

**DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE
INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA (ANGUSTIFOLIA KUNTH)**

**NIDIA CONSTANZA NIETO VERGARA
CÓDIGO 504654
ANTONIO TRUJILLO SÁNCHEZ
CÓDIGO 505665**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2019**

**DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE
INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA (ANGUSTIFOLIA KUNTH)**

**NIDIA CONSTANZA NIETO VERGARA
CÓDIGO 504654
ANTONIO TRUJILLO SÁNCHEZ
CÓDIGO 505665**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
Ing. Esp. Msc. Olga Lucia Vanegas Alfonso
Ingeniera civil**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2019**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Bogotá, octubre, 2019

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1 Descripción del problema.	18
1.2.2 Formulación del problema	20
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
1.4 JUSTIFICACIÓN	21
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	21
1.5.1 Alcance	21
1.5.2 Limitaciones	21
1.6 MARCO DE REFERENCIA	22
1.6.1 Marco Teórico.	22
1.6.1.1 Guadua Angustifolia Kunth	22
1.6.1.2 Usos de la guadua	23
1.6.1.3 Preservación de la guadua Angustifolia Kunth	25
1.6.1.4 Preservación tradicional	25
1.6.1.5 Secado de la guadua Angustifolia Kunth	27
1.6.1.6 Secado al ambiente	29
1.6.1.7 Secado artificial	30
1.6.1.8 Almacenamiento.	31
1.6.1.9 Diseños arquitectónicos y estructurales de vivienda	32
1.6.2 Marco conceptual.	42
1.6.3 Marco legal	43
1.6.4 Marco Geográfico de la Guadua	44
1.6.5 Estado del arte	47
1.7 METODOLOGÍA	50
1.7.1 Enfoque metodológico.	50
1.7.2 Tipo de investigación	50
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	50
1.9 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	53
2. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE SISMO RESISTENCIA DEFINIDOS POR NORMAS COLOMBIANAS PARA CONSTRUCCIONES EN GUADUA	55
2.1 REQUERIMIENTOS PARA EL USO ESTRUCTURAL DE LA GUADUA	55
2.1.1 Requisitos para el uso de guadua en estructuras según Norma NSR 10	55
2.1.2 Métodos de Diseño Estructural en Guadua según normatividad	57

2.1.3 Requisitos Generales de construcción sismo resistente	58
2.1.3.1 Diseño Arquitectónico	58
2.1.3.2 Cargas Vivas y cargas muertas.	62
2.1.3.3 Cargas vivas	67
2.1.3.4 Fuerzas de viento	69
2.1.3.5 Requerimientos para columnas en guadua	71
2.1.3.6 Requerimientos de cubierta y sus conexiones	72
2.1.2 Requerimientos para el uso de madera no estructural	73
2.1.2.1 Dimensiones y tolerancias	73
2.1.2.2 Contenidos de humedad	73
2.1.2.3 Durabilidad natural y preservación	73
2.6.1.3 Requisitos de calidad para ventanas	73
2.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL RURAL	74
2.2.1 Características técnicas	74
2.2.2 Diseño Arquitectónico y Estructural	75
2.2.3 Arquitectura Bioclimática	75
2.2.4 Diseño Estructural	77
3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL	78
3.1 TRATAMIENTOS DE PRESERVACIÓN DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH DE MONTENEGRO – QUINDÍO	78
3.2 CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH	79
3.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARALELA	84
3.3 ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS	90
3.3.1 Cálculos.	90
3.3.2 Montaje	90
3.3.3 Ensayos sobre probetas de guadua con y sin nudo	91
3.3.4 Contenido de humedad	92
3.4 ANALISIS DE RESULTADOS	93
3.5 INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH	93
4. DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA	95
4.1 DISEÑO AQUITECTONICO	95
4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL	98
4.3 CÁLCULOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y ARQUITECTÓNICOS DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA	102
4.2.1 Análisis Sísmico Método de Análisis Dinámico	102
4.2.2. Análisis de datos	116
4.3 RENDER FINALES CASA DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA	117

5. CONCLUSIONES	120
6. RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA	122
ANEXOS	127

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Perfil científico de la Guadua Angustifolia Kunth.	22
Cuadro 2. Durabilidad de la Guadua en Diferentes Condiciones	28
Cuadro 3. Comparativo VIS en guadua Vs VIS en Concreto	33
Cuadro 4. Aspectos Generales del Diseños arquitectónicos y estructurales en Guadua	34
Cuadro 5. Tipos de Uniones	38
Cuadro 6. Normatividad para el uso de la Guadua en Construcción	43
Cuadro 7. Área de guaduales Naturales y Plantados en Colombia	45
Cuadro 8. Fases del Diseño Metodológico	51
Cuadro 9. Requisitos para Diseños de Estructuras en Guadua AK según Título G Norma Sismo Resistente NSR-10	56
Cuadro 10. Esfuerzos admisibles F_i (MPa), CH=12%	57
Cuadro 11. Módulos de elasticidad, E_i (MPa), CH=12%	57
Cuadro 12. Tabla A.2.5-1 Valores del coeficiente de importancia, I	59
Cuadro 13. Tabla A.2.3-2 Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento	59
Cuadro 14. Tabla A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo	60
Cuadro 15. Tabla B.3.2-1 Masas de los materiales	64
Cuadro 16. Tabla B.3.4.1-1 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – Cielo raso	65
Cuadro 17. Tabla B.3.4.1-2 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – relleno de pisos	65
Cuadro 18. Tabla B.3.4.1-3 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos	65
Cuadro 19. Tabla B.3.4.1-4 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cubiertas	66
Cuadro 20. Tabla B.3.4.2-4 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – muros	67
Cuadro 21. Tabla B.3.4.2-5 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – ventanas	67
Cuadro 22. Tabla B.4.2.1-1 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas	68
Cuadro 23. Tabla B.4.2.1-2 Cargas vivas mínimas en cubiertas	68
Cuadro 24. Tabla E.8.2-1 Secciones requeridas para entrepisos con viguetas de guadua*	72
Cuadro 25. Tabla E.9.2-1 Secciones requeridas para cubiertas con correas de guadua*	72
Cuadro 26. Criterios para la Implementación de un Prototipo de Diseño de vivienda de Interés Social Rural	74
Cuadro 27. Promedio de 120 Datos donde se Realiza la Caracterización Inicial de Guadua Angustifolia Kunth del Quindío	79
Cuadro 28. Esfuerzos Admisibles con Humedad de 0.12 NSR-10	85

Cuadro 29. Módulo de Elasticidad	85
Cuadro 30. Coeficientes de Modificación por Duración de Carga	86
Cuadro 31. Resultados Promedios y Percentil 5 de los Valores Encontrados	86
Cuadro 32. Contenidos de Humedad	87
Cuadro 33. Resumen de las Propiedades Físicas Medidas y Calculadas de la Guadua	87
Cuadro 34. Resultados esfuerzo máximo y propiedades de las probetas ensayadas	92
Cuadro 35. Resultados promedios y percentil 5 de los valores encontrados.	92
Cuadro 36. Contenido de Humedad	92

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Partes de la Guadua y sus Usos	24
Figura 2. Secado al Ambiente de la Guadua	30
Figura 3. Secado Artificial de la Guadua	30
Figura 4. Solar de la Guadua	31
Figura 5. Muro de Guadua y Cemento	33
Figura 6. Plantaciones y Bosques Natural en Guadua	46
Figura 7. Localización Montenegro Quindío	46
Figura 8. Ubicación de Plantaciones de Guadua en Montenegro Quindío	47
Figura 9. Cronograma de Actividades	54
Figura 10. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g	61
Figura 11. Combinaciones Básicas de carga para ser utilizadas con el método de esfuerzos de trabajo o en las verificaciones del estado límite de servicio	62
Figura 12. Combinaciones básicas de cargas mayoradas usando el método de resistencia	63
Figura 13. Zonas de Amenaza Eólica	70
Figura 14. Sistema Principal de Resistencia de Fuerza de Viento (SPRFV)	71
Figura 15. Caracterización Visual Guadua Angustifolio Kunth Muestra sin Daños	82
Figura 16. Caracterización Visual Guadua Angustifolio Kunth Muestra Con Fisuras Longitudinal	83
Figura 17. Caracterización Visual Guadua Angustifolio Kunth Muestra Con Irregularidad en Sección Transversal	84
Figura 18. Esfuerzo de compresión vs. deformación unitaria. Probetas 9-15	88
Figura 19. Esfuerzo de Compresión vs. Deformación Unitaria. Probetas 9-15	89
Figura 20. Montaje del ensayo de compresión	90
Figura 21. Plano Distribución Casa de Interés Social Rural	96
Figura 22. Fachada Lateral Izquierda Diseño Vivienda VIS	97
Figura 23. Fachada Lateral Derecha Diseño Vivienda VIS	97
Figura 24. Cubierta Vivienda VIS	98
Figura 25. Planta estructural y cimentación casa de interés social VIS Rural ECS 1:20	99
Figura 26. Zapatas Diseño Estructural Vivienda VIS	100
Figura 27. Columnas Diseño Estructural Vivienda VIS	101
Figura 28. Definición del espectro elástico de respuesta sísmica	103
Figura 29. Análisis dinámico	104
Figura 30. Definición del espectro elástico de respuesta sísmica	105
Figura 31. Creación del caso de carga sísmica	105
Figura 32. Definición de Sección de las Vigas	106
Figura 33. Estructura de las Vigas Casa VIS	107
Figura 34. Asignación de secciones Eje 1	107
Figura 35. Asignación de secciones Eje 2	107
Figura 36. Asignación de secciones Eje 3	108

Figura 37. Asignación eje A	108
Figura 38. Asignación ejes B, C, D	109
Figura 39. Asignación eje E	109
Figura 40. Asignación de Carga Muerta	110
Figura 41. Asignación de Carga Viva	110
Figura 42. Asignación Sismo en Y	111
Figura 43. Asignación sismo X	111
Figura 44. Desplazamiento en X	112
Figura 45. Desplazamiento en Y	112
Figura 46. Diagrama de Momento 2-2 Debido a la Combinación 1.2D + 1 (Cargas Verticales)	113
Figura 47. Diagrama de Momento 3-3 Debido a la Combinación 1.2D + 1.6 L (Cargas Verticales)	113
Figura 48. Diagrama de momento 2-2 debido a la combinación 1.2D + 1.0 L + EQx +0.30 EQy (cargas horizontales)	114
Figura 49. Diagrama de Momento 3-3 Debido a la Combinación 1.2D + 1.0 L + EQx +0.30 EQy (Cargas Horizontales)	114
Figura 50. Estructura Deformada	115
Figura 51. Diseño de Columnas C30x30 As máx= 9.00cm ² ; Columna Redonda d=30cm As máx= 7.00cm ²	115
Figura 52. Diseño de la Cercha en Guadua Angustifolia Kunth	116
Figura 53. Vista Frontal Vivienda de Interés Social Rural	117
Figura 54. Vista Lateral Vivienda de Interés Social Rural	118
Figura 55. Vista Lateral Vivienda de Interés Social Rural	118
Figura 56. Vista Cubierta Vivienda de Interés Social Rural	119

RESUMEN

La guadua en la actualidad, se constituye como un material de construcción alternativo y sostenible, gracias a sus propiedades físico mecánicas, que le brindan una resistencia comparada con el acero, por tanto, su uso como material estructural para viviendas se hace cada vez más fuerte. Por lo anterior en el presente artículo se muestran los resultados de la investigación desarrollada, la cual tuvo como objetivo elaborar el diseño arquitectónico y estructural de una vivienda de interés social rural en guadua *Angustifolia Kunth* que cumpla con los requerimientos de sismo resistencia exigidos por normatividad colombiana, como alternativa de vivienda para poblaciones rurales.

Palabras claves: Guadua *Angustifolia Kunth*, vivienda de interés social, construcción sismo resistente, material de construcción, diseño arquitectónico y estructural.

INTRODUCCIÓN

En Colombia las viviendas de interés social se han convertido en una de las mejores alternativas que tienen los colombianos para adquirir vivienda propia, debido a sus bajos costos y facilidades para su adquisición, a nivel rural este tipo de vivienda es una alternativa para mejorar las condiciones habitacionales en las que viven las personas que habitan estas zonas, pues se ha observado que éstas presentan un alto índice de vulnerabilidad, pues la mayoría de las viviendas son construidas de forma artesanal por sus habitantes, sin tener en cuenta ningún tipo de requerimiento normativo, y usando materiales de poca durabilidad y resistencia.

En este sentido, una nueva alternativa en materiales de construcción para viviendas en zonas rurales es el uso de la guadua *Angustifolia Kunth* considerada como el "acero vegetal" por sus grandes propiedades estructurales y de resistencia, se ha empezado a fomentar su uso para edificación de casas y otras estructuras, adicionalmente porque al ser un material natural, contribuye a disminuir los altos niveles de contaminación y emisiones generados por otro tipo de materiales, convirtiéndolo así en un material sostenible.

Por lo anterior, y teniendo en cuenta que en Colombia el cultivo de guadua *Angustifolia Kunth* es considerablemente alto, se ha querido realizar esta investigación, la cual tiene como propósito elaborar el diseño arquitectónico y estructural de una vivienda de interés social rural usando como principal material de construcción la guadua *Angustifolia Kunth*, para lo cual, el trabajo se desarrolla en dos etapas:

En la primera etapa, se lleva a cabo una revisión bibliográfica y documental, la cual tiene como propósito identificar los requerimientos técnicos y arquitectónicos para construcciones en guadua según normas de construcción colombianas, información con la cual se podrán verificar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth* según resultados de laboratorio y establecer los parámetros para los cálculos de diseño de la vivienda de interés social rural.

En la segunda etapa de la investigación, se realizan los ensayos de resistencia mecánica a flexión, compresión paralela y tracción de la guadua *Angustifolia Kunth*, cuyos resultados se compararán con lo encontrado en la normativa y así se podrá establecer si esta variedad de guadua puede ser usada como material de construcción en el diseño propuesto, realizando además las memorias de cálculo de los componentes de la vivienda, para luego elaborar los planos de diseño arquitectónico y estructural, y la modelación del diseño en forma digital.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La construcción de unidades de vivienda en la actualidad viene presentando cambios importantes relacionados principalmente con la sostenibilidad, que según la Fundación LafargeHolcim ¹ tiene como objetivo satisfacer las necesidades de vivienda, entornos de trabajo e infraestructura sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, por lo cual se deben incluir elementos de eficiencia económica, desempeño ambiental y responsabilidad social; en este sentido, uno de los aspectos de mayor trascendencia es el uso de materiales sostenibles. Uno de éstos es la guadua conocida por su gran valor ecológico, además de ser “un recursos renovable, de rápido crecimiento que cumple una función forestal asociada a la captura de dióxido de carbono, al control de la erosión, la conservación del agua y la rehabilitación de suelos”².

Por lo tanto la guadua es uno de los materiales que ofrece soluciones prácticas para el cambio climático y desarrollo sostenible, esto debido a que se puede cultivar y cosechar fácilmente en un tiempo relativamente corto y se puede reutilizar, además que la guadua debilita “los desafíos del cambio climático a través de la mitigación, la adaptación, la restauración del paisaje y los medios de vida sostenibles”³, pues desempeña múltiples funciones como “fijador de dióxido de carbono (CO₂), hasta el punto de que su madera no libera a la atmósfera el gas retenido después de ser transformada en elemento o ser usada en construcción, sino que éste se queda fijo en las obras realizadas con ellas”⁴; además ayuda a evitar el uso de combustibles fósiles al brindar una fuente de energía de biomasa alternativa y altamente renovable, y ofrecer productos utilizados para construir viviendas inteligentes para el clima.

Al respecto estudios como el realizado por una estudiante de la Cornell University en 2014, en el que se compararon los sistemas estructurales de dos casas: una casa real hecha de Guadua *Angustifolia* Kunth y una casa modelo hecha de concreto, y cuyo objetivo fue comprender la diferencia en los impactos ambientales causados por los dos tipos de construcción en Colombia y los beneficios potenciales de un tipo de construcción sobre el otro, comprobó que la estructura de guadua

¹ LAFARGEHOLCIM FOUNDATION. Understanding sustainable construction [en línea]. Bogotá: La Fundación [citado 26 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.lafargeholcim-foundation.org/about/sustainable-construction>>

² CÁRDENAS, Carlos y RINCÓN, Carlos. La caña guadua como material de construcción sostenible [en línea]. Quito: Revista Numbers [citado 26 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.numbersmagazine.com/articulo.php?tit=la-ca%C3%B1a-guadua-como-material-de-construccion-sostenible>>

³ INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN INBAR. Bamboo: A strategic resource for countries to reduce the effects of climate change. Beijing: INBAR, 2014. p. 1.

⁴ IBÁÑEZ, David Alonso y GIRÓN BERMÚDEZ, Claudia Patricia. La guadua: una maravilla natural de grandes bondades [en línea]. Valencia: Instituto Ecohabitar [citado 38 febrero 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.ecohabitar.org/la-guadua-una-maravilla-natural-de-grandes-bondades-y-prometedor-futuro/>>

genera un menor impacto en indicadores ambientales como el aporte al calentamiento global, el potencial de agotamiento de la capa de ozono, y que si se usa a gran escala y puede ser un material de construcción con un gran impacto en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono de Colombia⁵.

En cuanto a la construcción de unidades de vivienda en guadua, se tiene el artículo publicado por Sebastián Kaminski en 2013⁶, en el que se analizan los diseños de casas de bambú para comunidades de bajos recursos en Costa Rica, Colombia y Ecuador; para lo cual se revisaron proyectos modernos de viviendas de bajo costo de bambú, mediante inspecciones visuales y entrevistas para determinar la condición de las casas, encontrándose que las construcciones de bambú tienen un potencial significativo como una forma, sostenible, duradera, resistente a los sismos. El autor aclara que un buen diseño y detalles son esenciales, en lo que respecta a la durabilidad, el mantenimiento y la resistencia.

