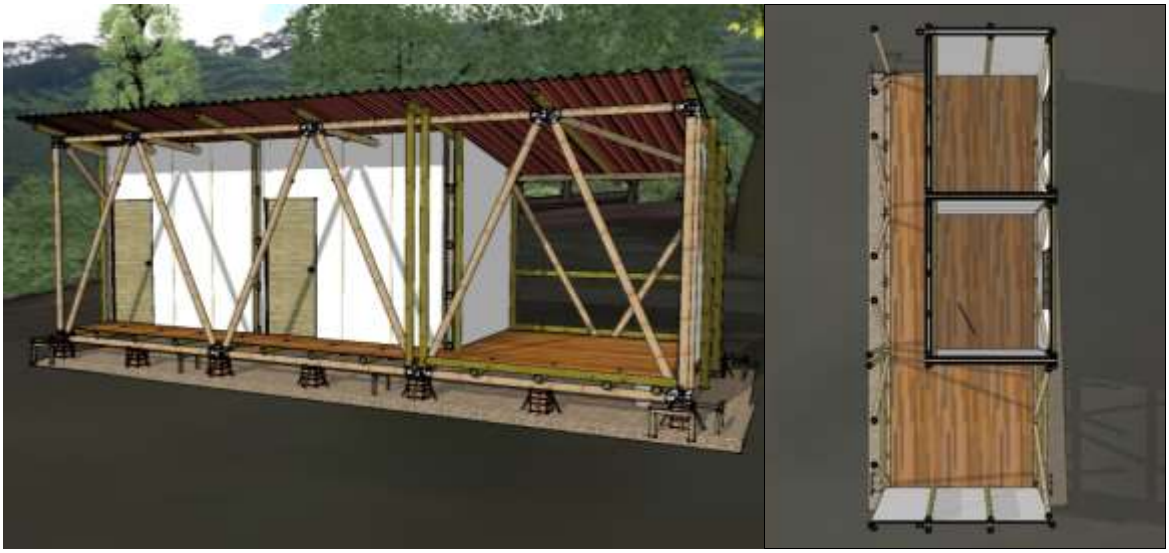


Figura 15-8: tipología 06, doble circulación. (Autor).

15.3 Vivienda productiva

Cuando se habla de vivienda productiva, ya sea para entornos urbanos o rurales, se hace referencia al aprovechamiento de los espacios existentes en una vivienda para realizar actividades económicas o de autoabastecimiento (Yarumo, 1993). En el caso de los sectores rurales, la vivienda productiva es parte esencial de la vida campesina, ya que representa un aporte al problema económico, proporcionando productos para el consumo

de alimentos. En ese sentido, se fomenta la producción y conservación, así como algunas acciones tendientes a procesar y darles valor agregado a los productos que ellos cosechan, extraen o fabrican de su entorno y se convierten en materia prima (Gómez, 2014).

Para que la vivienda sea productiva, además de poseer un espacio para la producción, debe resolver problemas que se derivan de su diario vivir, entre ellos, producir su propia energía, aprovechar los recursos naturales para su consumo como aguas residuales, energía solar, biomasa para la producción de energía, etc. (Gómez, 2014).

En el caso de la vivienda rural, los espacios productivos están relacionados con zonas donde se realizan actividades asociadas a la agricultura, producción o procesamiento de materias primas (Ruiz, 2011). En ese orden de ideas, el sistema arquitectónico se concentrará en plantear espacios polivalentes, es decir, espacios sin función definida que se puedan aprovechar de cualquier modo, sirviendo como una simple bodega o un pequeño taller (Figura 15-9).

Figura 15-9: espacios sin función que se pueden utilizar para zonas productivas. (Autor).

15.4 Crecimiento progresivo

El desarrollo progresivo de la vivienda es inherente a la función de habitar (Gelabert Abreu & González Couret, 2013). Las necesidades y expectativas de una familia varían con el transcurso del tiempo, por condiciones económicas, crecimiento familiar, estilos de vida, etc. Debido a estas necesidades, es fundamental que la vivienda tenga la posibilidad de adaptarse a las nuevas condiciones del hábitat y modificar los espacios arquitectónicos.

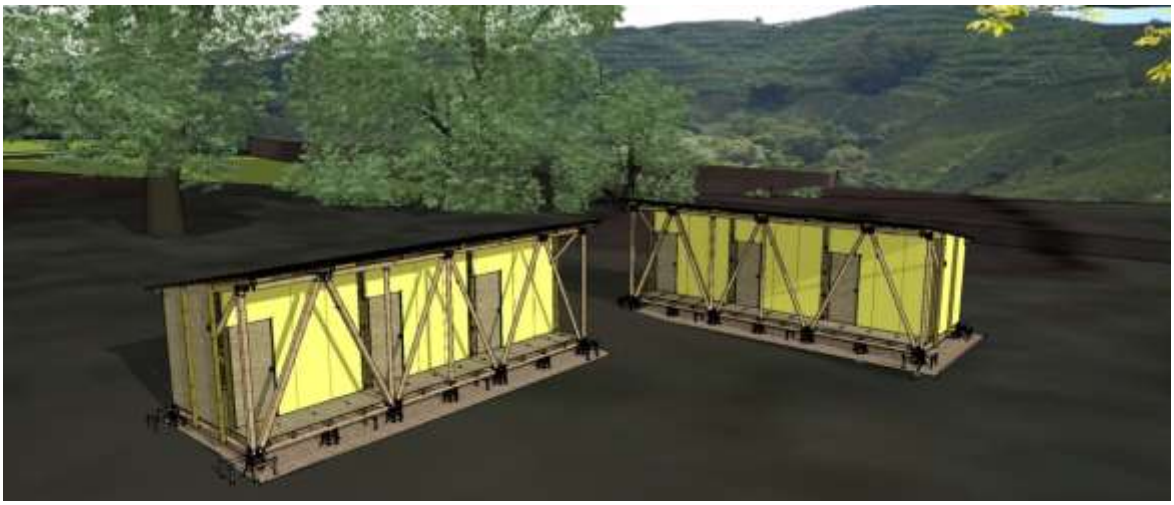
El sistema arquitectónico propuesto busca desarrollar el crecimiento progresivo de la vivienda con base en dos mecanismos de crecimiento, la adición y la multiplicación (Fonseca Martínez & Saldarriaga Roa, 1992). El mecanismo de adición consiste en agregar espacios nuevos a elementos preexistentes. En la vivienda rural se pueden adicionar módulos habitacionales a la estructura preexistente con el fin de ampliar el área construida de la vivienda dependiendo de las necesidades de los habitantes (Figura 15-10; Figura 15-11).

Figura 15-10: crecimiento progresivo mecanismo de adición. (Autor).

Figura 15-11: alternativa crecimiento progresivo por adición. (Autor).

Por su parte, el mecanismo de multiplicación consiste en la réplica de un módulo habitacional o de servicios que se construye de manera independiente y se ubica según las preferencias o necesidades del habitante (Figura 15-12).

Figura 15-12: crecimiento progresivo, mecanismo de multiplicación. (Autor).



El proceso constructivo es el conjunto de fases que se realizan de forma consecutiva en el tiempo, necesarias para materializar un proyecto de forma planificada y segura. A continuación, se explica el proceso constructivo del módulo de habitaciones en el sistema arquitectónico. El proceso constructivo del módulo de servicios en la vivienda es el mismo que el habitacional y por esta razón se omite la explicación. En este caso, el proceso constructivo de vivienda rural se traduce en las siguientes actividades:

15.4.1 Actividades preliminares

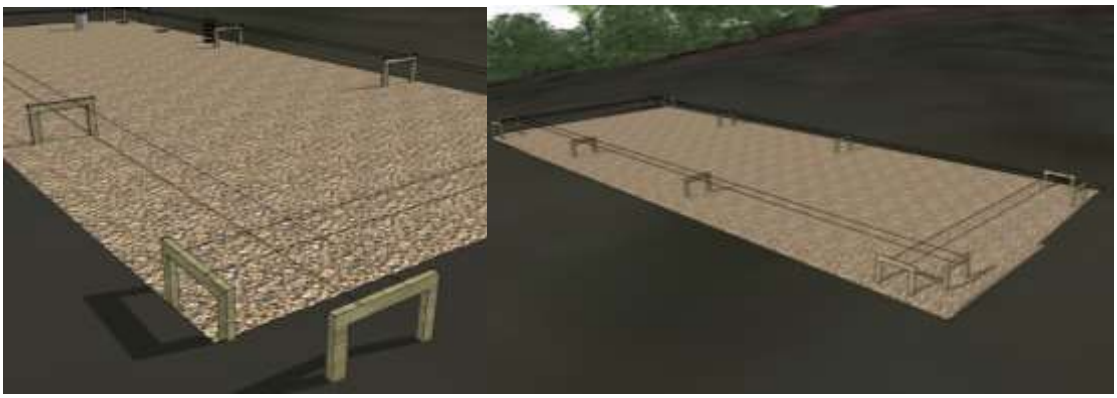
- Descapote

En esta actividad se debe adecuar el terreno, se elimina todo material orgánico (maleza, raíces, arbustos, escombros, basuras, etc.). Tiene como objeto encontrar suelo firme para empezar el proceso constructivo. Una vez retirado el material, es importante nivelar el área de trabajo utilizando un pisón. Este se golpea y se apisona en el terreno hasta volverlo firme y duro (Figura 15-13).

- Localización y replanteo

Esta actividad se realizará de acuerdo con la planimetría entregada. Tiene como objeto situar los lineamientos, ejes y divisiones que tendrá la vivienda en el terreno, mediante un estacado y con la ayuda de niveles. Esta actividad se basa en las dimensiones y referencias indicadas en los planos respectivos. Todas las actividades y operaciones que se lleven a cabo durante su ejecución deben ser registradas en los planos correspondientes (Figura 15-13).

Figura 15-13: representación de localización y replanteo de vivienda rural. (Autor).



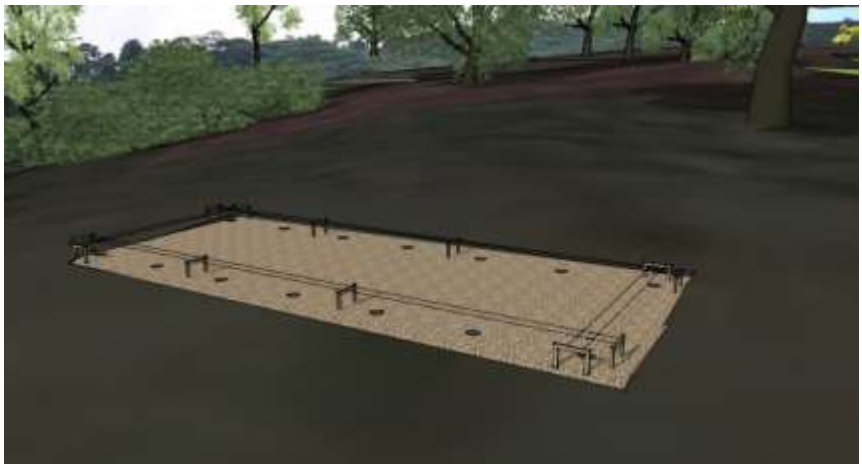
15.4.2 Excavaciones

En esta actividad se harán todas las excavaciones necesarias para la construcción del proyecto, empezando por la cimentación hasta el sistema de aguas residuales. Esta actividad se debe realizar cavando según las indicaciones de los planos y el replanteo realizado previamente. Es importante que los costados de las excavaciones queden lo más verticales posibles y el fondo de estas queden completamente niveladas, firmes y lisas. Se recomienda evitar el encharcamiento de las zanjas donde se construye la cimentación. En el caso específico del proyecto, se excavarán zanjas para realizar zapatas aisladas de cimentación y un pozo séptico para el sistema de aguas residuales (Figura 15-14).

- Instalación de recebo común

Esta actividad se realiza después de haber hecho las excavaciones que, en este caso, son zanjas para zapatas aisladas. Su objetivo es nivelar el terreno donde se va a cimentar, colocando el recebo en forma de capas y compactando de manera manual por medio de un pisón.

Figura 15-14: representación de excavación en vivienda rural. (Autor).



15.4.3 Cimentación

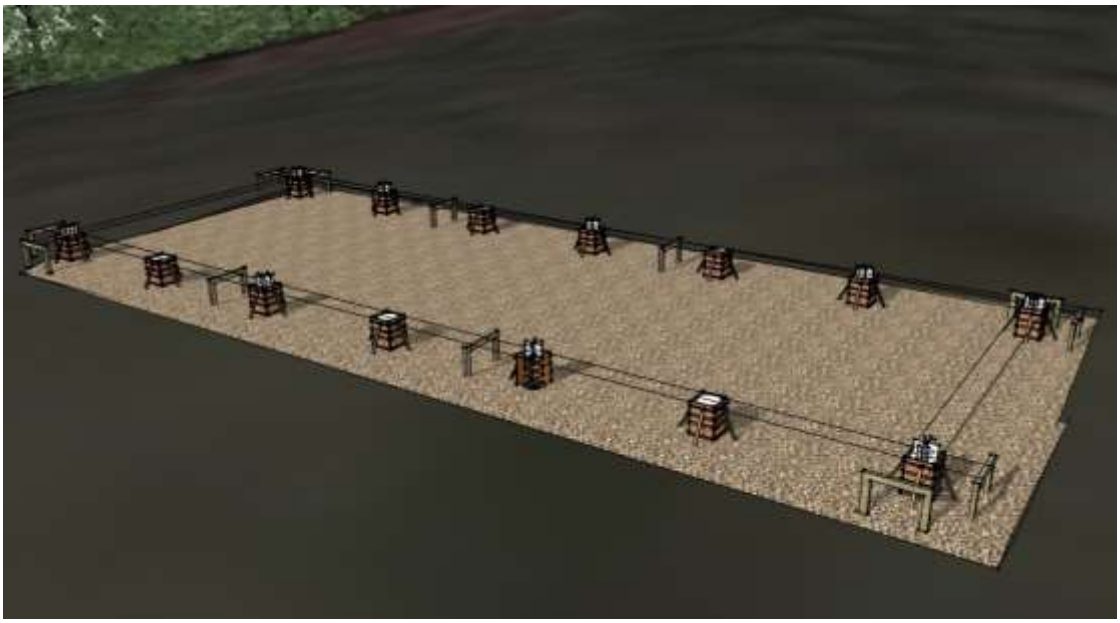
Esta actividad tiene el fin de construir el conjunto de elementos estructurales responsables de transmitir las cargas de la estructura apoyada sobre suelo firme. En este proyecto se realizarán zapatas o pedestales aislados. La construcción de las zapatas se ejecutará de acuerdo con la NSR-10. El material utilizado será concreto de 2500psi hecho en obra, que conforme bloques rectangulares o circulares de acuerdo con los niveles y dimensiones señaladas en los planos (Anexo). En lo posible, se recomienda usar formaletas de madera en la excavación para garantizar el buen terminado y calidad del concreto (Figura 15-15)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 15-15: (a) representación de armado y colocación de armadura; (b) representación fundición de pedestales; (c) representación ubicación de platina. (Autor).

(a) (b) (c)

Es importante mencionar que en la etapa de cimentación también se deben ubicar las platinas para ensamblar las uniones**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Estas bases se colocarán una vez se haya vertido la mezcla de concreto para los pedestales para cimentación (Figura 15-15).

Figura 15-16: Representación de cimentación en vivienda rural. (Autor).



15.4.4 Estructura de piso

Los pisos de una construcción son la base sobre la que se establece la estructura del proyecto. Estos deben tener la capacidad de trabajar como diafragmas rígidos para transmitir las fuerzas laterales y verticales hacia la cimentación. Por eso, es importante diseñar y construir los pisos de manera que no se presenten deformaciones o vibraciones excesivas.

El proceso constructivo consiste básicamente en un ensamble de elementos que se conectan con la cimentación previamente construida. El proceso de ensamble de toda la estructura se lleva a cabo con vigas y columnas de bambú armadas con la unión propuesta en esta investigación (Figura 15-17)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 15-17: representación unión simple con agarre interno. (Autor).

Esta actividad se realiza bajo los parámetros de la NSR-10, teniendo en cuenta las dimensiones de los elementos portantes según los planos que se encuentran en los anexos. El proceso constructivo de la estructura comienza con el ensamble de las vigas perimetrales del proyecto a las platinas de cimentación. Estas se aseguran con un pasador que en este caso es una varilla roscada de ½" (Figura 15-18)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Una vez ensamblada la estructura perimetral, se colocan las vigas internas de la vivienda, las cuales ayudarán a rigidizar la estructura de piso a modo de diafragma. Terminado el montaje de los elementos que conforman el piso, se obtendrá una estructura triangulada vinculada directamente con la cimentación (Figura 15-19)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 15-18: (a) representación montaje vigas perimetrales; (b) vigas perimetrales montadas; (c) montaje de vigas internas. (Autor).