Una de las experiencias más cercanas al diseño de modelos de construcción se presenta en el estudio realizado por investigadores de la University of Bath del Reino Unido en 2012, en el cual se hace un análisis del desempeño arquitectónico, estructural, ambiental y técnico de una vivienda de Guadua *Angustifolia Kunth* construida en una zona rural de Colombia⁷. Durante el análisis se determinó que el Proyecto Bohío, cumple con las regulaciones del código de construcción colombiano para el diseño de estructuras de Guadua, además de caracterizarse porque su apariencia fue diferente al diseño urbano, al integrar conceptos sociales, tradicionales y culturales básicos en el diseño que interactúa con el medio ambiente mediante el uso intensivo de materiales naturales. Como resultado, se logró un fuerte sentido de adecuación e identidad arquitectónica.

Así mismo, la guadua ha sido ampliamente utilizada por Simón Vélez para construcciones de uso institucional y residencial, caracterizadas por diseñarse bajo cálculos por una relación simple de carga estructural, uniendo varias guaduas a partir de uniones simples y luces máximas de 10 metros, aseguradas cada una a determinadas distancias y apoyadas sobre estructuras de madera y en algunos casos de hormigón.

Adicionalmente, y hablando más específicamente del uso de la guadua para la construcción de viviendas de interés social, un estudiante de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia presentó en 2015 su trabajo de grado sobre “la guadua una alternativa para la construcción de viviendas de interés social”, cuyo

⁵ ACEVEDO PARDO, Carolina. A comparative life cycle assessment of a social interest housing building: bamboo vs. concrete. New York: Cornell University. Faculty of the Graduate School. Fulfillment of the Degree of Master of Arts, 2014.

⁶ KAMINSKI, Sebastian. Engineered bamboo houses for low-income communities in Latin America. *En: Structural Engineer*. October, 2013. vol. 91, no. 10, p. 14

⁷ ARCHILA, Hector; ANSELL, Martin y WALKER, Pete. Low Carbon Construction Using Guadua Bamboo in Colombia. *In: Key Engineering Materials*. June, 2012. no. 517, p. 4

objetivo fue mostrar que la guadua es “la mejor alternativa en cuanto a la solución de problemas de déficit habitacional”⁸, mostrando las ventajas que tiene este material para reemplazar en gran parte los materiales convencionales de la construcción de viviendas, cumpliendo con la normativa colombiana, en lo que a sistema resistencia se refiere, además de brindar características de carácter económico por sus bajos costos y sus ventajas sociales.

En cuanto a modelos constructivos de viviendas en guadua, a nivel internacional se han adelantado trabajos como el titulado “Purlin-Dowel Connection For Bamboo Constructions As Sustainable Proposal For The Amazon Housing”⁹, en el cual se expone un proyecto de vivienda ecológica elaborada en guadua para comunidades del Amazonas y que fue presentado en el marco del X Congreso Mundial de Bambú realizado en Korea en 2015; el modelo propone un sistema de construcción apropiado basado en las características arquitectónicas y componentes estructurales de las técnicas nativas matsiguengas, materiales naturales y la concepción de su visión de la vivienda; con la adición del bambú como elemento estructural principal y material predominante, que permite la construcción propia, usando la guadua de diferentes formas: caña, listones y esteras.

A nivel académico, estudiantes universitarios han planteado modelos constructivos de viviendas de interés social usando guadua; tal es el caso del proyecto titulado “Guadua, material sostenible para Viviendas de Interés Social (VIS)”, en el cual se presenta un diseño estructural de la vivienda desarrollado en software de modelación basado en análisis de elementos finitos, con resultados y comportamientos estructurales correctos, lo cual “se determinó mediante la realización de ensayos de laboratorio basados en las normativas ISO 22157 e ISO 22156 con resultados satisfactorios, incluso por encima de valores estipulados en normativas enfocadas a la construcción de caña guadua, lo que demostró la capacidad que tiene esta planta de reemplazar materiales actuales de construcción”¹⁰.

Como se ha podido observar en los antecedentes del uso de la guadua en la construcción, esta muestra su versatilidad, economía, ventajas ambientales, económicas y sociales; sin embargo, y hablando más específicamente de sus propiedades como material de construcción propiamente dicho, los estudios adelantados en Colombia para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia* datan de la década de 1970 con los trabajos

⁸ VILLADA CASTAÑEDA, Luis Agustín. La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social. Puerto Boyacá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios. Modalidad trabajo de grado Tecnología gestión en obra civil y construcciones, 2015, p. 13

⁹ CERRON, Tania y GUZMAN, David. Purlin-Dowel Connection For Bamboo Constructions As Sustainable Proposal For The Amazon Housing. En: 10th World Bamboo Congress. Korea, 2015. p. 1

¹⁰ RODRÍGUEZ LÓPEZ, Diego Alejandro. Guadua, material sostenible para Viviendas de Interés Social (VIS). Loja: Universidad Técnica Particular de Loja. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad trabajo de grado, 2017. p. 1.

de Merino (1972) Hidalgo (1978) Trujillo y Peláez (1983) en este periodo no se tiene estandarizado los resultados por la falta de normatividad. Es a partir el año de 1999 con la publicación del manual de las propiedades físicas y mecánicas del bambú que se da inició a la realización de investigaciones para “determinar la resistencia a la compresión paralela, a la fibra, el módulo de elasticidad a compresión y resistencia al corte”¹¹; como lo muestra el estudio realizado por ingenieros de la universidad Sur colombiana en 2018 titulada “Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua *Angustifolia Kunth* de Pitalito, Huila”¹², El cual tuvo como objetivo evaluar la resistencia última y módulo de elasticidad a la flexión en muestras de Guadua *angustifolia Kunth* procedentes del municipio de Pitalito, haciéndose comparaciones con otras investigaciones colombianas, mostrando como resultado que la variedad de Guadua *angustifolia* cuenta con una ventaja representativa respecto a material procedente de los departamentos de Cundinamarca, Quindío, Tolima y Valle del Cauca, en cuanto a los esfuerzos admisibles.

Así mismo, un grupo de investigación de la Universidad Minuto de Dios llevó a cabo un estudio en 2018 titulado “Caracterización Física y mecánica de fibras de Guadua *angustifolia* ‘Kunth’ provenientes de Colombia”, en el cual se realizó la caracterización física, química y mecánica de fibras naturales de guadua, empleando técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), y ensayos de absorción de humedad, densidad aparente y tensión en las fibras. Esto con el fin de analizar el comportamiento en general de las fibras de guadua, para determinar su viabilidad como refuerzo en materiales compuestos para la construcción. A partir de la caracterización se determinó que “la guadua tiene una excelente resistencia a tensión, que puede ser utilizada como refuerzo en matrices poliméricas debido a su rugosidad; es decir, tiene adherencia, es liviana y presenta una excelente absorción en comparación con otras fibras”¹³.

Observándose de esta manera que las propiedades de la guadua son favorables para ser usada como material de construcción en viviendas de interés para áreas rurales, además que es un material que se cultiva ampliamente en Colombia y que en la actualidad su producción no está siendo aprovechada como se podría hacer.

¹¹ LUNA, Patricia; TAKEUCHI, Caori; GRANADOS, Gustavo; LAMUS, Fabián y LOZANO, Jorge. Metodología de diseño de estructuras en guadua *angustifolia* como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. En: Revista Educación en Ingeniería. Junio – agosto, 2011. no. 11, p. 67

¹² SAPUYES, Eduard; OSORIO, Jesús; TAKEUCHI, Caori; DUARTE, Mauricio y ERAZO, Wilson. Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua *angustifolia kunth* de Pitalito, Huila. En: Revista de Investigación. Enero-junio, 2018. vol. 11. No. 1, p. 110

¹³ ESPITIA, Martín; SJOGREEN, Carlos; RODRÍGUEZ, Nelson; CALDERÓN, Jeimy; BENAVIDES, Alisson; PERAZA, Ricardo; ESPITIA, Geraldine y NEMOCON, Ricardo. Mechanical and physical characterization of Guadua *angustifolia* ‘Kunth’ fibers from Colombia. En: Revista UIS Ingenierías. Enero – febrero, 2018. vol. 17, no. 2, p. 34

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. En Colombia según información del DANE y CAMACOL para el año 2016 había “3 millones 300 mil viviendas en déficit, es decir que: tienen casa pero viven en condiciones por debajo de los estándares o no la tienen, así mismo, 1.3 millones de viviendas tienen un déficit cuantitativo, es decir que tiene casas pero viven en hacinamiento y 2 millones de viviendas tienen un déficit cualitativo, que significa que: la construcción de la casa no es de calidad y debe ser mejorada”¹⁴, así mismo, se tiene que adicional a las condiciones de hacinamiento e insalubridad que puede presentar la población rural dispersa, “también presentan vulnerabilidad ante los desastres naturales, dado que sus viviendas no se ajustan a las condiciones topográficas, de suelos y de sismicidad”¹⁵, esto debido a que son construidas con materiales precarios y de manera artesanal por los mismos pobladores, quienes no tienen el conocimiento suficiente sobre los requerimientos técnicos necesarios para que este tipo de construcciones sean habitables, seguras, resistentes y duraderas, lo que ocasiona que se deterioren rápidamente.

Sumado a lo anterior, se sabe que uno de los principales problemas de las viviendas rurales es que no satisfacen las necesidades básicas afectando la calidad de vida de la comunidad en general, la productividad y la competitividad de las regiones, pues muchas de estas viviendas no cuentan con las características mínimas de seguridad y confort, y según lo planteado por el Departamento Nacional de Planeación “tienen un limitado acceso a los servicios públicos básicos como agua potable, alcantarillado y energía, incluso vías de acceso; ni espacios acordes con el tamaño de las familias pues en muchos casos se observa que conviven juntas tres generaciones en una casa artesanal con 2 o 3 habitaciones”¹⁶. Además, que, los programas de vivienda que se ofrecen no son accesibles para las poblaciones vulnerables de zonas rurales, por lo que la adquisición de viviendas nuevas o de dinero para construirlas con las condiciones adecuadas, es otra de las problemáticas a las que se enfrentan las personas, pues “los sistemas de crédito no cubren este tipo de beneficiarios y por tanto no hay acceso de estas familias a los programas de adquisición convencionales”¹⁷.

Dado lo anterior, los diferentes gobiernos promovieron la construcción de viviendas de interés social que, en el ámbito rural, “tiene como objetivo mejorar las

¹⁴ RCN RADIO. Hay un déficit de 3 millones de vivienda en Colombia: Camacol y Dane [en línea]. Bogotá: RCN [citado 1 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.rcnradio.com/colombia/deficit-3-millones-vivienda-colombia-camacol-dane>>

¹⁵ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP. Construcción de vivienda de interés social rural [en línea]. Bogotá: DNP [citado 1 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=130&Itemid=236>

¹⁶ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP. Construcción de vivienda de interés social rural. Bogotá: Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas Construcción, 2017. p. 9

¹⁷ *Ibid.*, p. 11

condiciones habitacionales de las personas ubicadas en la zona rural dispersa”¹⁸ y que se convierten en la mejor alternativa para contrarrestar el déficit habitacional existente en éstas, además de ser un tipo de vivienda económica, segura y funcional para la población vulnerable del país. Sin embargo, se ha podido establecer que los modelos de vivienda de interés social rural, apenas cuenta con el espacio necesario para vivir y realizar actividades básicas. Es decir, “en muchos casos no tienen la posibilidad de destinar espacios en su vivienda para actividades productivas tales como cuartos para almacenamiento, terreno para siembra o crianza de animales, terrazas, locales comerciales, etc.”¹⁹.

Ahora bien, las viviendas de interés social, según la normativa colombiana deben estar constituidas por materiales de buena calidad, que garanticen “la adecuada resistencia y capacidad de la estructura, para absorber y disipar la energía en caso de presentarse sismos o para resistir a eventos naturales que la puedan afectar, ya que materiales frágiles, poco resistentes, con discontinuidades, se rompen fácilmente, se deterioran y vuelven insegura la vivienda”²⁰.

En este sentido, muchos proyectos de viviendas de interés social en sus modelos de construcción y materiales usados, presentan deficiencias ocasionando un rápido deterioro a causa de la humedad y agrietamiento provocado porque estos no están contruidos con materiales que soporten el uso al cual están destinados. Según estudios de la Personería de Bogotá, en proyectos de vivienda de interés social “se evidencian hundimientos, grietas y dilataciones, materiales que no cumplen con los requisitos de calidad”²¹. Razón por la cual, y especialmente para zonas rurales, se buscan nuevas alternativas en cuanto al uso de materiales para la construcción de viviendas, que brinden adicionalmente a los requisitos técnicos de resistencia y durabilidad, un aporte significativo a la preservación de recursos, es decir, materiales que sean sostenibles dado que “la industria de la construcción es uno de los principales contribuyentes al agotamiento de los recursos naturales y un gran causante de efectos secundarios indeseables, tales como la contaminación del suelo, agua y aire; generación de desechos sólidos, desperdicios tóxicos y calentamiento global”²², por lo que se deben implementar construcciones que vayan de la mano con la sostenibilidad ambiental.

¹⁸ *Ibíd.*, p. 11

¹⁹ ROJAS CALLE, Juan David y PRIETO SÁNCHEZ, María Alejandra. Vivienda de Interés Social Rural en Colombia (2013): generación de espacios productivos para familias beneficiarias. *En*: Revista Ciudades, Estados y Política. Mayo – junio, 2017. vol. 4, no. 1, p. 18

²⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Los materiales en la construcción de vivienda de interés social. Bogotá: El Ministerio, 2011. p. 4

²¹ DIARIO EL ESPECTADOR. Viviendas de interés social no cumplen estándares de calidad: Personería [en línea]. Bogotá: El Diario [citado 26 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.elespectador.com/content/viviendas-de-inter%C3%A9s-social-no-cumplen-est%C3%A1ndares-de-calidad-personer%C3%ADa>>

²² COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, *Op. cit.*, p. 4

La presente investigación tiene como finalidad presentar un diseño arquitectónico y estructural en el que se muestra la guadua como un material sostenible y como alternativa para la construcción de viviendas de interés social, buscando evidenciar la necesidad de cultivar esta planta para usarla como material de construcción que contribuya con el cuidado del medio ambiente, además de mostrarla como materia prima y herramienta de construcción capaz de soportar la estructura y cerramientos por su capacidad de resistencia a la compresión teniendo en cuenta los factores de protección, diseño y mantenimiento avalada por la NSR 10.

Así mismo, se busca que el diseño cumpla arquitectónicamente con los rasgos tipológicos de las construcciones en guadua en Colombia, además de darlo a conocer como un recurso de fácil manejo, con un alto aporte a la economía, al medio ambiente y de fácil adquisición para la población de escasos recursos.

Al presentar este diseño se busca demostrar que, sí es posible construir con Guadua a pesar de sus irregularidades, características y distintivos que sí presenta resistencia, tamaños, dimensiones y colores adecuados para la construcción de viviendas, comportándose de manera similar a una casa construida en otros materiales, para lo cual se valorarán, dimensiones y formas que evidencien los componentes estructurales y su función.

1.2.2 Formulación del problema. Dado el carácter investigativo del trabajo y teniendo en cuenta los resultados que espera obtener, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las características arquitectónicas y estructurales que debe tener el diseño de viviendas de interés social rural utilizando la guadua *Augustifolia Kunth* como principal material de construcción?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Elaborar el diseño arquitectónico y estructural de una vivienda de interés social rural en guadua *Angustifolia Kunth* que cumpla con los requerimientos de sismo resistencia exigidos por normatividad colombiana.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir los requerimientos del diseño arquitectónico y estructural de sismo resistencia definidos por normas colombianas para construcciones en guadua.
- Identificar las propiedades físico mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth* a través de ensayos de ensayos de caracterización mecánica.
- Desarrollar memorias de cálculo, planos de diseño arquitectónico y estructural y modelación digital del diseño de vivienda de interés social rural en guadua.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza con miras a proponer un diseño arquitectónico y estructural para viviendas de interés social en zonas rurales, con las que se pueda aprovechar este material y brindar soluciones de vivienda a personas de bajos recursos, además de poder hacer uso adecuado de un recurso autosustentable que impacta positivamente el medio ambiente.

Lo anterior basados en los antecedentes observados durante los sismos registrados en el Quindío en el año 1999, en donde la guadua desempeñó un papel muy importante a nivel sismo resistente; además de evidenciarse los errores cometidos por su manejo inadecuado, lo que conduce a lo importante que es tener un control de calidad del material usado durante la construcción.

Por otro lado, con la realización de este trabajo se quiere brindar un aporte desde nuestra posición como futuros ingenieros civiles, al uso de alternativas de construcción sostenible de alta calidad, durabilidad y que brinde soluciones de vivienda a las poblaciones rurales del territorio colombiano, aprovechando materiales auto sostenibles que favorezcan el cuidado del medio ambiente, un aporte social obteniendo viviendas dignas para las personas menos favorecidas, en zonas con alta vulnerabilidad y atendiendo a lo estipulado en el artículo 51 de la constitución política que consagra que todos los colombianos tienen derecho a una vivienda digna.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcance. El alcance de la presente investigación será el siguiente:

- Presentar el informe de resultados de los ensayos de resistencia mecánica a flexión, compresión paralela y tracción realizados a la guadua *Angustifolia Kunth* proveniente del municipio de Montenegro Quindío, verificando que cumpla con los parámetros mínimos admisibles en la normatividad colombiana NSR 10 para este tipo de material.
- Presentar memorias de cálculo, planos de diseño estructural y arquitectónico, modelación en programa SAP2000 del diseño de la vivienda de interés social rural en guadua *Angustifolia Kunth*, evidenciando que cumpla con los requerimientos técnicos y de sismo resistencia exigidos por la normatividad colombiana.

1.5.2 Limitaciones. Las posibles limitaciones para el desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Dificultad en la disponibilidad y obtención de información documental relacionada con diseños de viviendas en guadua, ya que en el país es un tema relativamente

nuevo por cuanto no se han realizado muchos estudios al respecto limitándose la revisión de experiencias y lecciones aprendidas en el manejo de la guadua *Angustifolia Kunth* como material de construcción.

- Dificultad para conseguir la guadua de la localización especificada y trasladarla a Bogotá para realizar las pruebas
- Dificultad con el tiempo para la realización de los ensayos de laboratorio, ya que sin éstos no se pueden realizar los cálculos y modelación del diseño de vivienda de interés social.
- Uso de programas que permitan calcular y modelar el diseño estructural.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco Teórico.