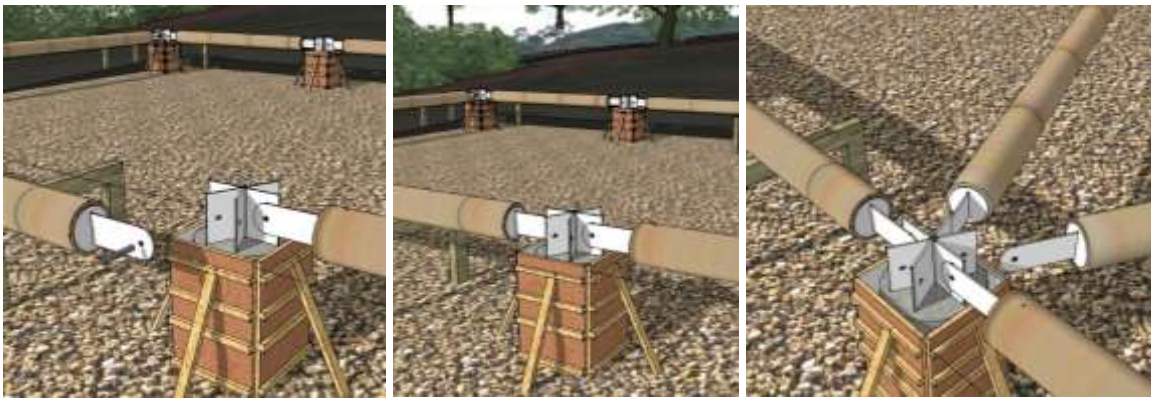
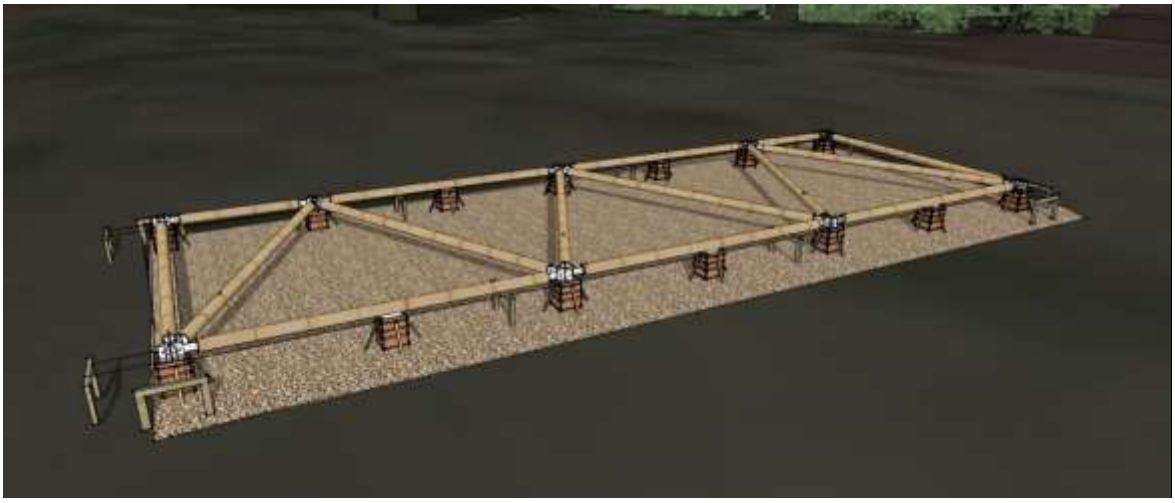


Figura 15-19: representación estructura de piso ensamblada. (Autor).



15.4.5 Estructura de pórticos

La importancia de la estructura de pórticos radica en la responsabilidad que estos deben de soportar las cargas verticales producidas por su peso propio, entrepisos o la estructura de la cubierta. Del mismo modo, deben tener la capacidad de restringir los movimientos horizontales producidos por la acción de vientos o sismos. Es importante que el diseño y construcción de estos elementos garantice que no se presenten deformaciones o vibraciones excesivas.

La actividad se realiza teniendo en cuenta las dimensiones de los elementos portantes según los planos diseñados que se encuentran en los anexos. El proceso constructivo de la estructura comienza desde el ensamble de las columnas perimetrales del proyecto con

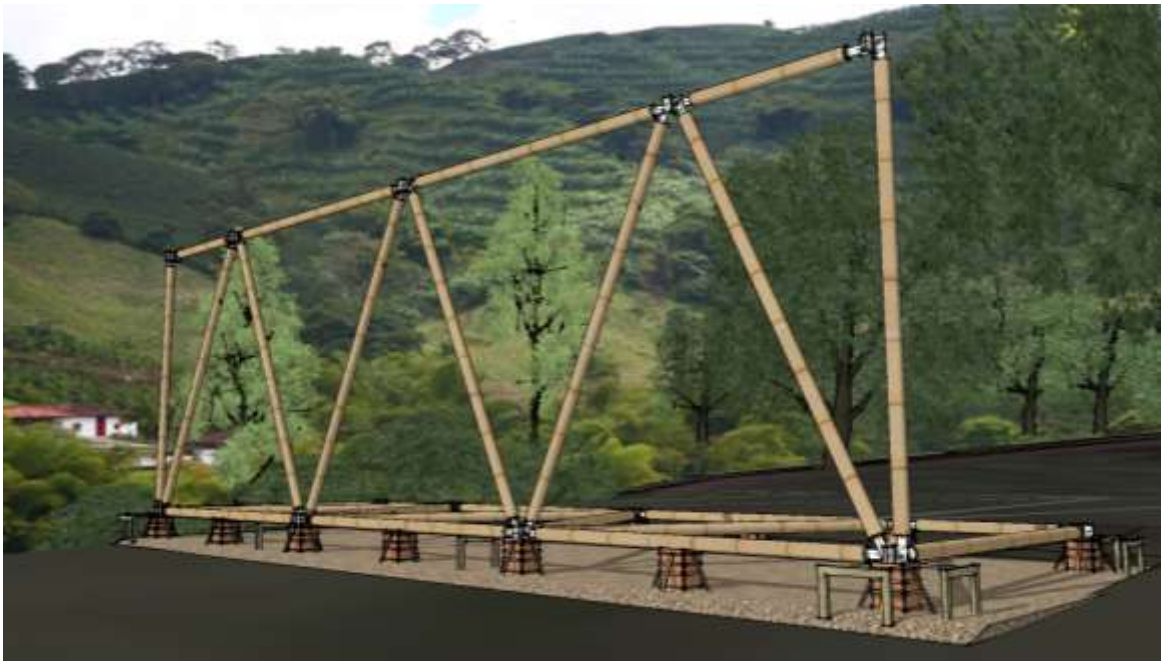
las platinas ubicadas en la cimentación. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Estas se aseguran con un pasador que es una varilla roscada de ½" (Figura 15-20).

Figura 15-20: (a) montaje de columnas en cimentación; (b) montaje de platinas aéreas; (c) montaje de viga aérea. (Autor).

(a) (b) (c)

Una vez las columnas estén aseguradas con la cimentación, se realiza el montaje de las platinas aéreas, las cuales permitirán conformar los pórticos de la estructura. Para garantizar la estabilidad y rigidez de los pórticos diseñados, se montan las vigas aéreas en la parte superior. Estas vigas definirán la altura de la vivienda (Figura 15-20)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 15-21: representación montaje de pórticos triangulados. (Autor).



El anterior proceso de montaje se ejecuta para los cuatro lados de la vivienda, de manera que se cree una estructura reticulada espacial de simple pared.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Después de construir los pórticos triangulados en cada lado de la vivienda, se rigidiza la estructura y se montan las vigas de cubierta (Figura 15-23)**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 15-22: representación montaje de pórticos triangulados diferentes lados de vivienda. (Autor).

Figura 15-23: representación montaje de vigas de cubierta. (Autor).

15.4.6 Montaje de cubierta y piso

Los elementos portantes de la cubierta deben generar un conjunto estable en la estructura para soportar cargas laterales. Al igual que en los pisos, es necesario que la estructura sea capaz de restringir movimientos horizontales producidos por vientos o sismos.

Después de ensamblar la estructura principal de la vivienda (Figura 15-23),**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se montan los elementos secundarios. En la cubierta se montan las viguetas, las cuales van a transmitir las diferentes cargas a la estructura principal y posteriormente a la cimentación.

Las viguetas se montan al ubicar los diferentes elementos que conformarán la cubierta en la parte superior de la estructura**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Estos elementos se aseguran con pasadores (varilla ½") que sujetarán las viguetas con las vigas y platinas de ensamble superior. Cuando estas se construyen en guadua, los cantos en contacto directo con otra estructura se deben rellenar de mortero de cemento fluido, como se ve en la Figura 15-24 (Asociación Colombiana De Ingenieria Sismica, 2002).

Figura 15-24: (a) representación montaje de vigueta encima de platina superior; (b) montaje de vigueta encima de viga superior; (c) relleno de mortero en entrenudos de cubierta. (Autor).

(a) (b) (c)

Luego de ensamblar las viguetas, se instalan las correas horizontales. Estas servirán de base para apoyar y asegurar las tejas de cubierta y rigidizarán la parte superior de la estructura a modo de diafragma. Las correas se colocan de manera secuencial de arriba hacia abajo y se aseguran mediante amarras. Una vez montadas las correas de la cubierta, se realizan el montaje y la sujeción de las tejas, en este caso, termoacústicas por cuestiones de confort. Las tejas se aseguran con amarras que se sujetarán a las viguetas o las correas (Figura 15-25).

Figura 15-25: (a) montaje de correas en vivienda; (b) montaje de teja termo acústica para vivienda. (Autor).

(a) (b)

Para el armado del piso en la vivienda, se realiza el montaje de viguetas que serán la base portante del tramo propuesto, el cual será, en este caso, machimbre de bajo tránsito. La actividad se ejecuta ubicando los diferentes elementos que conformarán el piso en la parte inferior de la estructura (Figura 15-26). Estos se aseguran por medio de pasadores (varilla

½”) que sujetarán las viguetas con las vigas y platinas de ensamble inferior. Cuando estas se construyen en guadua, los cantos en contacto directo con otra estructura se deben rellenar de mortero de cemento fluido (Asociación Colombiana De Ingenieria Sismica, 2002).

Figura 15-26: (a) representación montaje de vigueta encima de platina de cimentación; (b) montaje de vigueta encima de viga de cimentación; (c) relleno de mortero en entrenudos de piso. (Autor).

(a) (b) (c)

15.4.7 Estructura de muros

La importancia que la estructura de muros tiene para la vivienda rural radica en que estos elementos servirán de guía para definir los espacios destinados a diversas actividades, de acuerdo con el modelo de vivienda que se esté construyendo; en este caso, el modelo de vivienda escogido fue el 01.

Primero, se ubican las columnas en las zonas que definirán los diferentes espacios de la vivienda. Estos se aseguran por medio de pasadores (varilla ½”) que sujetarán las viguetas o vigas de la estructura principal (Figura 15-27). El proceso de construcción en los muros continúa con el montaje de las vigas de confinamiento, que se ubicarán en las partes perimetrales de la vivienda y servirán como estructura portante puntos de referencia para ventanas y puertas. Del mismo modo, estas vigas se ubicarán en el interior de la vivienda a fin de dividir los diferentes espacios diseñados (Figura 15-28).

Figura 15-27: representación montaje de columnas para construcción de muros con vigueta de cubierta. (Autor).

Figura 15-28: montaje de vigas de confinamiento para construcción de muros. (Autor).

15.4.8 Instalaciones

Toda vivienda inicia su instalación eléctrica con el medidor que recibe electricidad de la red pública, usualmente ubicado en un muro de la fachada. Este se conecta al tablero general, que debe estar en una zona segura al interior de la vivienda y desde donde saldrán los circuitos (tuberías y cables) que reparten hacia los puntos de luz y los tomacorrientes. Las instalaciones pasan por las paredes y los cielos rasos, dentro de los cuales se empotran las respectivas cajas de pase y cajas de salida de los puntos de luz y tomacorrientes.

Toda vivienda inicia su instalación sanitaria en el medidor, usualmente ubicado en la vereda junto a la vivienda. El medidor recibe el agua de la red pública y se conecta a los puntos de salida de agua (lavadero, inodoro, ducha, etc.). Cuando la presión de la red pública es insuficiente, se construye una cisterna bajo el suelo cuya agua es impulsada a un tanque elevado que abastece el sistema de alimentación de la edificación.

15.4.9 Carpintería

Esta actividad hace referencia al suministro e instalación de puertas y ventanas en madera ubicadas en las alcobas y el baño, incluyendo el marco y la cerradura.

Figura 15-29: instalación de puertas y ventanas. (Autor).

15.4.10 Cerramiento de muros

El cerramiento de muros se hará bajo el sistema de muro tendinoso. El muro tendinoso se basa entonces en elementos verticales y horizontales que conforman un marco rígido construido con parales de guadua o madera (también metálicos), los cuales se articulan a elementos planos formados por alambres de púas tensados entre los elementos sobre los que se amarran los sacos tejidos de fique con alambre de atar (alambre negro). Todo esto, para luego aplicar un mortero que permitirá la unión entre el alambre de púas, el costal y el mortero y constituirá un elemento monolítico que se comportará como un muro confinado.

15.4.11 Acabado y mantenimiento

La durabilidad del bambú en una estructura depende básicamente de los acabados y el mantenimiento que se realice periódicamente. Por esta razón, es fundamental hacer algunas recomendaciones para que la estructura de la vivienda conserve su integridad la mayor cantidad de tiempo.

- Una vez construida la vivienda, es importante sellar las cavidades en los extremos del culmo. Esto se realiza con el fin de evitar posibles acumulamientos de agua que podrían causar la pudrición del bambú y su estructura.
- Si las piezas interiores de la vivienda no se recubren con otro acabado, estas deben ser tratadas con barnices o selladores para mejorar su durabilidad.
- Los sobrantes de pernos o varillas usadas para el montaje de estructuras que sobresalgan de las tuercas deberán ser cortadas y tratados con anticorrosivo para evitar la pudrición u oxidación en la estructura.
- Los elementos de la estructura que estén expuestos a la intemperie deberán ser tratados con pinturas que sirvan de protección ante los rayos del sol, efectos de la lluvia o insectos que podrían atacar el material.
- Después de la construcción, se deben ajustar los elementos ensamblados con pasadores, pernos o varillas, ya que durante el proceso constructivo las vibraciones, contracciones del bambú u otras pueden desajustar la estructura.

- Si las uniones de la estructura se encuentran oxidadas, es recomendable sustituirlas, pues estos elementos se pueden convertir en un punto crítico de resistencia en un eventual sismo.
- El mantenimiento y la revisión periódica son las principales recomendaciones para evitar daños considerables en la estructura y acabados de la vivienda, de modo que se tomen medidas correctivas de bajo impacto.

15.5 Cronograma de tiempos

El cronograma de tiempos se muestra en la Figura 15-30.

Figura 15-30: cronograma de tiempos. (Autor).

PROCESO CONSTRUCTIVO	DÍA																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Actividades preliminares																				
Excavaciones																				
Cimentación																				
Estructura de piso																				
Estructura de pórticos																				
Montaje de cubierta y piso																				
Estructura de muros																				
Instalaciones																				
Carpintería																				
Cerramiento de muros																				
Acabado y mantenimiento																				

15.6 Presupuesto

El presupuesto planteado se encuentra en los anexos. El valor de la vivienda alcanzó los 39.449.685.77$COP. De acuerdo con lo planteado en este trabajo de investigación, el presupuesto se acomoda a los costos de una vivienda rural establecidos por el Ministerio de Agricultura bajo el subsidio de Vivienda de Interés Social Rural (VISR), que es de hasta 60 SMMLV.