1.6.1.1 Guadua *Angustifolia Kunth*. La guadua *Angustifolia Kunth*, es una gramínea bambusoideae gigante leñosa nativa de Colombia, Venezuela y Ecuador, que ha sido seleccionada como uno de los mejores bambúes del mundo debido a sus excelentes propiedades físico-mecánicas; una de sus características es que presentan un rápido crecimiento y propagación por lo cual sus tallos alcanzan hasta 30 metros de altura, aspecto éste que además “permite que no haya necesidad de replantarlo después del aprovechamiento adecuado, lo que representa ventajas productivas y económicas” , encontrándose fácilmente en climas tropicales-húmedos a orillas de quebradas, ríos y demás afluentes de agua.

Al respecto Gustavo Teneche, expone que, en Colombia, la guadua se desarrolla en condiciones óptimas desde los 900 hasta los 1600 m.s.n.m. “La especie requiere de suelos sueltos, fértiles, con mediana profundidad, húmedos, pero no inundables. Los suelos derivados de cenizas volcánicas y aluviales son los preferidos por la especie, especialmente suelos areno-limosos y arcillo-limosos de color amarillo o amarillo – rojizos. El rango óptimo de temperatura oscila entre 20 y 26°C y una humedad relativa de 80%”²³.

Los bambús leñosos como la guadua *Angustifolia Kunth* se caracterizan por tener rizomas fuertes bien desarrollados, culmos (tallos o cañas) lignificados, brotes nuevos protegidos por hojas caulinares y complejos sistemas de ramificación. La clasificación científica de la guadua *Angustifolia Kunth* es la siguiente (véase el Cuadro 1)

²³ TENECHE, Gustavo. Guadua *angustifolia* [en línea]. Bogotá: Guadua y Bambú [citado 15 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://guaduarybambu.es.tl/Guadua-Angustifolia.htm>>

Cuadro 1. Perfil científico de la Guadua Angustifolia Kunth

Reino	Vegetal
División	Espermatofitas
Subdivisión	Angiospermas
Orden	Glumiflorales
Clase	Monocotiledóneas
Familia	Poaceae
Subfamilia	Bamboideae
Supertribu	Bambusodae
Tribu	Guadinae
Género	Guadua
Especie	Angustifolia kunth

Fuente. Rodríguez López, Diego Alejandro. Guadua, material sostenible para Viviendas de Interés Social (VIS). Loja: Universidad Técnica Particular de Loja. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad trabajo de grado, 2017. p. 17.

En cuanto a su composición química, la guadua presenta los mismos compuestos orgánicos que la madera, aunque también contiene “40% de Celulosa, 25% de Hemicelulosa y 25% de Lignina, en menor cantidad están los componentes solubles en el agua como azúcares, almidones, ceras, taninos y sales inorgánicas que varía del 2 - 6%”²⁴, en este sentido cabe resaltar que la según la cantidad de almidones la guadua presenta vulnerabilidad a ataques de insectos, por otro lado, la guadua también contienen “cenizas de 1 – 5%, siendo esto una indicación de la cantidad de silicatos (Dióxido de Sílice SiO₂) es mayor el contenido externamente que internamente (capas epidérmicas – corteza) y se incrementa de la base al tope, es un comportamiento directamente proporcional al comportamiento de las fibras, consecuentemente los nodos contienen menor cantidad de silicatos que los internodos”²⁵

1.6.1.2 Usos de la guadua. Por otro lado, la guadua por sus características físico mecánicas tiene varios usos según sus partes, como por ejemplo se ha empezado a utilizar en laminados de bambú, así mismo, se utilizan para la fabricación de productos como molduras, perfiles para puertas, tarimas, tableros, chapa, lamas, etc. La guadua es un material en auge para construcción como un material novedoso y respetuoso con el medio ambiente, llegándose a equiparar con la madera, adicionalmente porque cada parte de la guadua se puede llegar a utilizar con varios fines como se muestra a continuación (véase la Figura 1).

²⁴ MONTROYA ARANGO, Jorge Augusto. Técnicas de preservación de la guadua. Memorias Diplomado Silvicultura y manejo post-cosecha de la guadua. Pereira: Universidad Tecnológica De Pereira, 2005. p 2

²⁵ *Ibid.*, p. 2

Figura 1. Partes de la Guadua y sus Usos

	DESCRIPCIÓN	UTILIZACIÓN
COPA	Parte apical de la guadua con una longitud de 1,20 a 2,00 m	Se replica en el suelo del guadua como aporte de materia orgánica.
VARILLON	Sección de menor diámetro Su longitud tiene aproximadamente 3 metros.	Se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.
SOBREBASA	Es un tramo de guadua con buen comercio debido a su diámetro, que permite un uso variado. Posee una longitud aproximada de 4 metros.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de hormigón de edificios en construcción. También se emplea como viguetas para diseñar planchas y como postes de espalderas en cultivos.
BASA	Parte de la guadua que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. La longitud es de 8 metros aproximadamente.	De esta sección se elabora generalmente la esterilla, la cual tiene múltiples usos como son la construcción de paredes, para el entramado de cubiertas, etc. Esta parte se utiliza para vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.
CEPA	Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos proporciona una mayor resistencia y tiene una longitud de 3 metros.	Se utiliza para columnas en construcción y para cercos.
RIZOMA	Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce popularmente como "caimán".	En decoración, muebles y juegos infantiles.

Fuente. DE NAVAS GUTIÉRREZ, Elvira. Aplicaciones estructurales de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). Proyecto de Estructura Modular Multifuncional en Colombia. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Modalidad trabajo de grado, 2011. p. 25

Como se puede observar en la Figura 1 cada parte de la Guadua es utilizada, por ejemplo, la cepa, es la parte de mayor diámetro y espesor en las plantas de guadua y se extiende hasta una longitud de 3 a 4 metros. Su característica es que la longitud de sus entrenudos es más corta y el espesor de sus paredes es mayor a sus otras partes, lo que otorga mayor resistencia, por lo que este segmento se lo utiliza como elemento estructural (Columnas, vigas) en la construcción; así mismo, la Basa es otra de las partes más utilizadas en la construcción, se caracteriza por tener mayor distancia entre los nudos que en su cepa, su longitud varía entre los 6 a 10 metros,

comúnmente se la utiliza en la construcción como vigas, esterillas para paredes casetones, entre otros.

Por encima de la basa se encuentra la SobreBasa es “un componente útil especialmente en el uso de viguetas para formaleta planchas, tiene como característica una mayor distancia entre los nudos, menor sección y espesor varía entre los 3 a 5 metros. El varillón y la copa son de espesor muy delgado y no tiene uso estructural, comúnmente lo utilizan para artesanías y para jardinería en general, su longitud comprende entre 2- 4 metros”²⁶.

1.6.1.3 Preservación de la guadua *Angustifolia Kunth*. La guadua (AK), puede preservarse mediante inmunización de los culmos utilizando los mismos perseverantes indicados para las estructuras de madera que tienen una baja durabilidad natural, y que deben ser adecuadamente aplicados para no afectar la salud del usuario y el ambiente, y que básicamente pueden ser de dos tipos: Preservantes hidrosolubles y Preservantes óleo solubles.

1.6.1.4 Preservación tradicional. Diversas comunidades han utilizado diversos métodos para preservar la guadua de forma tradicional, éstos se han desarrollado teniendo en cuenta las características y los recursos de las zonas en donde han sido utilizados, sin embargo, los otros métodos tradicionales no reemplazan la preservación química. A diferencia de la madera, el bambú tiene sus vasos y células orientados longitudinalmente, separadas por las células de almacenamiento, parénquima, en los internodos, y conectados sólo en los nodos, son pequeños en el perímetro de la pared y grandes cerca del centro; tienen dos capas de células que dificultan la entrada de los preservadores líquidos, una de estas capas recubre las paredes interiores, y la otra las exteriores de los tallos o culmos²⁷.

A continuación, se describen los más usados:

► **Vinagrado.** Es uno de los métodos de preservación tradicional más extendidos, siendo un método económico, inocuo, natural, que, sin usar ningún tipo de aditivos, se puede realizar en la plantación después del corte, manteniendo el culmo con sus respectivas ramas y hojas, apoyado al resto de culmos de forma vertical, por el lapso de tres semanas antes del apeo o tumbado. Este método es ecológico y no demanda una inversión extra, sin embargo, es necesario que, a este método, se lo acompañe de otros tipos de preservación²⁸.

²⁶ PILCO DÍAZ, E.P. (2016). Estudio de las propiedades Físico Mecánicas de la Guadua *Angustifolia Kunth* de Loja, e implementación de este como material de construcción. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja. Facultad de Ingeniería, 2016. p. 11-12

²⁷ ORDÓÑEZ CANDELARIA, Víctor Rubén; MEJÍA SAULÉS, María Teresa y BÁRCENAS PAZOS, Guadalupe M. Manual para la construcción sustentable con bambú. México: Comisión Nacional Forestal de México, 2002. p. 30

²⁸ PERÚ. MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, Op. Cit., p. 17

En el vinagrado, se deja la caña sobre el mismo tocón o una piedra, apoyada a los bambúes vecinos durante 3 semanas, dejando ramas y hojas intactas. En este proceso se disminuye los almidones, azúcares y humedad, limitando la vulnerabilidad de la caña al ataque de insectos y microorganismos. La caña cambia temporalmente de color verde a naranja y huele a alcohol (“caña borracha”)²⁹.

➤ **Preservación por Inmersión.** La preservación por inmersión es uno de los métodos más utilizados y se realiza mediante las siguientes actividades:

- a) Perforación longitudinal de los diafragmas interiores de los culmos, mediante una varilla de acero de 12 mm (1/2”) a 16 mm de diámetro (5/8”).
- b) Lavado exterior del culmo para no contaminar el líquido preservante; se usarán materiales o líquidos poco abrasivos, que no rayen o deterioren la epidermis del culmo.
- c) Se introducen los culmos en el tanque de preservación, donde previamente se ha colocado el líquido preservante en la dosis formulada (por cada 96 litros de agua se recomienda 2 Kg de cada uno de los químicos: bórax y ácido bórico). La disolución de las sustancias será óptima si los polvos químicos mencionados son diluidos en forma parcial en recipientes de 5 galones de agua a temperatura entre 50°C y 80°C.
- d) La introducción de los culmos debe ser realizada de manera tal, que el extremo superior del culmo quede a flor de agua para que el aire contenido se desplace hacia la superficie formando burbujas.
- e) Luego del tiempo indicado para su inmersión, mínimo 5 días en condiciones de temperatura ambiente o 6 horas aplicando temperatura de entre 60°C y 80°C, para la GaK rolliza, los culmos son extraídos y escurridos para su secado final.
- f) Posterior a la extracción de los culmos, estos son colocándolos en forma inclinada con la parte basal o de mayor diámetro hacia arriba, para permitir que escurra el exceso de líquido preservante antes de llevarlos hacia el sitio de secado.
- g) Para que los culmos tengan la capacidad de absorción del preservante, el contenido de humedad de la GaK deberá ser como mínimo del 30% medido con el higrómetro digital.
- h) El contenido de humedad de los culmos se debe medir con un higrómetro, mismo que debe tener una calibración baja para maderas duras tipo A³⁰.

➤ **Preservación por Presión (Boucherie).** Este método demanda el empleo de un equipo de compresión o tanque de presión que inyectará el líquido preservante en cada culmo. Para la aplicación del método es necesario el empleo de culmos de

²⁹ MORÁN UBIDIA, Jorge. Construir con Bambú. Manual de construcción. 3 ed. Lima: Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015. p. 22

³⁰ Ibíd., p. 24

reciente corte (máximo 8 horas desde realizado el corte), antes que el secado natural obture los poros y vasos del culmo. En caso de que esto suceda, se recomienda cortar 0.10 m a 0.15 m del culmo para tratar de que el preservante pueda penetrar.

- a) El líquido preservante debe estar colocado en el tanque de presión. Los culmos deben estar en posición horizontal y sus bases estarán acopladas a unas mangueras con boquillas de caucho que conectan con el tanque. Los diafragmas no se deben perforar.
- b) El paso del aire y del líquido preservante están regulados por válvulas de calibración.
- c) La efectividad del método es comprobable mediante el control del líquido desplazado y el entrante, por medio de papeles medidores de ácido o de tinturas de color que permitan verificar la absorción del preservante en las paredes del culmo.
- d) Se debe recolectar el excedente de preservante y dar el tratamiento adecuado para evitar la contaminación del ambiente³¹.

➤ **Preservación por Difusión Vertical.** Para este método los culmos no deben presentar fisuras ni agujeros que puedan propiciar la pérdida de preservante.

- a) Los diafragmas interiores de los culmos deben ser perforados a excepción del último. La perforación longitudinal de los diafragmas interiores de los culmos, se debe realizar mediante una varilla de acero de 12 mm (1/2") a 16 mm (5/8") de diámetro.
- b) Los culmos deben colocarse en posición vertical con la parte basal hacia arriba y con el diafragma que no fue perforado en la parte inferior. Se llena cada culmo por su parte superior con el líquido preservante y se mantiene los culmos en la misma posición por tres semanas, siempre cuidando que el nivel del líquido se mantenga.
- c) Después de ese tiempo se perfora el último diafragma, para permitir con ello la salida del líquido sobrante.
- d) Se debe recolectar el excedente de preservante y dar el tratamiento adecuado para evitar la contaminación del ambiente y preservar la salud de quienes lo manipulan³².

1.6.1.5 Secado de la guadua *Angustifolia Kunth*. La guadua presenta una durabilidad natural alta; sin embargo, ésta se puede ver alterada, ya que la resistencia natural de este material comparada con la de la madera es más baja debido al alto contenido de almidón y azúcares que contiene, así mismo es vulnerable a factores bióticos como el ataque de insectos xilófagos y factores

³¹ *Ibíd.*, p. 26

³² *Ibíd.*, p. 24

abióticos como las condiciones ambientales – atmosféricas (véase el Cuadro 2), la presencia de grietas, rajaduras y daños por mal secado y la vulnerabilidad al fuego, en este sentido investigadores de la Comisión Nacional Forestal de México, han observado que “la parte inferior de los tallos o culmos se deteriora más rápidamente que el resto del tallo, y que la parte interior del culmo es menos resistente que la parte exterior”³³.

Cuadro 2. Durabilidad de la Guadua en Diferentes Condiciones

Condición	Años
A la intemperie	1 – 3
Bajo cubierta	4 – 7
En circunstancias favorables	10 – 15
En el mar	Menos de 1

Fuente. ORDÓÑEZ CANDELARIA, Víctor Rubén; MEJÍA SAULÉS, Ma. Teresa y BÁRCENAS PAZOS, Guadalupe M. Manual para la construcción sustentable con bambú. México: Comisión Nacional Forestal, 2002. p. 25

Por otro lado, la guadua al contener gran cantidad de agua en sus paredes, hace que sea necesario extraerla en el momento de ser cortada y antes de ser usada, esto permite que su peso se reduzca y distorsione mientras es usada, pero principalmente se lleva a cabo para evitar y/o reducir que agentes biológicos como insectos y hongos causen deterioro; al respecto investigadores recomiendan “secar la guadua hasta que alcance un contenido de humedad en equilibrio con las condiciones de humedad y temperatura promedio del lugar en que vaya a utilizarse, para disminuir pérdidas o ganancias de humedad, fenómeno que genera la contracciones o hinchamientos del bambú provocando deformaciones y rajaduras”³⁴.

En el caso de la guadua AK es un material higroscópico y poroso que absorbe la humedad presente en el ambiente ya sea en forma de vapor o de líquido, por lo que especialistas recomienda que:

- ” Los culmos de Guadua AK destinados a la construcción sean secados hasta alcanzar un contenido de humedad igual o inferior a la humedad de equilibrio del lugar en donde se va a usar.
- Monitorear el contenido de humedad de los culmos desde la extracción de la plantación mediante el uso del higrómetro, el cual debe tener una calibración baja para maderas duras Tipo A.

³³ ORDÓÑEZ CANDELARIA, Víctor Rubén; MEJÍA SAULÉS, Ma. Teresa y BÁRCENAS PAZOS, Guadalupe M. Manual para la construcción sustentable con bambú. México: Comisión Nacional Forestal, 2002. p. 25

³⁴ Ibid., p. 23

➤ El secado correcto del material impedirá que los culmos sufran deformaciones, fisuras y daños irreversibles, ante las pérdidas de humedad posteriores a su aplicación en la estructura³⁵.

1.6.1.6 Secado al ambiente. Los culmos pueden ser secados de forma vertical en sitios ventilados. Durante el proceso se debe evitar el deterioro del material por la acción del clima, agentes biológicos u otras causas, por lo cual se debe realizar lo siguiente:

➤ Se colocarán los culmos apoyados e intercalados a los dos lados de un caballete. Los extremos basales deben estar asentados sobre una caña picada o similar, para evitar el contacto de los culmos con el suelo.

➤ La altura del caballete debe ser de 2/3 de la longitud de los culmos a almacenar.

➤ Los culmos ubicados al inicio, al medio y al final del caballete, deben estar sujetos a éste con cuerdas o trabillas para prevenir el deslizamiento lateral de los culmos.

➤ Al montar y desmontar los culmos sobre el caballete, se los debe colocar de forma alternada (en forma de tijera) para evitar el volcamiento del caballete.

➤ Si los caballetes son dejados al aire libre, los ejes deben orientarse de este a oeste para disminuir la exposición solar.

➤ Para un secado uniforme, se recomienda un giro parcial y diario de cada uno de los culmos sobre su eje longitudinal, durante los primeros 15 días y luego con menos frecuencia.

➤ Dependiendo de las condiciones climáticas, el tiempo de secado puede variar entre dos y seis meses.

➤ Una vez que los culmos alcancen un contenido de humedad igual o inferior a la humedad de equilibrio del lugar pasarán a ser almacenados bajo techo o ser utilizados en la construcción (véase la Figura 2)

³⁵ PERÚ. MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, Op. Cit., p. 19.