ANEXO 3

FORMATO PRESUPUESTO DE OBRA

Tipo	Item	DESCRIPCIÓN	UN	Vr. Unitario	Cant	Vr Total	OBSERVACIONES
	1.	**PRELIMINARES**				**$ 464.604,01**	
	1,1	Campamento de obra	un	$ 1.094.500,00	0,0556	$ 60.805,56	Agrupación de 18 casas por campamento
	1,2	Descapote manual	m2	$ 3.085,00	55,00	$ 169.675,00	
	1,3	Localizacion y replanteo	m2	$ 4.256,79	55,00	$ 234.123,45	
	2.	**CIMENTACION**				**$ 1.019.481,69**	
	2,1	Nivelacion mecanica de terreno	m3	$ 29.730,00	18,9	$ 561.897,00	
	2,2	Nivelacion manual de terreno	m3	$ 44.211,08	10,35	$ 457.584,69	
	2,3	Concreto zapatas y pedestales 3000 PSI	m3	$ 715.472,49		$ -	
	3.	**ESTRUCTURA MADERA**				**$ 9.436.402,34**	
	3,1	Columnas bambusa vulgariso radiata 4.1 x 18.5 cm	m	$ 191.649,19	**25**	**$ 4.791.229,84**	Incluye elementos de union
	3,2	Vigas enbanvbusa vulgaris 4.1x 18.5 cm	m	$ 96.302,45	**25**	**$ 2.407.561,25**	Incluye elementos de union
	3,3	Viguetas bambusa vulgaris 4.1 x 13.8 cm	m	$ 89.504,45	25,00	**$ 2.237.611,25**	Incluye elementos de union
	3,4						Incluye elementos de union
	4.	**PISOS Y ACABADOS**				**$ 2.700.151,80**	
	4,1	Enchape pisos baños y lavadero	m2	$ 55.941,00	3,8	$ 212.575,80	Incluye adhesivo
	4,2	Piso en madera pino radiata machimbreado	m2	$ 57.120,00	43,55	$ 2.487.576,00	
	5.	**INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS**				**$ 2.334.088,10**	
	5,1	Tuberia sanitaria 4"	m	$ 41.795,55	**20**	$ 835.911,08	
	5,2	Tuberia PVC presion 1/2"	m	$ 20.527,21	**20**	$ 410.544,29	
	5,3	Punto hidraulico sanitario 2"	un	$ 82.329,01	3	$ 246.987,02	
	5,4	Punto hidraulico sanitaro 4"	un	$ 102.776,19	1	$ 102.776,19	
	5,5	Punto hidraulico ducha	un	$ 44.728,26	1	$ 44.728,26	
	5,6	Punto hidraulico	un	$ 44.728,26	5	$ 223.641,28	
	5,7	Sistema recoleccion agua grises tanque	un	$ 365.000,00	1,00	$ 365.000,00	
	5,8	Sistema de bombeo aguas grises	un	$ 104.500,00	1,00	$ 104.500,00	
	7.	**INSTALACIONES ELECTRICAS**				**$ 8.560.000,00**	
	7,1	Sistema electrico	GLB	$ 8.560.000,00	1,00	$ 8.560.000,00	Tuberia cableado y aparatos
	7,2						
	8.	**APARATOS SANITARIOS**				**$ 552.790,00**	
	8,1	Sanitario de doble descarga + lavamanos	un	$ 318.790,00	1,00	$ 318.790,00	
	8,3	lavadero granito+ griferia	un	$ 234.000,00	1,00	$ 234.000,00	
	9.	**CUBIERTA**				**$ 4.945.789,58**	
	9,1	Cubierta panel OSB+ tela asfaltica + teja fiorentino	m2	$ 88.953,05	55,60	$ 4.945.789,58	
	10.	**ACABADOS MUROS**				**$ 4.102.680,00**	
	10,1	sistema muro tendinoso	m2	$ 32.350,00	**100**	$ 3.235.000,00	Incluye elementos de fijación
	10,2	Pintura vinilo muros tipo coraza , dos manos	m2	$ 7.446,00		$ -	
	10,3	Enchape paredes baños	m2	$ 61.653,00		$ -	Incluye adhesivo
	10,4	Ventanas marco en madera	m2	$ 59.160,00		$ -	
	10,5	Puerta tamboreada marco en madera tamboreada	un	$ 132.600,00	5	$ 663.000,00	
	10,6	Puerta fachada pivote	m2	$ 204.680,00	1	$ 204.680,00	
	10,7	Cañabrava para fachadas	m2	$ 64.800,00		$ -	Inmunizada
	11.	**GENERALIDADES**				**$ 489.000,00**	
	11,1	Mesón cocina aluminio + lavaplatos + griferia	un	$ 489.000,00	**1**	$ 489.000,00	
	11,2						

TOTAL COSTO DIRECTO (CD)		$ 34.604.988
ADMINISTRACIÓN	**8,00%**	$ 2.768.399
IMPREVISTOS	**2,00%**	$ 692.100
UTILIDAD	**4,00%**	$ 1.384.200
TOTAL COSTO INDIRECTOS (CI)		$ 4.844.698
TOTAL COSTO DE LA OBRA (CD+CI)		$ 39.449.685,77

NOTAS:

1. Presupuesto valido para las unidades propuestas, tanto viviendas medianeras y viviendas esquineras.
2. Madera pino radiata madera seca dimensionada CH 12%

16. Conclusiones y recomendaciones

16.1 Conclusiones

Se pudo establecer que la *Bambusa vulgaris*, en comparación con la *Guadua angustifolia kunth*, tiene un mayor porcentaje de contenido de humedad registrado en cuatro de los cinco ensayos realizados los valores más altos. El contenido de humedad resultante promedio para el municipio de Viotá está entre el 54% y el 152%. Al igual que en las investigaciones realizadas con la especie *Guadua angustifolia kunth* (Ardilla, 2013; Garzon, 2016; Narváez, 2016), la prueba de flexión presentó una tendencia del contenido de humedad con el valor mínimo de 54%.

Se logró comprobar que la densidad básica de la *Bambusa vulgaris* no presenta cambios considerables a lo largo del culmo, con una densidad promedio de 467.57kg/m3, que es la menor densidad registrada en comparación con investigaciones realizadas con *Guadua angustifolia kunth*. Esto quiere decir que la *Bambusa vulgaris* es menos densa que la *Guadua angustifolia kunth*.

Al comparar los resultados de esfuerzo último (*σult*) obtenidos en investigaciones anteriores (Ardilla, 2013; Garzón, 2016; Narváez, 2016), la *Bambusa vulgaris* del municipio de Viotá se destaca en los ensayos de flexión, compresión perpendicular, compresión paralela, tensión paralela; en el caso de flexión, compresión paralela y tensión paralela se encuentran en segundo lugar y compresión perpendicular se ubica en primer lugar.

Los módulos de elasticidad registrados en la presente investigación superan de manera considerable al valor promedio admitido por la norma sismoresitente NSR-10, que es de 9500MPa.

Se pudo observar que los valores promedio de los esfuerzos admisibles de tensión, corte paralelo, compresión paralela y compresión perpendicular, calculados con la ecuación de la NSR-10, no superan el valor establecido en la misma. No obstante, el valor de flexión paralela supera los parámetros de la norma por 0.3MPa.

El esfuerzo admisible a tensión paralela para Viotá (5.41MPa), cuyo valor es bastante menor que el exigido en la norma (18MPa), es una tendencia que se repite en los demás

departamentos en los que se realizó la investigación con *Guadua angustifolia kunth* (Ardilla, 2013; Garzón, 2016; Narváez, 2016).

El diseño de las uniones mecánicas que mejor se comportaron ante esfuerzos de tensión y compresión fueron las que tuvieron agarre interno y cumplieron con los requerimientos de resistencia que exigía el análisis de cargas.

En comparación con la resistencia obtenida en la caracterización físico-mecánica, la resistencia del elemento estructural (*Bambusa vulgaris*) ensayado con la unión mecánica propuesta presentó una reducción considerable, debido a que las probetas de las uniones mecánicas fueron más esbeltas y el mecanismo de falla ocurrió por flexo-compresión.

La unión propuesta de agarre interno fue la única que cumplió con los requerimientos de carga planteados en el análisis estructural, los cuales fueron soportar 3296N a compresión y a tracción.

El valor de la vivienda estuvo dentro del presupuesto estipulado por el Ministerio de Agricultura, quien plantea que el costo de una vivienda rural nueva bajo el programa de Vivienda de Interés Social Rural (VISR) debe ser de 60 SMLMV.

Finalmente, el diseño de la vivienda cumplió con los criterios de flexibilidad y resistencia planteados en esta investigación.

16.2 Recomendaciones

Es importante replantear algunos procedimientos de los ensayos para la NTC 5525, *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la* Guadua angustifolia kunth, como, por ejemplo, el diseño de las probetas de tensión paralela a las fibras, ya que como está actualmente, el ensayo es el más difícil de ejecutar desde la fabricación de las probetas hasta el momento de ejecución del ensayo. El mayor problema ocurre en el ajuste de las mordazas con la probeta, pues provoca deslizamientos que afectan el ensayo de manera negativa.