Figura 2. Secado al Ambiente de la Guadua



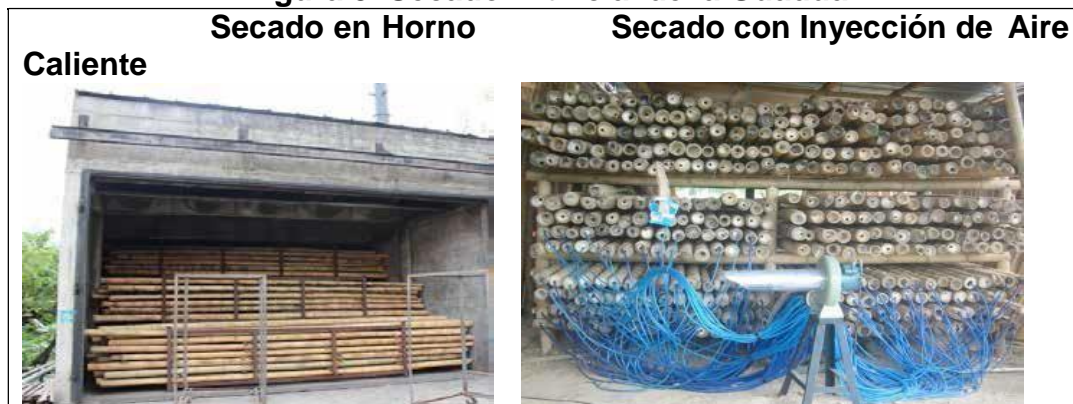
Fuente. MORÁN UBIDIA, Jorge. Construir con Bambú Manual de construcción. 3 ed. Guayaquil: Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR, 2015. p. 26

1.6.1.7 Secado artificial. Dentro de las técnicas de secado artificial (artificial porque se modifica el ambiente) hay varias que utilizan diferentes grados de control, ya sea del ambiente interno en las técnicas que usan una cámara de secado, o de la calidad del aire controlando la temperatura y la humedad.

Los sistemas empleados pueden ser:

- Hornos de secado: su fuente de energía son combustibles fósiles que pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos.
- Inyección de aire caliente: Los culmos deben estar colocados horizontalmente y bajo cubierta. Con un ventilador y mangueras de plástico conectadas al interior de cada culmo se inyecta aire caliente (véase la Figura 3).

Figura 3. Secado Artificial de la Guadua



Fuente. MORÁN UBIDIA, Jorge. Construir con Bambú Manual de construcción. 3 ed. Guayaquil: Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR, 2015. p. 26

- Secado Solar: el secado se obtiene mediante acción solar y la participación de equipos mecánicos que pueden ser de dos tipos:

✓ Secadores solares pasivos: son cámaras de secado que demandan la presencia de un colector solar. Los flujos de salida de aire caliente saturado de humedad y el ingreso de aire frío se obtienen mediante compuertas, aprovechando el efecto físico termo-sifónico.

✓ Secadores solares activos: son cámaras operadas por acción solar y participación de equipos mecánicos impulsados por energía eléctrica para acelerar los flujos de aire (véase la Figura 4).

Figura 4. Solar de la Guadua



Fuente. MORÁN UBIDIA, Jorge. Construir con Bambú Manual de construcción. 3 ed. Guayaquil: Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR, 2015. p. 28

1.6.1.8 Almacenamiento. Los culmos de guadua AK deben ser almacenados adecuadamente antes de su utilización, ya que pueden sufrir daños, por tanto, existen dos formas de almacenamiento una vertical y otra horizontal, en los dos casos se debe asegurar que la guadua quede aislada totalmente de la humedad del suelo, igualmente que quede protegida de la radiación solar y se halle en sitios ventilados.

➤ **Almacenamiento Vertical.** Cuando se almacenen los culmos de Guadua AK de esta forma, se debe tener en cuenta lo siguiente:

✓ Se colocarán los culmos recostados e intercalados a los dos lados de un caballete. Los extremos inferiores deben estar aislados del suelo.

✓ La altura del caballete debe ser $2/3$ de la longitud de los culmos a almacenarse.

✓ Los culmos ubicados al inicio del caballete, al centro y al final de este, deben estar sujetos con cuerdas o trabillas al caballete para prevenir su deslizamiento lateral.

✓ Si los caballetes son dejados al aire libre, los ejes de los caballetes se deben orientar de este a oeste, para disminuir la exposición solar.

► **Almacenamiento Horizontal.** Cuando se almacenen los culmos de GaK de esta forma, se debe tener en cuenta lo siguiente:

✓ Las parrillas del material serán colocadas sobre soportes de madera dura y preservada, para evitar que la primera parrilla se apoye en el suelo.

✓ Los culmos se colocarán en tendidos de capas ortogonales, cuya altura en ningún caso excederá los 2m.

✓ Cada culmo debe estar separado entre sí de 20 a 30 cm (vertical y horizontalmente), para facilitar la circulación del aire.

1.6.1.9 Diseños arquitectónicos y estructurales de vivienda. Un diseño estructural hace referencia al “conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos que combinados racionalmente y enmarcados en un método, generan un tipo de edificación en particular”³⁶.

Por otro lado, en los modelos estructurales contemporáneos se reconoce que una gran cantidad de materiales, componentes, equipos y conjuntos deben integrarse adecuadamente para lograr una construcción de alto rendimiento, siendo la clave para la condición física de un edificio “el control equilibrado de los mecanismos físicos, de modo que la durabilidad, el confort, la eficiencia energética, la calidad del aire interior, la salud y la seguridad no se vean comprometidos”³⁷.

En este sentido, los sistemas arquitectónicos se diferencian principalmente por el comportamiento estructural de sus elementos, por lo que el rendimiento estructural de una construcción se puede juzgar en términos de su resistencia a las cargas muertas, vivas, del suelo, del viento, hidrostáticas y sísmicas, según lo prescriben los códigos aplicables. “Dentro de los umbrales establecidos para estas cargas, se requeriría que la estructura se comporte adecuadamente de acuerdo con las expectativas en términos de resistencia, durabilidad, deflexiones y vibraciones”³⁸, razón por la cual, y según el Instituto de Tecnología de New Jersey ³⁹ los modelos constructivos deben tener en cuenta diversas variables como la comprensión detallada de los sistemas interconectados dentro y fuera de la estructura, así como los insumos físicos obvios (clima, paisaje, recursos), y aquellos que tienden a ser implícitos pero no explícitos: la economía, la estructura de la comunidad, la tecnología disponible y las infraestructuras que rodean el sistema de construcción.

³⁶ OROZCO, Enrique. Notas sobre materiales, técnicas y sistemas constructivos. En: Tecnología y Construcción. Mayo – junio, 2008. vol. 24, no. 2, p. 87

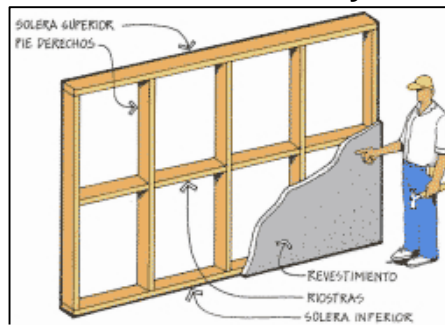
³⁷ KESIK, Ted J. Building Science Concepts [en línea]. Toronto: National Institute of Building Sciences [citado 22 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.wbdg.org/resources/building-science-concepts>>

³⁸ KESIK, Ted J. Building Science Concepts [en línea]. Toronto: National Institute of Building Sciences [citado 22 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.wbdg.org/resources/building-science-concepts>>

³⁹ NEW JERSEY INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Building Systems Theory for Civil Engineers [en línea]. New Jersey: The Institute [citado 22 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://graduatedegrees.online.njit.edu/blog/building-systems-theory-for-civil-engineers/>>

► **Diseño arquitectónico y estructural en Guadua.** El más usado es un sistema estructural de muros que se basa en la fabricación de paredes construidas con un esqueleto de guadua, cubierto con un revoque de mortero de cemento, que puede apoyarse en esterilla de guadua, malla de alambre, o una combinación de ambos materiales (véase la Figura 5).

Figura 5. Muro de Guadua y Cemento



Fuente. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque en cementado. Bogotá: Fondo para la construcción y desarrollo social del Eje Cafetero – Forec, 2010.


En Colombia la guadua se ha utilizado en cercas, bancas, panales, pisos, muebles, pulpa de papel, palillos, utensilios para la cocina e incluso como un elemento de decoración, y por supuesto ha sido muy notoria su participación en la industria de la construcción, su uso se implementa en grandes estructuras y hasta se empieza a utilizar en hermosas construcciones de lujo con magníficos acabados. Así mismo, los modelos constructivos de viviendas de interés social en guadua tienen ciertas ventajas en comparación con los modelos tradicionales como se muestra a continuación (véase el Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparativo VIS en guadua Vs VIS en Concreto

VIS EN GUADUA	VIS EN CONCRETO
Bajo costo	Costo elevado
La adquisición de los materiales no genera daños al medio ambiente	Adquirir materiales, genera daños irreversibles al medio ambiente
Se utiliza material renovable.	Materiales no son renovables
Aislante térmico y acústico.	Genera incomodidad en tierra caliente por el calor.
Beneficios indirectos por el cultivo de este material.	Sus beneficios son momentáneos.
Norma Sismo Resistente.	Norma Sismo Resistente.
Fácil adaptación a cualquier clima.	Presenta incomodidad en los climas calientes.
El material se puede producir en la región.	Materiales se deben conseguir en diferentes partes del país.
El material es visualmente atractivo	Es cotidiano
Material liviano	Materiales de gran peso
Material resistente	Material poco resistente
Material flexible	Materiales rígidos
Brinda seguridad con respecto a sismo resistencia.	Poco confiable, por ser de contextura rígida.

Fuente. VILLADA CASTAÑEDA, Luis Agustín. La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social. Puerto Boyacá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios. Modalidad trabajo de grado Tecnología gestión en obra civil y construcciones, 2015, p. 45

Cuadro 4. Aspectos Generales del Diseños arquitectónicos y estructurales en Guadua

Aspectos	Descripción	Imagen representativa
Constitución	<p>El bahareque (bambú/guadua) en cementado es un sistema constituido por dos partes principales: el entramado y el recubrimiento. Ambas partes se combinan para conformar un material compuesto que trabaja a manera de emparedado.</p>	
Entramado	<p>El entramado se construye con un marco de bambú (guadua) o, preferiblemente, madera aserrada, constituida por dos soleras, inferior y superior, y pies derechos, conectados entre sí con clavos o tornillos. Adicionalmente, puede contener riostras o diagonales.</p>	
Recubrimiento	<p>El recubrimiento se fábrica con mortero de cemento aplicado sobre malla de alambre. La malla puede estar clavada directamente al entramado sobre esterilla de bambú (guadua), o sobre un entablado.</p>	
Materiales Guadua – Bambú	<p>El material predominante de este sistema es la guadua (bambú), cuya mejor calidad se consigue en plantas en estado sazonado, es decir, mayores de 4 años. No puede utilizarse guadua (bambú) con más del 20% de contenido de humedad ni por debajo del 10%.</p> <p>La guadua (bambú) debe inmunizarse para evitar el ataque de insectos xilófagos. El inmunizado no significa protección contra otros efectos ambientales, de manera que la guadua no puede exponerse al sol ni al agua, en ninguna parte de la edificación, pues la acción de los rayos ultravioletas produce resecamiento, fisuración, decoloración y pérdida de brillo, y los cambios de humedad pueden causar pudrición.</p>	

Fuente. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque en cementado. Bogotá: Fondo para la construcción y desarrollo social del Eje Cafetero – Forec, 2010.

➤ **Sistema de resistencia sísmica:** Para garantizar un comportamiento adecuado, tanto individual como de conjunto, ante cargas verticales y horizontales, se establecerán los siguientes mecanismos:

(a) Un conjunto de muros estructurales, ya sean muros de carga o muros de rigidez, dispuestos de tal manera que provean suficiente resistencia ante los efectos sísmicos horizontales en las dos direcciones principales en planta. Debe tenerse en cuenta sólo la rigidez en el propio plano de cada muro. Los muros estructurales sirven para transmitir las fuerzas paralelas a su propio plano, desde el nivel donde se generan hasta la cimentación. Los muros de carga soportan, además de su propio peso, las cargas verticales debido a la cubierta y a los entresijos, si los hay. Los muros de rigidez sólo atienden como carga vertical su propio peso.

(b) Un sistema de diafragmas que obligue al trabajo conjunto de los muros estructurales, mediante amarres que transmitan a cada muro la fuerza lateral que deba resistir. Los elementos de amarre para la acción de diafragma se deben ubicar dentro de la cubierta y los entresijos.

(c) Un sistema de cimentación que transmita al suelo las cargas derivadas de la función estructural de cada muro. El sistema de cimentación debe ser adecuado, de manera que se prevengan asentamientos diferenciales e inconvenientes. El conjunto de cimientos debe conformar un diafragma, para lo cual, las cimentaciones independientes deben estar amarradas entre sí⁴⁰.

Tanto la efectividad de los amarres en los diafragmas, como el trabajo en conjunto de muros, se ven afectados por la continuidad vertical y horizontal de los muros estructurales, y por la irregularidad de la estructura, tanto en planta como en altura.

➤ **Sistema de cimentación.** El sistema está compuesto por una malla de vigas de fundación que configuran anillos aproximadamente rectangulares en planta, y que aseguren la transición de las cargas de la súper estructura en forma integral y equilibrada. Las intersecciones de las vigas de cimentación deben ser monolíticas y continuas.

Las vigas de cimentación tienen refuerzo longitudinal positivo y negativo y estribos de confinamiento en toda su longitud. Las dimensiones y el refuerzo de los cimientos se hacen aproximadamente de 0,30 x 0,30 cm.

➤ **Estructura.** Además de los cimientos y la cubierta del techo, la estructura fundamental es la parte de la casa más a menudo construida, parcial o totalmente, con materiales distintos del bambú. En muchas regiones las personas que están en condiciones de cubrir la diferencia de costo prefieren emplear para la estructura alguna madera resistente y duradera. Proceden así, en parte, porque las maderas

⁴⁰ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque en cementado. Bogotá: Fondo para la construcción y desarrollo social del Eje Cafetero – Forec, 2010

duras permiten uniones más firmes y una construcción más rígida que el bambú, en parte porque las maderas duras gozan de mayor prestigio, y además porque ciertas maderas duras son por naturaleza mucho más resistente a los hongos y a los insectos que se alojan en el bambú no inmunizado.

Los tabiques son por lo común de construcción liviana, tal como una fina esfera soportada por una estructura liviana de estacas de bambú. Para este objeto se prefieren cañas de bambú de paredes delgadas y madera resistente, tales como las que proporcionan dichas especies del género

El cielo raso puede formarse con una serie de cañas delgadas colocadas en serie apretadas; o con una serie de listones obtenidos por rajamiento de cañas grandes. En muchas regiones la vara de bambú como cielo raso.

➤ **Pisos, Puertas y Ventanas.** Por razones prácticas las aberturas de los vanos, ventanas y las puertas son generalmente dispuestas en tensiones mínimas. Se les puede dar estructura de madera de bambú. Las puertas mismas pueden ser maderas, de un entrelazado de tiras de bambú dispuestas sobre una estructura de cañas del mismo material, o un panel de estrellita de bambú colocado sobre un cuadro de madera dura, como también de la especie de robusto portón construido con barrotes de bambú. Las puertas van colgadas por un costo y los cierres varían desde el tradicional cerrojo de cordel hasta la cerradura de cadena, muestra el rústico empleo de un bambú inferior en la puerta de la cabaña de un pionero.

Si se proveen ventanas de abrir, pueden estructurarse en madera o bambú. En muchas ventanas no emplean vidrio ni mallas contra mosquitos. El cierre puede proveerse mediante una estructura cubierta de una estera de bambú o de hoja de palma. Las ventanas usualmente se cuelgan de la parte superior; cuando se abren, como sucede durante la mayor parte del día, sirven como protección contra los rayos solares directos y las lluvias ligeras. Para frustrar las intenciones de los ladrones se emplean frecuentemente barrotes permanentes de bambú, muchas veces pintados de negro para simular barrotes de hierro.

➤ **Techo.** A causa de su alta resistencia se usa el bambú, con excelentes ventajas, en los elementos estructurales de la construcción del techo. Al diseñar el techo deben tenerse en cuenta la naturaleza del peso de la cubierta que va a ser empleada, ya sea de paja, hojas de palmera, medias cañas de bambú, tejas de bambú, hierro galvanizado ondulado. Las dimensiones, orientaciones y esparcimiento de las unidades estructurales individuales, que soportan la cubierta del techo, han de variar de acuerdo con las necesidades de cada caso.

Como se ve en las fotos, los aleros son bastantes generosos, teniendo una dimensión de 1m como mínimo, para el libre escurrimiento de las aguas.

➤ **Cubierta.** El techo será a un agua. Se construirá mediante un sencillo sistema de envigado apoyado sobre los tabiques, utilizando como material la caña. La cubierta será liviana, utilizándose con ese fin chapas galvanizadas. Otro tipo de cubierta probable es utilizando el ferro cemento, donde se procede de la misma forma que para los paramentos verticales, siendo necesario colocar un material hidrófugo para evitar que pase el agua de lluvia al interior. La barrera de vapor y la aislación térmica será similar a la de los tabiques exteriores.

➤ **Uniones.** La estructura de una edificación realizada con culmos de GaK y otros bambúes, requiere diversos tipos de uniones, herramientas eficientes y elementos metálicos de anclaje como pernos, tuercas, varillas roscadas, pletinas (placas) y otros que facilitan su ejecución. No se permite el uso de clavos o elementos que produzcan rajaduras a los culmos de GaK y otros bambúes que actúen como elementos estructurales.

Los requisitos generales para la realización de las uniones son:

✓ Los culmos de GaK y otros bambúes a ser usados en uniones deben cumplir todas las condiciones mencionadas en la sección 3; calidad, maduración, preservación, secado y conicidad.

Conicidad: Forma de la caña, en la parte más baja es más ancha y en la parte de arriba es más angosta.

✓ Las uniones deben resistir las cargas externas a las que estarán sometidas.

✓ Se debe tomar en cuenta de forma especial a aquellas uniones que sean sometidas a tensión o fuerza perpendicular a la fibra y corte paralelo a la fibra.

d) Las uniones realizadas con clavos o elementos que provoquen rajaduras a lo largo de las fibras del culmo no están permitidas.⁴¹.

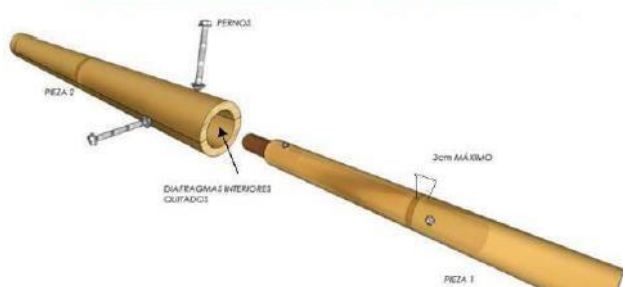
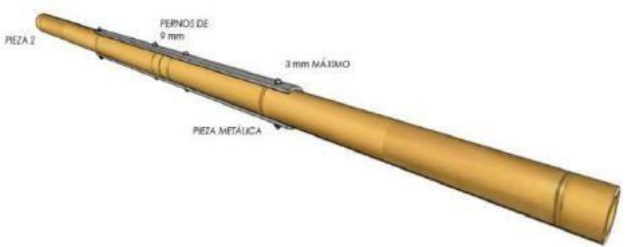
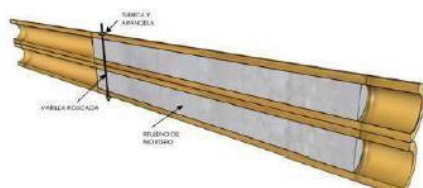
En cuanto a los tipos de uniones se tienen las siguientes:

⁴¹ CADENA, Daniel. Guía Didáctica para Diseño y Construcción de Estructuras de Guadúa (GaK) y otros Bambúes. Quito: Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR), 2018. p. 55

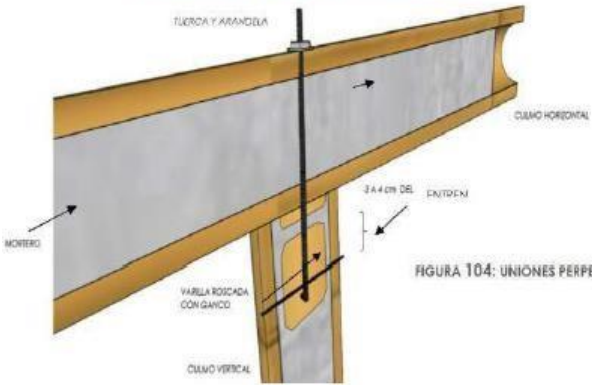
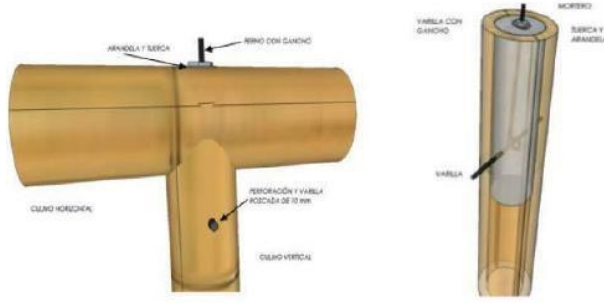
Cuadro 5. Tipos de Uniones

Unión	Descripción	Imagen
<p>Uniones con pernos y con pletinas</p>	<p>a) Las uniones con pernos se utilizan cuando las uniones se realizan con elementos relativamente grandes, por lo que es necesario el uso de pernos, acompañados de pletinas de acero.</p> <p>b) Los pernos y pletinas usados para las uniones con pernos deben ser de acero estructural con refuerzo de fluencia (deformación) no menor a 240 MPa (Unidad de presión); el diámetro mínimo permitido para los pernos es de 9,5 mm y el espesor mínimo de las pletinas (placas) será de 5 mm (3/16”).</p> <p>c) Los agujeros hechos para el relleno de los entrenudos deben tener un diámetro máximo de 26mm. Luego de que el mortero sea vaciado dentro del culmo, se debe reponer la tapa que fue extraída por el sacabocados.</p> <p>e) Se puede hacer uso de abrazaderas o zunchos metálicos para el diseño de las conexiones, tomando en cuenta las precauciones pertinentes para evitar cualquier problema de aplastamiento y falla por compresión perpendicular a la fibra en GaK y otros bambúes individuales, así como la separación y el deslizamiento entre GaK y otros bambúes conectados.</p> <p>f) Si las uniones en las cuales los culmos de Gak y otros bambúes están sometidos a cargas de aplastamiento, se debe rellenar los entrenudos cercanos a la unión y por donde pasen los pernos, con una mezcla de mortero de cemento en relación 1:3 en caso de ser posible. (puede ser también mezcla de mortero de cemento con arena y cisco (carbón), como se ha indicado anteriormente, con un aditivo moldeable que garantice la fluidez de la mezcla.</p> <p>Los elementos estructurales (columnas, vigas, estructuras de cubierta, etc.) se colocarán de acuerdo al diseño del proyecto, con uniones diversas que se adapten a cada uno de las necesidades estructurales.</p>	

Cuadro 5. (Continuación)

Unión	Descripción	Imagen
<p>Uniones Longitudinales</p>	<p>Se hará uso de las uniones longitudinales cuando se requiera aumentar la longitud de los culmos en la estructura.</p>	<p>CULMOS CONECTADOS CON PIEZA DE MADERA</p> 
	<p>Con pieza de madera: Los culmos se unirán perpendicularmente a las piezas de madera con dos pernos de 9mm como mínimo, ubicados a 30mm de los nudos como distancia máxima.</p> <p>Con dos piezas metálicas: Los culmos se conectarán con dos elementos metálicos de forma paralela al eje longitudinal del culmo, los cuales estarán sujetos con pernos de 9mm como mínimo, ubicados a 30mm de los nudos como distancia máxima.</p>	<p>CULMOS CONECTADOS CON PIEZA METÁLICA</p> 
	<p>Con dos culmos: Dos piezas de Gak u otros bambúes se conectan con dos culmos paralelos al eje longitudinal del culmo, sujetos con pernos de 9mm como mínimo, ubicados a 30mm de los nudos como distancia máxima.</p>	<p>CULMOS CONECTADOS EN FORMA PARALELA MEDIANTE PERNOS</p> 

Cuadro 5. (Continuación)

Unión	Descripción	Imagen
<p style="text-align: center;">Uniones Perpendiculares</p>	<p>Dos elementos estructurales dispuestos perpendicularmente uno del otro genera mayor seguridad en la estructura. Los siguientes puntos son algunos de los requerimientos a seguir:</p> <p>a) Los culmos que se apoyan sobre la boca de pez, deben tener un diámetro similar para que encajen en su totalidad.</p> <p>b) El culmo con forma de boca de pez no debe disponer de su diafragma inmediato e interior.</p> <p>c) El tipo de unión debe de lograr un mayor contacto entre culmos.</p> <p>d) La distancia entre nudo y parte inferior del corte de boca de pez deberá ser de entre 40 y 60mm.</p> <p>e) Dentro del culmo con forma de boca de pez se introducirá una varilla roscada de 10 mm, la cual deberá estar por debajo del nudo a 30 o 40 mm, asegurada con arandelas y tuercas.</p> <p>f) Se hará una perforación transversal perpendicular a las fibras del culmo que va a acoplarse.</p> <p>g) Se prepara el perno tensor, el cual posee un gancho en un extremo y en el otro, hilo o rosca para la tuerca.</p> <p>h) Se debe comprobar que el perno tensor disponga de una medida que satisfaga con su gancho el perno de anclaje y que en el otro sobresalga por la superficie del culmo.</p> <p>i) Finalmente, se debe enganchar el perno tensor con el perno de anclaje, el cual será introducido por medio de las perforaciones que se le realizaron al culmo de boca de pez</p>	<p style="text-align: center;">UNIONES PERPENDICULARES A</p>  <p style="text-align: center;">UNIONES PERPENDICULARES B</p>  <p style="text-align: right;">FIGURA 104: UNIONES PERPENDICULARES A</p>

Cuadro 5. (Continuación)

Unión	Descripción	Imagen
<p>Uniones diagonales</p>	<p>Por medio del corte pico de flauta, se realizan estas uniones entre una pieza vertical u horizontal con otra que no sea paralela ni perpendicular. En este corte se debe tomar en cuenta que las piezas deben estar en contacto.</p> <p>a) La unión diagonal se la puede asegurar de dos formas: Se puede poner un perno tensor y uno de anclaje y/o colocando varilla roscada en el ángulo que forma el culmo (es el tallo falso de cualquier planta) y la otra pieza diagonal.</p> <p>b) Colocar los pernos de forma diagonal provoca que las tuercas y arandelas no queden a 90 grados de la fibra del culmo, provocando agujeros en la pieza del Gak y otros bambúes. Para evitar este problema, es preferible, utilizar pequeños prismas de madera esta tiene que estar preservada es decir que haya sido tratada para utilizar en la construcción, puede ser neopreno³ o metálico, para que tenga un empalme óptimo.</p> <p>c) El ajuste del corte pico de flauta con culmos en verticales u horizontales, deben estar ajustados de manera adecuada, ajuste que corresponde a la entalladura que tiene el corte pico de flauta.</p> <p>d) La varilla roscada que atraviesa y une los culmos, debe pasar por la parte de atrás en los nudos del culmo que tiene el corte pico de flauta para evitar agujeros</p>	

Fuente. CADENA, Daniel. Guía Didáctica para Diseño y Construcción de Estructuras de Guadúa (GaK) y otros Bambúes. Quito: Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR), 2018. P. 120-123

1.6.2 Marco conceptual.

- **Acabado:** Es el estado final de recubrimiento, natural o artificial, en la superficie de una pieza de madera o guadua.
- **Armado:** Es un conjunto de estructuras empleadas para formar el esqueleto de un elemento estructural.
- **Cepa:** Es la parte de la guadua que presenta el mayor diámetro y espesor de pared.
- **Contracción:** Reducción de las dimensiones de una pieza de madera o guadua causada por la disminución del contenido de humedad.
- **Construcción sismo resistente.** La construcción sismo resistente hace referencia al tipo de estructura o edificación que se diseña y construye para “que sea capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso”⁴².
- **Dermis:** es la parte blanda del bambú.
- **Deflexión:** Es el grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza.
- **Esfuerzo:** son las fuerzas aplicadas en el centro de gravedad de la sección.
- **Entramado:** Es un marco constituido por soleras inferior y superior, y pie derechos conectados entre sí con pasadores de madera o guadua, conteniendo las riostras para aportar estabilidad.
- **Pre cortado:** Sometida a algún tipo de procedimiento, natural o químico con el objetivo de extraer la humedad y/o inmunizarla contra el ataque de agentes xilófagos o la pudrición.
- **Preservación:** Tratamiento que consiste en aplicar sustancias que son capaces de contrarrestar varios tipos de organismos que destruyen o afectan la integridad de la madera o la guadua.
- **Preservante:** Es una sustancia que se aplica para contrarrestar por su periodo de tiempo organismos que destruyen o afectan la integridad de la guadua y la madera.

⁴² COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. P. A-1

➤ **Secado:** Proceso por el cual se reduce el contenido de humedad de la madera y la guadua.

➤ **Viga:** Elemento cuyo trabajo principal es la flexión.

➤ **Vigueta:** Es un elemento secundario que trabaja a flexión.

➤ **Vivienda:** Es un lugar cerrado y cubierto para ofrecer refugio y protección de las condiciones climáticas además de proporcionar un espacio para desarrollar actividades cotidianas.

1.6.3 Marco legal. A continuación, se relacionan las diferentes normatividades aplicables al manejo de la guadua en construcción (véase el Cuadro 6)

Cuadro 6. Normatividad para el uso de la Guadua en Construcción

NORMA	Descripción
NSR-10 TITULO G	ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA. Teniendo en cuenta que la guadua aceptada como material de construcción en Colombia, el título G tiene unas normas para su selección, proceso o tratamiento y pruebas físicas que garantizan calidad en el uso de la construcción ⁴³ .
NSR-10 TITULO E	CASAS DE UNO Y DOS PISOS. Define las especificaciones técnicas de diseño para la construcción de este tipo de viviendas. Específicamente para este proyecto, se ha tomado como base la tipología empleada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural elaborada por el Banco Agrario que corresponde a un sistema estructural de muros confinados ⁴⁴ .
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525 - 2007.	Esta norma especifica los métodos de ensayo para evaluar las propiedades físicas y mecánicas características de la Guadua angustifolia Kunth. La norma comprende los ensayos que se van a realizar sobre segmentos de Guadua angustifolia Kunth, para obtener resultados de laboratorio, los cuales se pueden utilizar para establecer valores y resistencias. Los resultados también se pueden usar para establecer la relación de propiedades físicas y factores mecánicos, como contenido de humedad, densidad, sitio de cultivo, posición a lo largo del culmo, presencia de nudo y entrenudo, contracción, compresión, flexión, corte y tensión etc., para las funciones de control de calidad ⁴⁵ .
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN.	Construcción de Vivienda de Interés Social Rural. En este documento se presenta un modelo de diseño que, en este caso, facilita la formulación de un Proyecto para la construcción de unidades de vivienda de interés social rural ⁴⁶ .
LEY 617 DE 2000	Habla sobre la vivienda de interés prioritaria

⁴³ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

⁴⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título E. Casas de uno y dos pisos. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

⁴⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth. Bogotá: ICONTEC, 2007.

⁴⁶ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Construcción de Vivienda de Interés Social Rural. Bogotá: Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas Construcción, 2017.

Cuadro 5. (Continuación)

NORMA	Descripción
LEY 3 DE 1991	En esta ley se habla de la creación del sistema nacional de viviendas de interés social. por la cual se crea el Sistema Nacional de Vivienda de Interés Social, se establece el subsidio familiar de vivienda, se reforma el instituto de crédito territorial, ICT, y se dictan otras disposiciones
REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO - RAS 2000	Señala los requisitos que deben cumplir las obras, equipos y procedimientos operativo que se utilicen en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y sus actividades complementarias
LEY 1114 DE 2006	Destinación de los subsidios de vivienda a nivel nacional para VIS rural y urbana. Define el ahorro voluntario en el fondo nacional del ahorro y reglamenta la participación e independencia de este por parte de las fuerzas militares
RESOLUCIÓN 1740 DE 2016	Por la cual se establecen lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambudales

Fuente. Los Autores

1.6.4 Marco Geográfico de la Guadua. La Guadua es una especie que se adapta y desarrolla en muy diversas condiciones; sin embargo, existen sitios con ciertas características que proporcionan un mejor ambiente y permiten su desarrollo y crecimiento óptimo. Dichas características ecológicas deben ser tenidas en cuenta en los futuros planes de repoblación y manejo de la especie. El mejor desarrollo de la especie *Guadua angustifolia*, se logra en sitios con altitudes comprendidas entre 900 y 1500 m.s.n.m. Dicho desarrollo está representado en una mayor cantidad de individuos con diámetros elevados y en una mejor resistencia mecánica de la madera. Altitudes superiores a 1500 m, pueden retrasar el desarrollo de la especie, debido a la presencia de temperaturas bajas por espacios de tiempo prolongados. Por el contrario, sitios con alturas por debajo de los 1000 m.s.n.m, muestran temperaturas elevadas (mayores a 26 °c), lo que ocasiona la pérdida desproporcionada de agua de la lámina foliar y del suelo y por consiguiente un retraso en el desarrollo y crecimiento.

La humedad del suelo se encuentra estrechamente correlacionada con el desarrollo de la especie. La precipitación es el factor climático que más afecta el desarrollo y crecimiento de la Guadua, es así, como en sitios secos ó muy húmedos, se encontraron los guaduales con las características de desarrollo más deficientes. Precipitaciones superiores a 2100 mm e inferiores a 1100 mm anuales, son un limitante para el desarrollo óptimo. A su vez la distribución de la precipitación a lo largo del año influye en el comportamiento general de la especie. Edáficamente las áreas naturales de la Guadua comprenden suelos aluviales, de cenizas volcánicas e ígneas. Por lo general son suelos francos. De buena fertilidad y buen drenaje, ubicados en valles interandinos y zonas onduladas de montaña, siendo 15 los de montaña, los de mejor desarrollo. En suelos muy pesados, arcillosos, no crece muy

bien la planta⁴⁷.

En este sentido, Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en Colombia la guadua se encuentra distribuida a lo largo de la cordillera central y la zona céntrica del país en los departamentos de Antioquia, Cauca, Caldas, Cundinamarca, Huila, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca y se calcula que existen entre 50.000 y 60.000 hectáreas de guadua de los cuales el 95% son guaduales naturales y el 5% son cultivados, de éstos solo se aprovecha el 40% del total, es decir 24.000 hectáreas, y que según algunos autores las áreas naturales y plantadas alcanzan 36.181 hectáreas, de las cuales 31.8286 están en el Eje Cafetero, Tolima y Valle del Cauca. Por lo anterior, las áreas de guaduales naturales y plantados en Colombia presentan la siguiente distribución según áreas por departamento (véase el Cuadro 7).

Cuadro 7. Área de guaduales Naturales y Plantados en Colombia

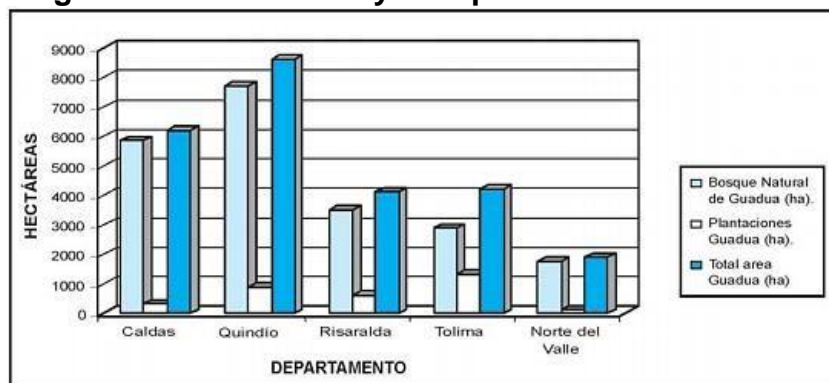
Departamento	Naturales área en has.	Plantados- área en ha.	Total área en ha.
Caldas	5875	320	6195
Quindío	7708	905	8613
Risaralda	3515	615	4130
Tolima	2896	1326	4222
Valle del Cauca	6992	1950	8942
Norte del Valle	2696	229	2925
Subtotal eje Cafetero	29682	5345	35027
Cundinamarca	378	228	606
Antioquia	489		498
Putumayo y Caquetá	2000		2000
Cauca	1500	300	1800
Huila		1610,9	1610,9
Subtotal otros departamentos	4367	528	4895
Total país	34049	5873	41532,9

Fuente. SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA. Caracterización de la guadua. Bogotá: SENA, 2005.