Se debe ampliar el trabajo de investigación de las propiedades físicas y mecánicas de la *Bambusa vulgaris* para los demás departamentos de Colombia, donde se pueda contar con datos de esfuerzos admisibles, módulos de elasticidad, humedad de equilibrio, espesores, diámetros, entre otros. De esta manera, se podrá tener un mapa completo de las características de este recurso natural y adquirir un mayor conocimiento de la especie a fin de que el material tenga mayor confiabilidad para la construcción de estructuras y se pueda implementar en normativas de construcción nacional.

Se recomienda desarrollar más estudios acerca del comportamiento estructural de los elementos sometidos a diferentes esfuerzos para la *Bambusa vulgaris,* en este caso, empleados en uniones mecánicas rellenas con mortero. A su vez, se recomienda generar más investigaciones en diferentes temas que puedan mejorar las propiedades de la *Bambusa vulgaris*, tales como laminados, conexiones, rellenos, híbridos, etc.

Aplicando los conocimientos adquiridos en esta investigación y direccionándolos al diseño y construcción de una vivienda rural, además de la realización de la pequeña cartilla de construcción, se podrían mejorar notablemente las condiciones de vida del campesino colombiano. Asimismo, sería necesario incluir a otros profesionales que desarrollen el diseño bioclimático de la vivienda, el diseño de equipos de producción en energías limpias y sistemas de aprovechamiento de recursos para el sostenimiento de la vivienda de manera autónoma y que generen un mejor valor arquitectónico a la construcción.

Existen condiciones que no se han contemplado en este trabajo de investigación por delimitación y alcance, pero estas son necesarias para ahondar en el diseño de una

vivienda con un material completamente nuevo; estas condiciones son el tipo de conexiones que no han sido estudiadas a profundidad, el tipo de suelo donde se construye, los elementos estructurales de refuerzo construidos con otros materiales, entre otros.

Anexo A. Datos consignados durante el ensayo de compresión paralela a las fibras

PROBETA	Diametro D(mm)	Espesor t(mm)	Fult(N)	Area(mm)	Temperatura	Humedad R.	σc (Mpa)
VC01M	97,94	9,08	77266,66	2534,16	18,00	0,64	30,49
VC02M	102,43	8,08	72333,33	2395,66	18,00	0,64	30,19
VC03M	86,73	10,29	73666,66	2470,39	18,00	0,63	29,82
VC04M	87,15	8,02	54766,66	1993,73	18,00	0,62	27,47
VC05M	95,98	6,27	38213,33	1767,65	19,00	0,61	21,62
VC06M	98,14	6,91	39973,33	1979,69	20,00	0,48	20,19
VC07M	100,56	12,87	111266,66	3544,92	20,00	0,48	31,39
VC08M	104,98	11,15	79433,33	3286,75	19,00	0,51	24,17
VC09M	86,02	6,52	39693,33	1628,99	19,00	0,50	24,37
VC010M	90,53	9,51	84800,00	2420,45	19,00	0,52	35,03
VC011M	86,23	12,35	78433,33	2866,45	19,00	0,50	27,36
VC012M	96,81	9,57	77700,00	2622,72	19,00	0,50	29,63
VC013M	98,50	14,49	118733,33	3822,96	19,00	0,54	31,06
VC014M	94,85	11,17	76700,00	2935,72	19,00	0,54	26,13
VC015M	101,40	16,03	114266,66	4298,12	18,00	0,50	26,59
VC016M	92,08	15,03	91266,66	3637,18	18,00	0,50	25,09
VC017M	87,51	10,14	64866,66	2464,68	18,00	0,51	26,32
VC018M	91,91	10,66	81033,33	2720,84	19,00	0,51	29,78
VC19I	89,66	9,86	47033,33	2470,79	19,00	0,51	19,04
VC20I	89,49	8,65	42880,00	2195,67	19,00	0,52	19,53
VC21I	88,80	11,08	68033,33	2704,30	18,00	0,53	25,16
VC22I	80,74	9,69	68466,66	2163,39	18,00	0,55	31,65
VC23I	89,27	9,89	46600,00	2466,91	18,00	0,53	18,89
VC24I	86,62	11,63	76933,33	2739,39	17,00	0,58	28,08
VC25I	82,61	9,41	63233,33	2164,47	17,00	0,58	29,21
VC26I	84,21	9,58	69666,66	2244,93	17,00	0,56	31,03
VC27I	80,43	9,68	71233,33	2152,03	18,00	0,53	33,10
VC28I	91,43	11,04	85633,33	2788,55	18,00	0,63	30,71
VC29I	106,61	11,49	59000,00	3432,22	18,00	0,64	17,19
VC30I	103,40	11,00	49666,66	3191,84	18,00	0,62	15,56
VC32I	98,87	7,02	51266,66	2024,99	19,00	0,61	25,32
VC32I	87,42	13,60	83500,00	3154,48	18,00	0,51	26,47
VC33I	80,70	9,81	46600,00	2184,28	18,00	0,53	21,33
VC34I	78,21	11,43	66100,00	2397,35	19,00	0,52	27,57
VC35I	102,84	12,15	114466,66	3461,05	20,00	0,49	33,07
VC36I	102,95	16,07	168533,33	4385,92	20,00	0,47	38,43

Anexo B: Datos consignados durante el ensayo de corte paralelo a las fibras

PROBETA	L(mm)	T (mm)	DE(mm)	%CH	F Ult (N)	**σuv (Mpa)**	Temperatura	Humedad R.
VV01I	91,43	11,54	88,61	122,99	13900,00	3,58	20	58%
VV02I	87,32	7,02	86,11	224,16	23506,00	9,21	19	61%
VV03I	96,54	13,46	95,12	221,88	12386,00	2,39	19	67%
VV04I	86,98	12,88	86,29	116,31	15506,00	3,64	20	68%
VV05I	100,77	12,45	100,04	114,54	16866,00	3,17	20	70%
VV06I	98,21	18,43	97,23	138,75	10253,00	1,44	20	68%
VV07I	96,04	12,34	96,12	120,39	15560,00	3,32	20	68%
VV08I	80,55	9,83	83,34	174,71	15906,00	5,34	20	68%
VV09M	87,43	12,65	84,32	124,82	20460,00	4,95	20	67%
VV10M	92,76	9,98	85,54	88,19	16886,00	4,89	20	67%
VV11M	101,76	10,75	99,67	325,00	30333,00	6,99	20	66%
VV12M	90,65	8,32	87,56	14,66	21853,00	6,79	20	65%
VV13M	89,65	12,54	85,61	125,06	16833,00	4,22	20	66%
VV14M	92,10	7,98	89,54	85,99	7943,00	2,69	20	65%
VV15M	80,65	8,33	78,09	146,43	10296,00	3,89	20	66%
VV16M	101,54	9,53	102,65	132,92	14460,00	3,61	20	66%
VVN01M	89,65	8,43	85,34	148,45	17520,00	5,54	19	65%
VVN02M	84,21	9,32	83,76	139,28	14366,00	4,46	19	65%
VVN03M	78,98	11,83	76,45	66,34	19533,00	5,42	20	65%
VVN04M	91,32	12,42	90,76	19,80	26920,00	6,23	19	66%
VVN05M	102,53	9,87	102,65	316,39	12726,00	3,14	19	66%
VVN06M	111,65	9,78	107,43	246,29	38280,00	8,83	19	67%
VVN07M	102,65	10,54	101,45	16,01	24733,00	5,73	19	67%
VVN08M	86,43	9,01	86,76	253,30	7683,00	2,58	19	65%
VVN09I	79,99	7,98	78,34	55,82	16200,00	6,43	19	64%
VVN10I	102,56	11,09	96,16	147,17	19000,00	4,29	19	64%
VVN11I	99,07	10,45	97,22	114,02	14666,00	3,64	19	64%
VVN12I	103,43	10,98	98,65	199,75	25946,00	5,74	19	64%
VVN13I	90,65	9,43	83,11	82,24	10593,00	3,18	19	63%
VVN14I	100,54	9,86	94,54	79,77	15806,00	3,95	19	63%
VVN15I	97,43	9,33	88,59	134,70	15810,00	4,02	19	63%
VVN16I	98,54	12,33	96,56	100,81	8686,00	1,87	19	63%
VVN08I	92,43	11,67	96,34	100,81	8686,00	3,28	19	63%