En cuanto al área total de guadua sembrada y natural, el departamento del valle del Cauca por su extensión, posee un 25.53% del área total registrada para el Eje Cafetero, le sigue Quindío con un 24.58%, y el Eje Cafetero cuenta con el 84.33% del área de guaduales naturales y plantados reconocidos en el país (véase la Figura 6)

⁴⁷ FORERO MARIN, German y SOUZA WEICH, Herman. La guadua un sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima – Cundinamarca. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de Especialización en gerencia de proyectos de ingeniería, 2007

Figura 6. Plantaciones y Bosques Natural en Guadua



Fuente. SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA. Caracterización de la guadua. Bogotá: SENA, 2005.

Como se puede observar se destaca que en el país se ha incrementado paulatinamente los aprovechamientos de este recurso, tanto por el incremento de nuevas áreas plantadas, como por el manejo de las áreas naturales de los departamentos que tradicionalmente aprovechan la guadua, así como la nueva inclusión de la guadua como alternativa productiva en otros departamentos. De acuerdo con lo anterior, se puede observar que el departamento del Quindío es el que ha más aprovechamiento de la guadua realiza, gracias al área cubierta por bosques naturales y plantados, por lo cual la guadua que se utilizará en esta investigación será la proveniente del Municipio de Montenegro Quindío (véase las Figuras 7 y 8).

Figura 7. Localización Montenegro Quindío



Fuente. ALCALDÍA MONTENEGRO. Ubicación del municipio [en línea]. Disponible en www.montenegro-quindio.gov.co/

Figura 8. Ubicación de Plantaciones de Guadua en Montenegro Quindío



Fuente. Google Eart

1.6.5 Estado del arte. Los materiales para la construcción de casas deben caracterizarse por su función en la arquitectónica, la resistencia y la estética de éstas, por lo tanto, sus propiedades físicas son un aspecto indispensable a la hora de seleccionarlos, en este sentido, Barreto y González (2018), al realizar un estudio sobre la durabilidad de estructuras en la guadua AK, determinaron que para hacer un uso correcto de ésta se debe tener en cuenta seguir algunos métodos de tratamiento y preservación, ya que uno de los parámetros de mayor incidencia en su durabilidad es su contenido de humedad. “Este parámetro determina principalmente los cambios de dimensión geométrica de los elementos, sus propiedades mecánicas, y la posibilidad de gestación y aumento de agentes bióticos en el material”⁴⁸.

⁴⁸ BARRETO, Walter y GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo. Estudio de durabilidad en las estructuras de bambú guadua angustifolia kunth de la Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia – Colombia. XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeir. Sao Carlos: IBRAMEM, 2018. p. 4

Al respecto Schröder (2018), después de realizar estudios comparativos a varias especies de Guadua, estableció que la guadua con bajo contenido de humedad tiene una mayor resistencia a la compresión que la guadua con alto contenido de humedad. Adicionalmente, los resultados de la comparación mostraron que la resistencia a la compresión de la variedad *Angustifolia* Kunth está situada aproximadamente entre 40 y 80 N / mm², que es de dos a cuatro veces el valor de la mayoría de las especies de madera; dejando claro además que, la edad y el contenido de humedad de las muestras de bambú tienen una influencia significativa en la resistencia a la compresión. Adicionalmente, que la guadua AK ofrece la mayor resistencia al corte en la parte media y superior de una muestra de tallo de 3-4 años, siendo la resistencia al corte promedio de **8 N / mm²** (con un contenido de humedad de aproximadamente 56.6%). En cuanto a la resistencia a la tracción, este estudio mostró, que en promedio la guadua se sitúa aproximadamente en torno a 160 N / mm², que a menudo es 3 veces mayor que la mayoría de las vigas de construcción convencionales⁴⁹.

Por otro lado, la resistencia a la flexión tiene una influencia directa en el comportamiento de una estructura, por lo que es necesario predecir la desviación de cada elemento de una estructura antes de su construcción, por tanto al realizar sus ensayos encontraron que la resistencia a la flexión de la mayoría de las especies de guadua entre 50 y 150 N / mm² y es en promedio dos veces más fuerte que la mayoría de las maderas estructurales convencionales, sin embargo, la variedad *angustifolia* Kunth tiene una resistencia a la flexión promedio de 100 N / mm².

Además, Arévalo & Mantilla (2016), en trabajo sobre sistemas constructivos con guadua, establecieron que la guadua puede soportar grandes tensiones propias de la construcción, esto teniendo en cuenta el uso dado, pues la tensión se basa en el diseño estructural, por lo que pueden soportar un módulo de Elasticidad de 18.000 N/mm². Sin embargo, aclaran que al ser un material natural, sus propiedades varían dependiendo de factores como la humedad en la que se encuentre, el lugar de procedencia o como se ha cultivado, por lo tanto se deben tener en cuenta para su utilización⁵⁰

Ahora bien, según las experiencias analizadas sobre viviendas construidas utilizando guadua como material constructivo, el diseño estructural de una vivienda en guadua puede llegar a comprometer de manera significativa el diseño arquitectónico al no contemplarse desde el inicio del proyecto las diagonales necesarias para la conformación de los marcos reforzados, que son necesarios para

⁴⁹ SCHRÖDER, Stéphane. What are the Mechanical Properties of Bamboo? [en línea]. Netherlands: Bamboo import Europe [citad 12 noviembre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.bambooimport.com/en/what-are-the-mechanical-properties-of-bamboo>>

⁵⁰ ARÉVALO SANABRIA, Arcelia Alexandra y MANTILLA NIÑO, Georgia Francesca. Análisis e implementación del sistema constructivo en guadua como material sostenible en la construcción de vivienda. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad De Ingeniería Civil. Modalidad trabajo de grado, 2016. p. 52

lograr los parámetros básicos de resistencia mecánica incluidos en la NSR -10⁵¹, al respecto la NSR -10 menciona que los marcos deben sujetarse mediante diagonales que, además, todos los nudos deben estar articulados, esta condición implica que las estructuras de guadua son generalmente estructuras muy rígidas, que sumado a factores como la variabilidad, la presencia de nodos, la constante hinchazón y contracción y la superficie redonda del material, pueden dificultar el proceso de construcción y presentar problemas de funcionalidad⁵², por lo tanto, durante el proceso de construcción, la variabilidad natural de la guadua requiere que se traten los diferentes diámetros, las longitudes de los entrenudos y la característica de afilado del bambú.

Por otro lado, la guadua *angustifolia kunth* sobresale por su relación resistencia/peso que lo define como un material idóneo para construcciones sismo resistentes, pues según ensayos realizados a culmos, su resistencia supera resistencias nominales de hormigones de uso común⁵³ y que el contenido de humedad en el que se utiliza el material como elemento estructural no afecta la resistencia a la tracción de las fibras; sin embargo, en ese sentido, un estudio sugiere que se debe tener presente el deterioro biológico del material, pues puede ser una falencia para la protección de elementos de construcción externos como columnas, revestimientos o rejas, por tanto se deben utilizar recubrimientos porosos abiertos y realizar un mantenimiento exhaustivo cada 4 a 6 meses⁵⁴.

Finalmente, las investigaciones han advertido que la guadua es un material que funciona muy bien antes de las fuerzas axiales paralelas a las fibras del material, ya sea tensión o compresión, sin embargo, y a pesar que la guadua tiene una gran flexibilidad, para los elementos sometidos a flexión, los diseños deben ser altamente controlados por el aplastamiento debido a la poca resistencia a la compresión perpendicular del material⁵⁵, y a las deformaciones que se puedan presentar, por lo que se deben hacer verificaciones de los valores de esfuerzos admisibles, para que no sean excedidos por los valores de esfuerzos actuantes de la estructura.

⁵¹ GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo. Analysis of study cases for structural design of guadua *Angustifolia Kunth* buildings designed according to the requirements of the NSR-10, Title G.12 [en línea]. Bogotá: Universidad La Gran Colombia [citado 21 abril, 2019]. Disponible en Internet: <URL: https://umanitoba.ca/faculties/engineering/departments/ce2p2e/alternative_village/media/16th_NOCMAT_2015_submission_66.pdf>

⁵² ARCHILA; ANSELL y WALKER, Op. cit., p. 6.

⁵³ RODRÍGUEZ LÓPEZ, Op. cit., p. 108

⁵⁴ ARCHILA; ANSELL y WALKER, Op. cit., p. 7

⁵⁵ GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo. Analysis of study cases for structural design of guadua *Angustifolia Kunth* buildings designed according to the requirements of the NSR-10, Title G.12 [en línea]. Bogotá: Universidad La Gran Colombia [citado 21 abril, 2019]. Disponible en Internet: <URL: https://umanitoba.ca/faculties/engineering/departments/ce2p2e/alternative_village/media/16th_NOCMAT_2015_submission_66.pdf>

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Enfoque metodológico. Teniendo en cuenta el alcance de la investigación, se evidencia un enfoque metodológico cuantitativo y cualitativo que permite obtener información real y medible sobre el uso de guadua *Angustifolia Kunth* como material de construcción en el diseño de una vivienda de interés social rural. Con ese proyecto se busca elaborar el diseño arquitectónico y estructural de una vivienda de interés social rural.

El estudio se basa en la presentación de información cualitativa y cuantitativa de la guadua como material alternativo de construcción para posible solución del déficit de viviendas rurales

1.7.2 Tipo de investigación. Se desarrolla una investigación descriptiva, se identifica, determina y relaciona información recopilada sobre construcción de viviendas de interés social rural teniendo en cuenta diseños, especificaciones técnicas, requerimientos normativos y uso de materiales sostenibles como la guadua.

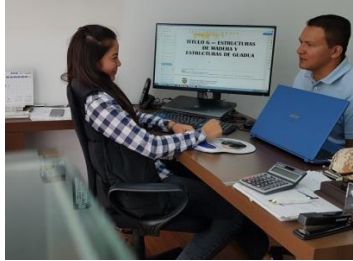

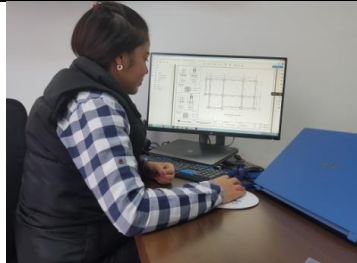
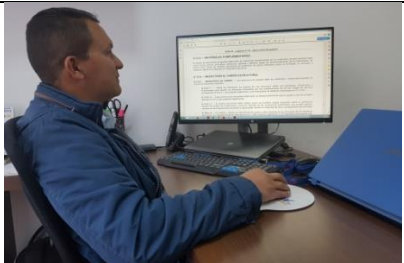

La investigación es de carácter experimental, pues se toman variables como propiedades físico mecánicas, de absorción y humedad de la variedad de guadua proveniente del Municipio de Montenegro Quindío, esto mediante la realización de ensayos de laboratorio que determinaron la resistencia mecánica, flexión, tracción y compresión de la guadua *Angustifolia Kunth*.

Los ensayos se realizaron en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Católica de Colombia, comprobando el cumplimiento del material según lo exigido en la normatividad colombiana con el grupo de investigación.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación se desarrolla en su etapa inicial con base en una revisión bibliográfica y documental acerca de las normatividades colombianas existentes sobre la construcción de viviendas de interés social y el uso de guadua como material de construcción. El diseño metodológico, por tanto, se divide en dos fases principales que se relacionan a continuación (véase el Cuadro 8).

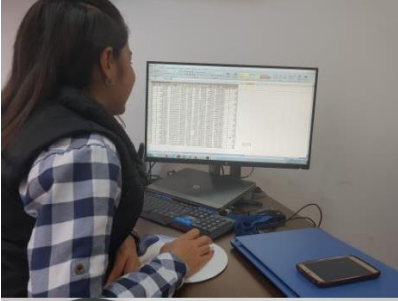
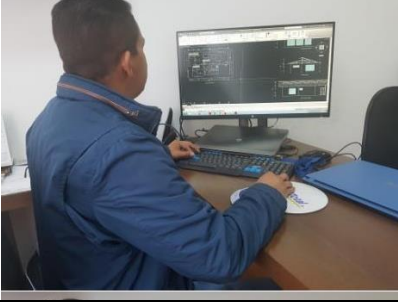
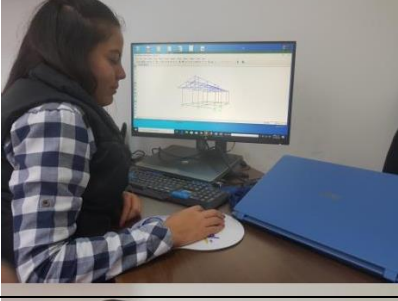
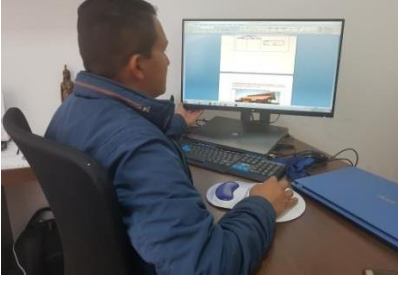
Cuadro 8. Fases del Diseño Metodológico

Fase 1. Recopilación de información Bibliográfica y Documental		
No.	Actividad	Registro fotográfico
1	Recopilar información de las diferentes normas que regulan la construcción de viviendas de interés social y el uso de guadua en edificaciones	
2	Caracterizar los requisitos de calidad para la guadua estructural según la normatividad	
3	Determinar las bases y requerimientos técnicos para el diseño arquitectónico y estructural de viviendas (VIS) en guadua	
4	Identificar y describir los elementos de diseño de viviendas en guadua según la normatividad	
Fase 2 Diseño arquitectónico y estructural de una vivienda de interés social rural en guadua Angustifolia Kunth.		
1	Adquisición y selección de guadua para realizar los ensayos de laboratorio	

Cuadro 7. (Continuación)

No.	Actividad	Registro fotográfico
2	Identificación de tratamientos de preservación aplicados a la guadua <i>Angustifolia Kunth</i> adquirida	
3	Realización de ensayos de laboratorio de resistencia mecánica a flexión, compresión paralela y tracción de la guadua <i>Angustifolia Kunth</i>	
		
4	Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio	
5	Determinar parámetros de diseño arquitectónicos y estructural de una vivienda de interés social rural en guadua	

Cuadro 7. (Continuación)

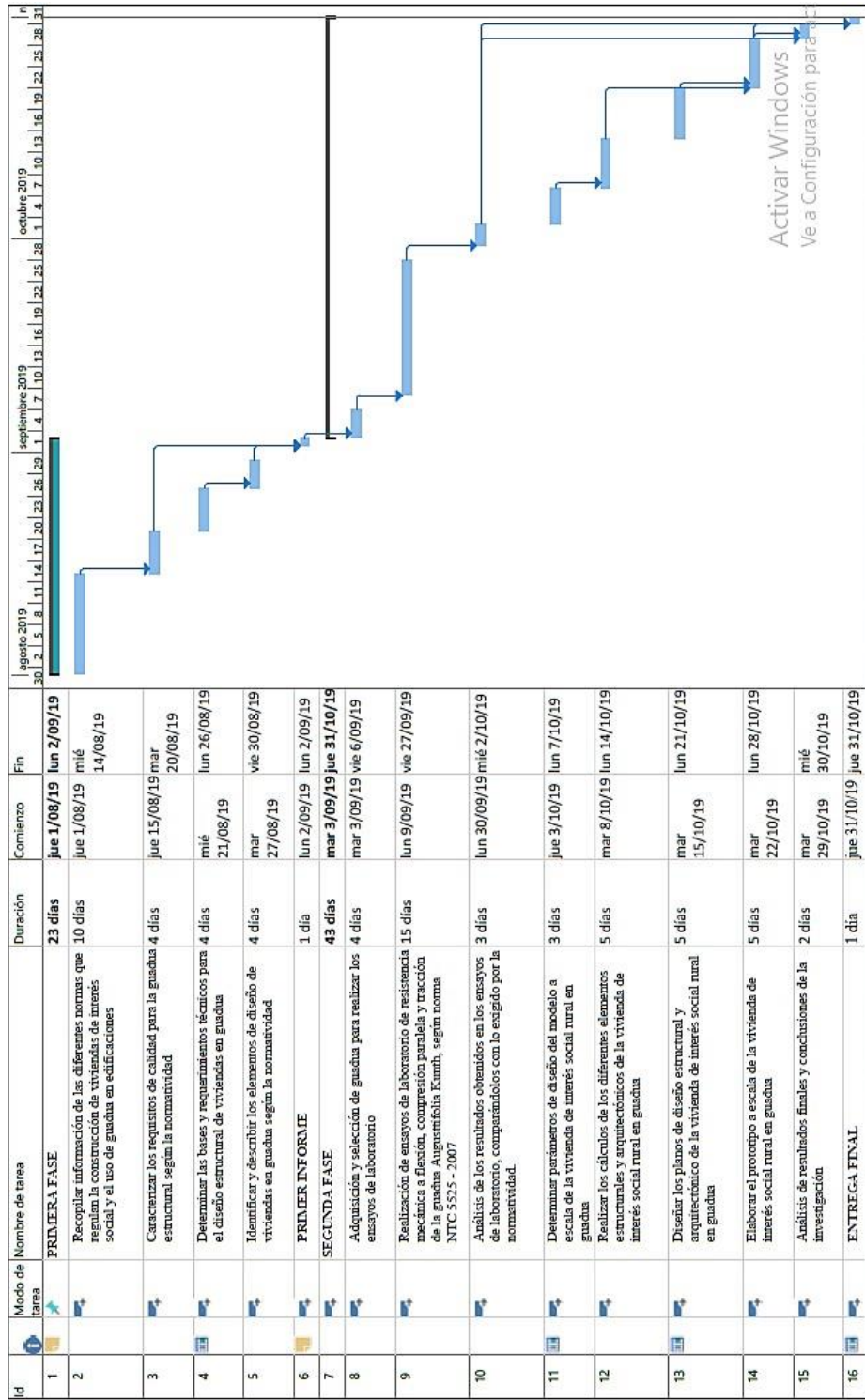
No.	Actividad	Registro fotográfico
6	Realizar los cálculos de los diferentes elementos estructurales y arquitectónicos de la vivienda de interés social rural en guadua	
7	Diseñar los planos de diseño estructural y arquitectónico de la vivienda de interés social rural en guadua	
8	Modelación digital de la vivienda de interés social rural en guadua	
9	Resultados finales y conclusiones de la investigación	

Fuente. Los Autores

1.9 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta el cronograma de actividades para el desarrollo de la investigación (véase la Figura 9)

Figura 9. Cronograma de Actividades



Fuente. Los Autores.

2. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE SISMO RESISTENCIA DEFINIDOS POR NORMAS COLOMBIANAS PARA CONSTRUCCIONES EN GUADUA

2.1 REQUERIMIENTOS PARA EL USO ESTRUCTURAL DE LA GUADUA

2.1.1 Requisitos para el uso de guadua en estructuras según Norma NSR 10.

La guadua es ha sido catalogada como un material de construcción sostenible versátil debido a su alta resistencia y su condición de material amigable con el medio ambiente. En cuanto a su resistencia, Sapuyes, Osorio, Takeuchi, Duarte y Erazo (2017), exponen que la guadua AK muestra propiedades estructurales pendientes comparables con el acero y algunas fibras altamente tecnológicas, gracias a su capacidad de absorción de energía lo que le permite admitir altos niveles de flexión, siendo de este modo, ideal para usarse en la construcción de estructuras sismo resistentes seguras y de bajo costo. Por otro lado, la guadua AK muestra gran versatilidad al poder adaptarse a diferentes formas y estilos de diseño arquitectónico permitiendo de esta manera llevar a obtener múltiples acabados, es decir, que permite que se puedan construir casas al gusto y a la medida que se desee, gracias a que los esqueletos estructurales pueden ser fabricados para ensamblarse en formas específicas.

Sin embargo, y pese a estas características favorables que presenta la guadua AK, todo material para ser usado en construcción, (especialmente de estructuras como casas y puentes) deben cumplir con ciertos parámetros y requerimientos de calidad, que para el caso de la guadua AK se detallan en el Título G capítulo G-12 de la Norma Sismo resistente Colombia NSR-10 , la cual establece que dichos parámetros pueden ser usados para diseños de estructuras construidas totalmente con guadua, o para estructuras mixtas de guadua y otros materiales, como es el caso de la presente investigación, ya que la casa de interés social rural que se diseña contempla usar la guadua AK para la estructura y otros materiales para revestimientos y demás.

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se especifican los principales parámetros establecidos en la NSR-10 (véase el Cuadro 9).

**Cuadro 9. Requisitos para Diseños de Estructuras en Guadua AK según
Título G Norma Sismo Resistente NSR-10**

Parámetro	Descripción
Requisitos de Calidad	<p>La guadua rolliza utilizada como elemento de soporte estructural en forma de columna, viga, vigueta, pie derecho, entramados, entrepisos etc., debe cumplir con los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Edad de cosecha entre los 4 y los 6 años. ➤ Contenido de humedad debe corresponder con el contenido de humedad de equilibrio del lugar. Cuando las edificaciones se construyan con guadua en estado verde se deben tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño. ➤ Debe tener una buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. ➤ Deben aplicarse todos los recursos para protegerla mediante el diseño del contacto con la humedad, la radiación solar, los insectos y los hongos (métodos de preservación)
Clasificación por defectos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No pueden presentar una deformación inicial del eje mayor al 0.33% de la longitud del elemento ➤ No deben presentar una conicidad superior al 1.0% ➤ No pueden presentar fisuras perimetrales en los nudos ni fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento. En caso de tener elementos con fisuras, estas deben estar ubicadas en la fibra externa superior o en la fibra externa inferior ➤ No pueden tener agrietamientos superiores o iguales al 20% de la longitud del culmo ➤ No deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos antes de ser utilizadas, así como tampoco pueden presentar ningún grado de pudrimiento
Requisitos De Diseño	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Todos los elementos de la estructura deben ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de las cargas de servicio y las limitaciones de deflexión ➤ Debe tener un sistema estructural que se ajuste a uno de los siguientes tipos: sistemas de muros de carga, sistemas combinados, sistemas de pórtico y sistemas dual ➤ El diseño estructural debe reflejar todas las posibles cargas actuantes sobre la estructura durante las etapas de construcción y servicio; además de las condiciones ambientales que puedan generar cambios en las suposiciones de diseño o que pueden afectar la integridad de otros componentes estructurales. ➤ El análisis y diseño debe basarse en los principios de la mecánica estructural. ➤ Los elementos se considerarán homogéneos y lineales para el cálculo de los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas. ➤ El Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico para estructuras de guadua, cuyo sistema de resistencia sísmica sea el de pórticos con diagonales será de $R_0 = 2.0$. En el caso, en que el sistema de resistencia sísmica sea proporcionado por muros de madera laminada o muros de bahareque encementado, se debe tomar el valor correspondiente de R_0, para el sistema elegido

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 107-108.

2.1.2 Métodos de Diseño Estructural en Guadua según normatividad. La normatividad colombiana establece que todos los elementos de diseño estructural usando guadua AK deben diseñarse para que los esfuerzos aplicados, producidos por las cargas de servicio, sean iguales o menores que los esfuerzos admisibles y tener en cuenta además los módulos de elasticidad (véase los Cuadros 10 y 11), destacando que todas las uniones usadas para estas estructuras al considerarse articuladas a las mismas, no generara “transmisión de momentos entre los diferentes elementos que conformen una unión, salvo si uno de los elementos es continuo, en este caso habrá transmisión solo en el elemento continuo”⁵⁶.

Cuadro 10. Esfuerzos admisibles F_i (MPa), CH=12%

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión	F_p^* Compresión \perp	F_v Corte
15	18	14	1.4	1.2

|| = compresión paralela al eje longitudinal.
 \perp = compresión perpendicular al eje longitudinal.
 *La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 119.

Cuadro 11. 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

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 119.

Para el análisis de elementos estructurales se debe utilizar “ $E_{0.5}$, como módulo de elasticidad del material. El E_{min} se debe utilizar para calcular los coeficientes de estabilidad de vigas (C_L) y de Columnas (C_p). El $E_{0.05}$ se debe utilizar para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean críticas o requieran un nivel de seguridad superior al promedio”⁵⁷.

⁵⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Op. Cit., p. 119

⁵⁷ *Ibíd.*, p. 120

2.1.3 Requisitos Generales de construcción sismo resistente.

2.1.3.1 Diseño Arquitectónico. La norma colombiana sismo resistente NSR-10 establece en su Título A los requisitos de diseño arquitectónico para construcciones, indicando los usos de cada una de las partes de la edificación y su clasificación, el tipo de cada uno de los elementos no estructurales y el grado de desempeño mínimo que deben tener⁵⁸. En este sentido, el numeral A.2.5.1 establece los siguientes tipos de uso:

➤ Grupo IV — Edificaciones indispensables — Son aquellas de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno.

➤ Grupo III — Edificaciones de atención a la comunidad — Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV.

➤ Grupo II — Estructuras de ocupación especial — Cubre las siguientes estructuras:

- (a) Edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón,
- (b) Graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez,
- (c) Almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso,
- (d) Edificaciones de hospitales, clínicas y centros de salud
- (e) Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas, y
- (f) Edificios gubernamentales.

Grupo I — Estructuras de ocupación normal — Todas las edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV⁵⁹.

Para el momento del diseño, se debe tener en cuenta el coeficiente de importancia, I cuyos valores se muestra en el Cuadro 12, y que modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación.

⁵⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A — requisitos Generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.15

⁵⁹ *Ibíd.*, p. 38

Cuadro 12. Tabla A.2.5-1 Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A — requisitos Generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.38

Así mismo establece algunos criterios especiales a tener en cuenta, primero el relacionado con construcciones ubicadas en zonas de amenaza y movimientos sísmicos, la normatividad específica que las estructuras se deben tener en cuenta los movimientos sísmicos de diseño, los cuales son definidos en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_a , y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro A_v , en este sentido, se determinó que la región del Quindío, región a la que se dirige el diseño de la casa de interés social rural en guadua propuesta, presenta una amenaza sísmica alta, pues tiene una aceleración pico efectiva $A_a = 25$ y Velocidad pico efectiva $A_v = 25$, como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Tabla A.2.3-2 Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A — requisitos Generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.28

Por otro lado, se tiene el criterio relacionado con el suelo, pues en para el diseño de cualquier estructura se deben tener presentes datos geotécnicos como el perfil de suelo, el cual se debe basar en “los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos en el sitio”⁶⁰, y que se clasifican de la siguiente manera (véase el Cuadro 14).

⁶⁰ *Ibíd.*, p. 34

Cuadro 14. Tabla A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	Activar W Ve a Configu

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A — requisitos Generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.34

Otro requisito sismo resistente es el espectro de diseño, en donde la forma del espectro elástico de aceleraciones, S_a expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, utilizando para el cálculo de períodos de vibración menores de TC, el valor de S_a limitándose al obtenido de la siguiente ecuación:

Espectro de aceleraciones A.2.6.1 La forma del espectro elástico de aceleraciones, a S expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura A.2.6-1 y se define por medio de la ecuación A.2.6-1, con las limitaciones dadas en A.2.6.1.1 a A.2.6.1.3.

Ecuación 1.

$$S_a = \frac{1.2 A_V F_V I}{T} \quad (\text{A.2.6-1})$$

A.2.6.1.1 — Para períodos de vibración menores de $C T$, calculado de acuerdo con la ecuación A.2.6-2, el valor de $a S$ puede limitarse al obtenido de la ecuación A.2.6-3.

Ecuación 2.

$$T_C = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad S_a = 2.5 A_a F_a I \quad \text{(A.2.6-2) y}$$

A.2.6.1.2 — Para períodos de vibración mayores que $L T$, calculado de acuerdo con la ecuación A.2.6-4.

Ecuación 3.

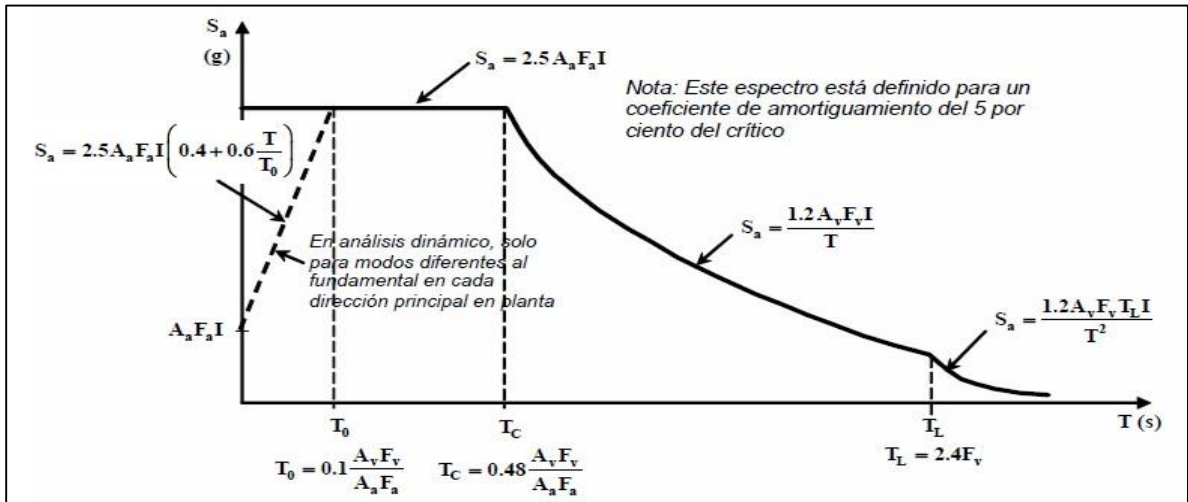
$$T_L = 2.4 F_v \quad \text{(A.2.6-4)}$$

A.2.6.1.3 Cuando se utilice el análisis dinámico, tal como se define en el Capítulo A.5, para períodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de $0 T$ calculado de acuerdo con la ecuación A.2.6-6.

Ecuación 4.

$$T_0 = 0.1 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad \text{(A.2.6.-2)}^{61}$$

Figura 10. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A — requisitos Generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.39.

⁶¹ Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A — requisitos Generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.26 capítulo A2

Así mismo, la norma establece que cuando se utilice el análisis dinámico, para períodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de T_0 calculado de acuerdo con la ecuación 11, el espectro de diseño puede obtenerse de la ecuación 12.

2.1.3.2 Cargas Vivas y cargas muertas. El título B de la NSR – 10, en si numeral B2.3 combinaciones de carga para ser utilizadas con el método de esfuerzos de trabajo o en las verificaciones del estado límite de servicio, establece que, “excepto cuando así se indique en la parte correspondiente a cada uno de los materiales que se regulan en el reglamento NSR-10, deben tenerse en cuenta todas las cargas indicadas actuando en las combinaciones que se dan. El diseño debe hacerse para la combinación que produzca el efecto más desfavorable en la edificación, en su cimentación, o en el elemento estructural bajo consideración, según las combinaciones básicas (véase la Figura. El efecto más desfavorable puede ocurrir cuando una o varias de las cargas no actúen”⁶².

Figura 11. Combinaciones Básicas de carga para ser utilizadas con el método de esfuerzos de trabajo o en las verificaciones del estado límite de servicio

$D + F$
$D + H + F + L + T$
$D + H + F + (L_T \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
$D + H + F + 0.75(L + T) + 0.75(L_T \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
$D + H + F + W$
$D + H + F + 0.7E$
$D + H + F + 0.75W + 0.75L + 0.75(L_T \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
$D + H + F + 0.75(0.7E) + 0.75L + 0.75(L_T \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
$0.6D + W + H$
$0.6D + 0.7E + H$

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.11

⁶² COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.11

Así mismo, el numeral B2.4 Combinaciones de cargas mayoradas usando el método de resistencia, establece para las combinaciones básicas que, el diseño de las estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño iguallen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las siguientes combinaciones:

Figura 12. Combinaciones básicas de cargas mayoradas usando el método de resistencia

$1.4(D + F)$ $1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_T \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$ $1.2D + 1.6(L_T \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (L \text{ ó } 0.8W)$ $1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_T \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$ $1.2D + 1.0E + 1.0L$ $0.9D + 1.6W + 1.6H$ $0.9D + 1.0E + 1.6H$
--

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.12.

Por otro lado, la norma establece que las cargas muertas “cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación. Las fuerzas netas de preesfuerzo deben incluirse dentro de la carga muerta”⁶³, adicionalmente establece que al calcular las cargas muertas deben utilizarse las densidades de masa reales (en kg/m³), por lo que en el Cuadro 15 se muestran los valores de la densidad de masa en kg/m³ para los materiales de uso más frecuente.

⁶³ Ibid., p. 15

Cuadro 15. Tabla B.3.2-1 Masas de los materiales

<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
Acero	7 800	Mortero de inyección para mampostería	2 250
Agua		Mortero de pega para mampostería	2 100
Dulce	1 000	Piedra	
Marina	1 030	Caliza, mármol, cuarzo	2 700
Aluminio	2 700	Basalto, granito, gneis	2 850
Arena		Arenisca	2 200
Limpia y seca	1 440	Pizarra	2 600
Seca de río	1 700	Plomo	11 400
Baldosa cerámica	2 400	Productos bituminosos	
Bronce	8 850	Asfalto y alquitrán	1 300
Cal		Gasolina	700
Hidratada suelta	500	Grafito	2 160
Hidratada compacta	730	Parafina	900
Carbón, apilado	800	Petróleo	850
Carbón vegetal	200	Relleno de ceniza	920
Cemento pórtland, a granel	1 440	Tableros de madera aglutinada	750
Cobre	9 000	Terracota	
Concreto simple	2 300	Poros saturados	1 950
Concreto reforzado	2 400	Poros no saturados	1 150
Corcho, comprimido	250	Tierra	
Estaño	7 360	Arcilla húmeda	1 750
Grava seca	1 660	Arcilla seca	1 100
Hielo	920	Arcilla y grava seca	1 600
Hierro		Arena y grava húmeda	1 900
Fundido	7 200	Arena y grava seca apisonada	1 750
Forjado	7 700	Arena y grava seca suelta	1 600
Latón	8 430	Limo húmedo consolidado	1 550
Madera laminada	600	Limo húmedo suelto	1 250
Madera seca	450-750	Vidrio	2 600
Mampostería de concreto	2 150	Yeso en tableros para muros	800
Mampostería de ladrillo macizo	1 850	Yeso suelto	1 150
Mampostería de piedra	2 200	Zinc en láminas enrolladas	7 200

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.15.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta los elementos no estructurales horizontales para las cargas muertas, cuyos valores mínimos se relacionan en los Cuadros 16, 17, 18 y 19

Cuadro 16. Tabla B.3.4.1-1 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – Cielo raso

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) m² de área en planta</i>	<i>Carga (kgf/m²) m² de área en planta</i>
<i>Cielo raso</i>		
Canales suspendidas de acero	0.10	10
Ductos mecánicos	0.20	20
Entramado metálico suspendido afinado en cemento.	0.70	70
Entramado metálico suspendido afinado en yeso.	0.50	50
Fibras acústicas	0.10	10
Pañete en yeso o concreto	0.25	25
Pañete en entramado de madera	0.80	80
Tableros de yeso	0.0080 (por mm de espesor)	8 (por cm de espesor)
Sistema de suspensión de madera.	0.15	15

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.16.