Anexo C: Datos consignados durante el ensayo de flexión

PROBETA	Diametro D	Espesor t	L (mm)	F (N)	Temperatura (°C)	Humedad R.	%CH	IB
VF01M	89,71	13,35	2810	6336,67	18	69%	52,80	2405182,08
VF02M	86,08	8,20	2790	8203,33	18	69%	58,56	1538088,03
VF03M	96,07	14,25	3120	6666,67	18	69%	50,31	3157718,52
VF04M	90,50	8,30	2640	9974,67	18	68%	54,55	1828571,09
VF05M	95,86	13,45	3300	7293,33	20	60%	53,19	3034428,66
VF06M	91,13	19,06	3060	6703,33	20	59%	48,08	2997972,76
VF07M	98,15	11,81	3050	7293,33	20	60%	54,53	3041006,12
VF09M	77,94	9,09	2430	4583,33	20	61%	56,98	1185041,86
VF10M	86,27	11,10	2600	6013,33	19	61%	51,53	1891726,66
VF13M	88,21	8,24	2780	4713,33	19	61%	57,67	1671887,90
VF14M	106,21	9,48	3340	8153,33	19	63%	63,27	3400516,48
VF16M	87,70	7,78	2690	3850,67	19	67%	52,80	1573875,15

Anexo D: Datos consignados durante el ensayo de tensión paralela a las fibras

PROBETA	sección 2	F (n)	Area	Última	Temperatura	Humedad R.	%CH
VT1	7,01	1047,733301	104,16	100,55	18	70%	109,93
VT2	5,37	2685,33	74,18	36,20	18	69%	101,93
VT3	5,75	4354,67	71,24	61,13	19	66%	105,16
VT4	5,99	5190,00	64,12	80,94	18	69%	112,99
VT5	5,94	4953,33	54,47	90,94	18	70%	124,04
VT6	6,08	5286,67	76,42	69,18	18	70%	76,96
VT7	5,45	7620,00	66,65	114,34	18	70%	111,62
VT8	4,94	3158,67	58,99	53,54	16	76%	116,24
VT9	5,73	3993,33	61,15	65,31	17	72%	145,57
VT10	4,79	3138,67	58,29	53,85	17	72%	104,55
VT11	3,97	1951,33	45,30	43,08	17	71%	102,20
VT12	5,25	7933,33	74,16	106,98	17	69%	100,41
VT13	4,04	2173,33	46,65	46,59	18	68%	96,77
VT14	3,69	5430,00	56,43	96,23	18	70%	132,11
VT15	4,84	2131,33	54,97	38,78	18	70%	120,26
VT16	4,14	4160,00	55,63	74,78	18	70%	114,63
VT17	4,57	2713,33	60,30	45,00	18	67%	99,42
VT18	4,32	3974,67	57,21	69,47	18	67%	100,43
VT19	4,01	1843,33	45,69	40,35	18	67%	115,60
VT20	4,24	3969,33	42,05	94,41	18	67%	104,99
VT21	4,90	2728,00	53,34	51,15	18	67%	127,08
VT22	4,72	6333,33	66,60	95,10	18	67%	94,92
VT23	4,49	3642,67	56,01	65,03	18	67%	111,92
VT24	5,05	1682,00	58,25	28,87	18	67%	113,04
VT25	4,75	4306,67	65,30	65,96	18	71%	109,14
VT26	4,25	3930,67	51,13	76,88	18	71%	104,35
VT27	4,33	6106,67	74,29	82,20	18	71%	98,80
VT28	5,37	6510,00	74,57	87,30	18	71%	95,47
VT29	4,43	5916,67	68,15	86,82	18	71%	70,12
VT30	4,99	1812,67	38,61	46,95	18	71%	109,45
VT31	4,20	2425,33	51,92	46,72	18	71%	114,03
VT32	3,85	3661,33	45,30	80,83	18	71%	111,97
VT33	5,18	4650,00	60,19	77,26	18	71%	128,64
VT34	4,43	4302,67	49,35	87,19	18	71%	96,90
VT35	3,97	2052,00	47,41	43,28	18	71%	89,12
VT36	3,97	2221,33	47,41	46,85	18	71%	119,61

Anexo E: Datos consignados durante el ensayo de compresión perpendicular a las fibras

PROBETA	Diametro D	Espesor t	Longitud L	%CH	F	Última (Mpa)	Temperatura	Humedad R.
VCP01M	95,45	8,26	168,82	176,34	236,00	2,94	24	35%
VCP02M	103,64	9,66	166,02	110,93	258,67	2,60	21	52%
VCP03M	94,41	8,41	163,02	-28,83	351,33	4,31	21	49%
VCP04M	93,47	6,84	183,34	117,08	204,00	3,34	20	58%
VCP05M	92,12	7,62	167,96	116,18	255,33	3,62	23	35%
VCP06M	100,75	7,60	167,44	72,52	287,33	4,50	23	35%
VCP07M	92,13	6,75	167,61	51,45	186,00	3,37	21	47%
VCP08M	92,32	6,80	166,72	92,25	262,67	4,72	20	54%
VCP09M	95,66	6,82	166,82	51,01	270,55	5,01	21	54%
VCP10M	97,00	7,05	167,38	105,93	293,33	5,13	20	49%
VCP11M	97,79	7,46	167,38	199,43	281,33	4,44	23	38%
VCP12M	96,89	7,59	167,31	47,18	217,33	3,28	21	49%
VCP13M	96,08	6,73	167,62	217,68	182,66	3,47	17	45%
VCP014M	95,06	10,86	167,86	1,96	461,00	3,32	20	53%
VCP|15M	99,58	7,95	168,57	30,58	422,00	5,91	21	47%
VCP16M	100,06	7,06	151,08	52,34	268,00	5,34	16	46%
VCP17M	93,79	7,54	166,31	172,77	408,67	6,09	21	46%
VCP18M	92,40	8,50	166,91	316,80	194,00	2,23	19	60%
VCP19I	94,11	7,27	165,81	341,53	168,00	2,71	20	50%
VCP20I	96,33	6,92	166,93	59,82	239,33	4,33	23	41%
VCP21I	83,02	6,28	163,48	143,46	248,00	4,80	20	48%
VCP22I	84,95	9,06	162,51	120,76	408,00	3,90	20	54%
VCP23I	85,27	7,56	165,11	164,47	333,33	4,52	20	60%
VCP24I	82,46	6,48	128,25	71,95	153,33	3,52	19	60%
VCP25I	83,89	6,20	165,99	103,52	208,67	4,12	19	60%
VCP26I	92,58	8,22	166,30	105,12	331,33	4,10	23	36%
VCP27I	90,66	7,15	167,06	133,63	332,67	5,30	23	34%
VCP28I	84,09	7,49	168,46	138,99	296,00	3,95	20	50%
VCP29I	98,30	7,67	167,28	122,65	224,00	3,36	23	37%
VCP30I	85,46	6,77	167,86	46,35	230,00	3,83	19	60%
VCP31I	99,40	6,63	167,51	92,25	285,33	5,78	20	60%
VCP32I	100,09	7,07	168,39	98,10	331,33	5,91	23	34%
VCP33I	97,75	6,79	168,42	38,20	258,67	4,89	10	60%
VCP34I	98,65	8,21	168,49	181,62	296,66	3,87	20	56%
VCP35I	93,29	7,17	168,39	144,60	217,33	3,51	21	50%
VCP36I	102,18	8,74	168,78	123,61	268,00	3,19	19	50%

Bibliografía

Agencia de Noticias UN. (2015). Bioarquitectura, una mezcla de tradición y creatividad. Retrieved from http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/bioarquitectura-una-mezcla-de-tradicion-y-creatividad.html

AIS, asociacion de ingenieria sismica. NSR-10 (2010).

Ardilla, C. (2013). esfuerzos admisibles del bambú Guadua angustifolia Kunth del departamento de Tolima , Colombia Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú Guadua angustifolia Kunth del departamento de Tolima , Colombia.

Asociacion Colombiana De Ingenieria Sismica (AIS). (2002). Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado, 70.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). Reglamento colombiano de construccion sismoresistente (NSR-10) (2010).

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). Título E-Casas de uno y dos pisos (2010).

Banco Agrario de Colombia. (2013). *Guía para la formulación y presentación de proyectos de vivienda de Interés Social Rural*.

Banco interamericano de desarrollo. (2003). *PROGRAMA DE VIVIENDA DE INTERES SOCIAL RURAL*.

Caicedo, J. G. (1996). *Optimizacion de Estructuras en Guadua*. Universidad Nacional de Colombia.

Cely, L. A. (2012). Caracterización de laGuadua Angustifolia Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10.

centro interamericano de vivienda. (1957). *Guias de autoconstruccion*.

centro interamericano de vivienda. (1961). *experiencias sibre vivienda rural en Brasil.*

Centro Nacional de Estudios de la Construcción CENAC. (1974). *Habitat rural en colombia*.

Clavijo, S., & Trujillo, D. (2000). *Evaluacion de Uniones a traccion en Guadua*. Universidad Nacional de Colombia.

Contraloria general de la republica. (2013). *Informe de Seguimiento Vivienda de Interés Social Rural. Flujo de los recursos y análisis estadístico del mercado de vivienda de interés social rural*.

Contraloria General de la Republica. (2016). *Boletin Macro fiscal ·14*.

CORONA. (2016). *Premio prohabita corona, Vivienda Rural Cafetera*.

Diaz, F. (2013). *Desarrollo de una union mecanica para estructuras en guadua que trabaje a traccion*.

Fals Borda, O. (1958). *Manual de investigación y extensión en vivienda rural* (Banco Inte).

Fonseca, lorenzo & Saldarriaga, A. (1980). *arquitectura de la vivienda rural en colombia*. *colciencias*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.001

Fonseca Martínez, L. (1977). *Tecnología regional de la construcción y tipologías arquitectónicas en Colombia* (Universida).

Fonseca Martínez, L. &, & Saldarriaga Roa, A. (1992). *Arquitectura popular en colombia*.

Francis, J. K. (1993). Bambusa vulgaris Schrad ex Wendl., (19), 6. Retrieved from file:///C:/Users/WELCOME/Downloads/Bambusavulgaris.pdf

Garzon, A. F. (2016). guadua en el municipio de Guaduas- Cundinamarca.

Garzón, B., & Valle, T. (2001). Sistemas sanitarios alternativos de participación para la construcción social del hábitat residencial rural 1.

Gelabert Abreu, D., & González Couret, D. (2013). Vivienda progresiva y flexible. Aprendiendo del repertorio. *Arquitectura y Urbanismo*, *34*(2), 48–63.

Gil, L. E. (2011). *Desarrollo de un modelo de gestión de calidad aplicada a la planeación y ejecución de subsidios para proyectos de vivienda de interés social rural (VISR) en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Gomez, C. G. (2014). la vivienda productiva, es la vivienda campesina. Retrieved from https://www.aporrea.org/educacion/a190181.html

Gómez, S. R. (2015). *Analisis y Diagnostico del Programa de Vivienda de Interes Social Rural en las etapas de diseño y construccion*. Universidad Nacional de Colombia.

Gonzales, felipe villegas. (2005). *COMPARACION CONSUMOS DE RECURSOS ENERGETICOS EN LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA SOCIAL:GUADUA VS CONCRETO*.

Jorge Bernardo Londoño, D. C. (2005). Method for preparing a terminal assembly for

bamboo.

José, E., Ingeniero, H., Concordia, C., Ríos, E., Torran, E., & Construcción, I. (2008). CAÑA BAMBUSA VULGARIS 2008, (1999).

José, H., Velásquez, C., Alexander, J., Saraz, O., Manuel, J., & Restrepo, V. (2008). DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A TENSIÓN Y CIZALLADURA DE LA Guadua angustifolia KUNTH.

Londoño, X. (2002). CARACTERIZACION ANATOMICA DEL CULMO DE Guadua angustifolia Kunth, *16*, 2002.

Lopez Hidalgo, O. (2003). *Bamboo - The Gift of the GODS*.

Maffrand, G., & Rusconi, M. M. (2001). La gestión participativa en la construcción del hábitat residencial. Experiencia con 54 familias dispersas de Villa El Libertador.

Mar, D., Oyola, L., & Alfonso, F. (2008). Experiencias en áreas rurales del Distrito, (2), 159–168.

Marín, D., Guedez, Y., & Hernández, L. M. De. (2011). Kunth) y bambú (Bambusa vulgaris Schrad .) de San Javier , estado Yaracuy , Venezuela . II . Aporte de nutrimentos y descomposición de la hojarasca Guadua (Guadua angustifolia Kunth) and bamboo (Bambusa vulgaris Schrad .) plantations in San Javier , Yaracuy state , Venezuela . II . Nutrient return and litterfall descomposition Introducción, 185–204.

Martín, J & Mateus, L. (1981). *Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de guadua de castilla*. Universidad nacional de Colombia.

Ministerio de Agricultura. Decreto 1934 de 2015 (2015).

mision para la transformacion del campo. (2015). *Política de mejoramiento de las condiciones de habitabilidad en el campo*.

Nacional, L., & Forestales, D. P. (2009). ex Wendl mediante métodos sin presión No pressure methods for the protection of, *53*(1), 43–50.

Narváez, S. (2016). *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia kunth del municipio de oiba, santander*.

Nidia, pabon;david, N. (2013). *metodologia ed evaluacion para la implementacion de infraesructura basica con diferentes alternativas en tres umbrales de tiempopara el reasentamiento de poblaciones en colombia*. *Journal of Chemical Information and Modeling*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Peña, C. and, & Hugo, R. (1997). *Propuesta de Uniones Mecanicas para Estrucuturas en Guadua*. Universidad Nacional de colombia.

Peña Rodriguez, M. L. (2008). El Programa CINVA y la acción comunal, (1), 185–192.

Perea, Y. (2012). Sistemas Constructivos Y Estructurales Aplicados Al Desarrollo Habitacional. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 161. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Perez, A. M. R. (1999). Hábitat y participación. Un análisis de las propuestas y compromisos suscritos por Chile.pdf.

Physical_Characteristics_and_Anatomical.pdf. (n.d.).

Presidencia de la Republica. Decreto 1167 del 91 (1991).

Presidencia de la Republica. Decreto 1133 del 2000 (2000).

Presidencia de la Republica. Decreto 973 de 2005 (2005).

Presidencia de la Republica. Decreto 1160 de 2010 (2010).

Presidencia de la Republica. Decreto 900 de 2012 (2012).

Rafael, I., & López, B. (2002). Metodología para la construcción de vivienda utilizando como material principal el bambú, 1–61.

Ramos, O. L. (2008). *Vivienda social en Colombia,una mirada desde su legislacion 1918-2005*.

Republica, P. de la. Decreto 200 de 1939 (1939). colombia.

Rivera, Y. (2018). Bahareque, una técnica constructiva sismoresistente en Colombia. Retrieved from https://www.archdaily.co/co/892994/bahareque-una-tecnica-constructiva-sismoresistente-en-colombia

rodriguez gomez, S. (2015). *Analisis y diagnostico del programa de Vivienda de Interes Social Rural en las etapas de diseño y construccion*. Universidad Nacional de Colombia.

Romero Navarrete, L., Hernández Rodriguez, M., & Acevedo Davila, J. (2005). Vivienda y autoconstruccion Participacion femenina en un proyecto asisMo. *Frontera Norte*, *17*, 107–132.

Romo, R., & Carlos, J. (2006). El Bambú como Material de Construcción.

Ruiz, J. (2011). Hábitat rural y hábitat autónomo: nuevos escenarios hacia una nueva ruralidad. *Revista Universidad de La Salle*. Retrieved from http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ls/article/view/521

Sánchez, G., & Concha, C. B. (2016). Caracterización y tipificación de la vivienda rural en la cuenca media del río, *29*, 62–79.

SENA. (1988). *autogestion alrededor de la vivienda. Hagamos conjuntamente con los tecnicos,el diseño de la casa*.

SENA. (1989). asentamientos humanos y construccion autogestionada.

SENA, servicio nacional de aprendizaje. (1990). EL BAHAREQUE EN LA REGION DEL CARIBE, *1*.

Serrano, P. (1986). Autoconstrucción utilizando tecnologías socialmente apropiadas, en chile 127-23.

Takeuchi Tam, C. P. (2004). Comportamiento estructural de la guadua angustifolia . Uniones en guadua S tructural behavior of the guadua angustifolia . Connections in Guadua, (55), 3–7.

Valecillos, T. P. (2001). Organización, participación y autogestión en la construcción del hábitat residencial: Mecanismos de superación de la pobreza en asentamientos urbanos precarios Caso de estudio: Municipio Maracaibo del Estado Zulia. Venezuela.

Wills Ferro, A. (1946). *Cartilla de construcciones rurales*. (Banco interamericano de desarrollo, Ed.).

Yarumo, el profesor. (1993). La vivienda productiva. *El Tiempo*.