Cuadro 17. Tabla B.3.4.1-2 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – relleno de pisos

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) m² de área en planta</i>	<i>Carga (kgf/m²) m² de área en planta</i>
<i>Relleno de piso</i>		
Arena	0.0150 (por mm de espesor)	15 (por cm de espesor)
Concreto con escoria	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Concreto con piedra	0.0250 (por mm de espesor)	25 (por cm de espesor)
Concreto ligero	0.0150 (por mm de espesor)	15 (por cm de espesor)

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.16.

Cuadro 18. Tabla B.3.4.1-3 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) m² de área en planta</i>	<i>Carga (kgf/m²) m² de área en planta</i>
<i>Pisos y acabados</i>		
Acabado de piso en concreto	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Afinado (25 mm) sobre concreto de agregado pétreo	1.50	150
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero.	0.80	80
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 25 mm de mortero.	1.10	110
Baldosa sobre 25 mm de mortero	1.10	110
Bloque de asfalto (50 mm), sobre 12 mm de mortero	1.50	150
Bloque de madera (75 mm) sin relleno	0.50	50
Bloque de madera (75 mm) sobre 12 mm de mortero	0.80	80
Durmientes de madera, 20 mm	0.15	15
Madera densa, 25 mm	0.20	20
Mármol y mortero sobre concreto de agregado pétreo	1.60	160
Piso asfáltico o linóleo, 6 mm	0.05	5
Pizarra	0.030 (por mm de espesor)	30 (por cm de espesor)
Terrazzo (25 mm), concreto 50 mm	1.50	150
Terrazzo (40 mm) directamente sobre la losa	0.90	90
Terrazzo (25 mm) sobre afinado en concreto	1.50	150

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.17.

Cuadro 19. Tabla B.3.4.1-4 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cubiertas

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) m² de área en planta</i>	<i>Carga (kgf/m²) m² de área en planta</i>
<i>Cubierta</i>		
Cobre o latón	0.05	5
Cubiertas aislantes		
Fibra de vidrio	0.0020 (por mm de espesor)	2.0 (por cm de espesor)
Tableros de fibra	0.0030 (por mm de espesor)	3.0 (por cm de espesor)
Perlita	0.0015 (por mm de espesor)	1.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliestireno	0.0005 (por mm de espesor)	0.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliuretano	0.0010 (por mm de espesor)	1.0 (por cm de espesor)
Cubiertas corrugadas de asbesto-cemento	0.20	20
Entablado de madera	0.0060 (por mm de espesor)	6.0 (por cm de espesor)
Láminas de yeso, 12 mm	0.10	10
Madera laminada (según el espesor)	0.0100 (por mm de espesor)	10.0 (por cm de espesor)
Membranas impermeables:		
Bituminosa, cubierta de grava	0.25	25
Bituminosa, superficie lisa	0.10	10
Líquido aplicado	0.05	5
Tela asfáltica de una capa	0.03	3
Marquesinas, marco metálico, vidrio de 10 mm	0.40	40
Tableros de fibra, 12 mm	0.05	5
Tableros de madera, 50 mm	0.25	25
Tableros de madera, 75 mm	0.40	40
Tablero metálico, calibre 20 (0.9 mm de espesor nominal)	0.08	8
Tablero metálico, calibre 18 (1.2 mm de espesor nominal)	0.08	8
Tablillas (shingles) de asbesto – cemento	0.20	20
Tablillas (shingles) de asfalto	0.10	10
Tablillas (shingles) de madera	0.15	15
Teja de arcilla, incluyendo el mortero	0.80	80

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.19.

En cuanto a los elementos no estructurales verticales para las cargas muertas, se deben tener en cuenta los valores mínimos se relacionan en los Cuadros 15, 16, 17 y 18

Cuadro 20. Tabla B.3.4.2-4 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – muros

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)</i>	<i>Carga (kgf/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)</i>
Muros		
Exteriores de paneles (postes de acero o madera):		
Yeso de 15 mm, aislado, entablado de 10 mm	1.00	100
Exteriores con enchape en ladrillo	2.50	250
Mampostería de bloque de arcilla:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Pañetado en ambas caras	1.80 2.50 3.10 3.80 4.40	180 250 310 380 440
Sin pañetar	1.30 2.00 2.60 3.30 3.90	130 200 260 330 390
Mampostería de bloque de concreto:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin relleno	1.40 1.45 1.90 2.25 2.60	140 145 190 225 260
Relleno cada 1.2 m	1.70 2.25 2.70 3.15	170 225 270 315
Relleno cada 1.0 m	1.80 2.30 2.80 3.30	180 230 280 330
Relleno cada 0.8 m	1.80 2.40 3.00 3.45	180 240 300 345
Relleno cada 0.6 m	2.00 2.60 3.20 3.75	200 260 320 375
Relleno cada 0.4 m	2.20 2.90 3.60 4.30	220 290 360 430
Todas las celdas llenas	3.00 4.00 5.00 6.10	300 400 500 610
Mampostería maciza de arcilla:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin pañetar	1.90 2.90 3.80 4.70 5.50	190 290 380 470 550
Mampostería maciza de concreto:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin pañetar	2.00 3.10 4.20 5.30 6.40	200 310 420 530 640

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.19.

Cuadro 21. Tabla B.3.4.2-5 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – ventanas

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)</i>	<i>Carga (kgf/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)</i>
Ventanas		
Muros cortina de vidrio, entramado y marco	0.50	50
Ventanas, vidrio, entramado y marco	0.45	45

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p.19.

2.1.3.3 Cargas vivas

. Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no deben incluir cargas ambientales tales como viento y sismo, de acuerdo con esto para el diseño se debe tener en cuenta los datos suministrados por el título B los cuales se muestran a continuación

Cuadro 22. Tabla B.4.2.1-1 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
<i>Reunión</i>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestíbulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
<i>Oficinas</i>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
<i>Educativos</i>	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700
<i>Fábricas</i>	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
<i>Institucional</i>	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
<i>Comercio</i>	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
<i>Residencial</i>	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
<i>Almacenamiento</i>	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
<i>Garajes</i>	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
<i>Coliseos y Estadios</i>	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 21.

Cuadro 23. Tabla B.4.2.1-2 Cargas vivas mínimas en cubiertas

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Nota-1 — La carga viva de la cubierta no debe ser menor que el máximo valor de las cargas vivas usadas en el resto de la edificación, y cuando esta tenga uso mixto, tal carga debe ser la mayor de las cargas vivas correspondientes a los diferentes usos.

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 22.

2.1.3.4 Fuerzas de viento. Este elemento se usa para diseñar el sistema principal de resistencia de fuerzas de viento (SPRFV) de las edificaciones, sus componentes y elementos de revestimiento. El procedimiento simplificado que expone la normatividad debe cumplir todas las siguientes condiciones:

- (a) El edificio sea de diafragma simple como se define en la sección B.6.2.
- (b) El edificio sea bajo de acuerdo con la sección B.6.2.
- (c) El edificio sea cerrado como se define en la sección B.6.2 y cumpla las provisiones de zonas propensas a huracanes de acuerdo con la sección B.6.5.9.3.
- (d) El edificio sea de forma regular como se define en la sección B.6.2.
- (e) El edificio no sea clasificado como flexible como se define en la sección B.6.2.
- (f) Las características de respuesta del edificio sean tales que el mismo no esté sujeto a cargas por viento a través de él, a generación de vórtices, a inestabilidad por golpeteo o aleteo, y no esté ubicado en un sitio en el que se puedan presentar efectos de canalización o sacudimiento por la estela de obstrucciones en barlovento, que obliguen a consideraciones especiales.
- (g) El edificio tenga una sección transversal aproximadamente simétrica en cada dirección y tenga una cubierta plana o cubierta a dos o cuatro aguas con ángulo de inclinación $\theta \leq 45^\circ$.
- (h) El edificio esta eximido de los casos de carga torsional indicados en la Nota 5 de la fig. B.6.5-7, o estos casos no controlan el diseño de ninguno de los elementos del SPRFV del edificio⁶⁴.

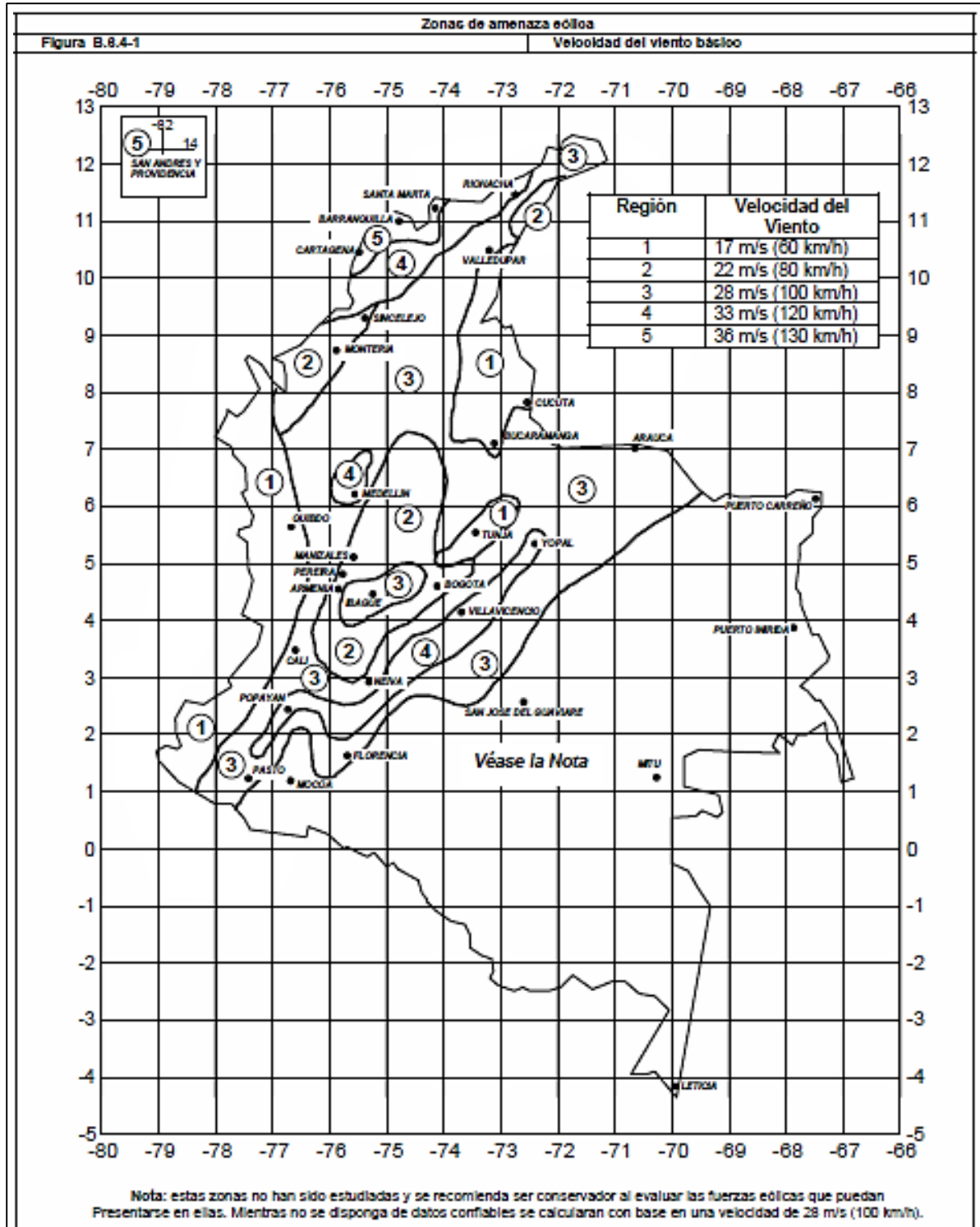
Así mismo, se explica que para el diseño de los componentes y elementos de revestimiento, el edificio debe cumplir todas las siguientes condiciones:

- (a) La altura promedio h es igual o menor a 18.0 m.
- (b) El edificio es cerrado como se define en la sección B.6.2 y cumple las provisiones de zonas propensas a huracanes de acuerdo con la sección B.6.5.9.3.
- (c) El edificio es de forma regular como se define en la sección B.6.2.
- (d) El edificio tiene una cubierta plana, una cubierta a dos aguas con $\theta \leq 45^\circ$ o una cubierta a cuatro aguas con $\theta \leq 27^\circ$.

En la Figura 14 se puede discriminar la velocidad del viento según la región en la que se va construir la estructura, catalogando las zonas de amenaza eólica

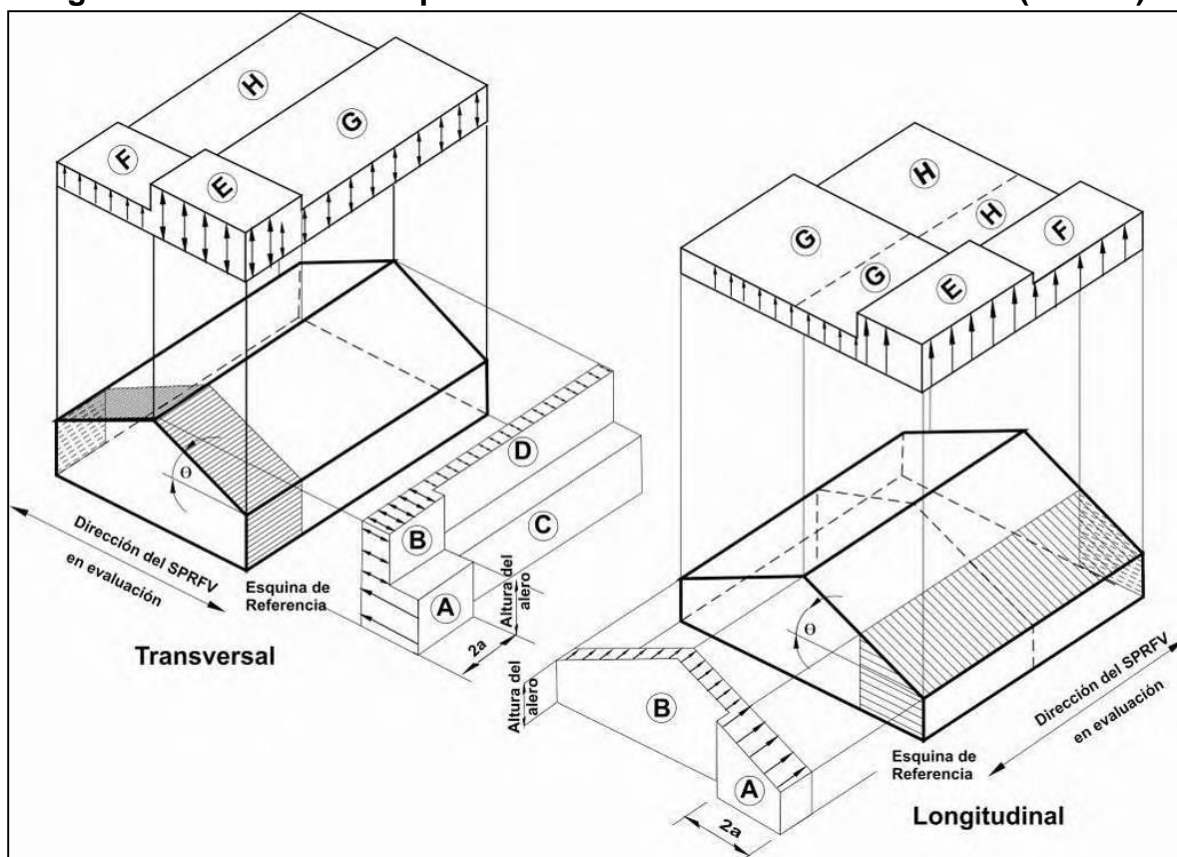
⁶⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 45.

Figura 13. Zonas de Amenaza Eólica



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 45.

Figura 14. Sistema Principal de Resistencia de Fuerza de Viento (SPRFV)



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 46.

2.1.3.5 Requerimientos para columnas en guadua. La Norma sismo resistente establece en su Título E numeral E.7.9 que las columnas son elementos estructurales proporcionados para resistir cargas verticales, en forma aislada o en combinación con los muros estructurales. “Las columnas no deben considerarse componentes del sistema de resistencia sísmica en viviendas en bahareque encementado. Así mismo aclara en cuanto a ubicación y diseño de las columnas, que éstas se deben localizar en puntos de la edificación donde la magnitud o la posición de las cargas verticales transmitidas por cubiertas o entrepisos excedan la capacidad de los muros estructurales, o donde no se disponga de ellos, como es el caso de galerías abiertas, corredores y aleros”⁶⁵.

Por otro lado, la tabla E-8.2.1 muestra la composición que deben tener los entrepisos con viguetas en guadua

⁶⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título E — Casas de uno y dos piso. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 27.

Cuadro 24. Tabla E.8.2-1 Secciones requeridas para entresijos con viguetas de guadua*

Luz (m)	Espaciamiento S (m)			
	0.25	0.5	0.75	1.00
2,0	1 guadua	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V
2.5	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V
3.0	2 guadas V	2 guadas V	3 guadas V	3 guadas V
3.5	2 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	3 guadas V
4.0	2 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	—
4.5	3 guadas V	3 guadas V	—	—

*Para una carga muerta de 1.1 kN/m² y una carga viva de 1.8 kN/m²

* Guadas de 110 mm de diámetro y 10 mm de espesor de pared

V= guadas dispuestas en arreglo vertical.

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título E — Casas de uno y dos piso. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 27.

2.1.3.6 Requerimientos de cubierta y sus conexiones. Los requerimientos que establece el Título E para las cubiertas y conexiones con correas de guadua son los siguientes:

Cuadro 25. Tabla E.9.2-1 Secciones requeridas para cubiertas con correas de guadua*

Luz (m)	Espaciamiento S (m)					
	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
2.0	1 guadua	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V
2.5	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V	3 guadas V
3.0	2 guadas V	2 guadas V	2 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	3 guadas V
3.5	2 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	3 guadas V
4.0	2 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	—	—
4.5	3 guadas V	3 guadas V	3 guadas V	—	—	—

*Para una carga muerta de 1.25 kN/m² y una carga viva de 0.5 kN/m²

* Guadas de 110 mm de diámetro mínimo y 10 mm de espesor de pared mínimo

V= guadas dispuestas en arreglo vertical

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título E — Casas de uno y dos piso. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 27.

2.1.2 Requerimientos para el uso de madera no estructural. Teniendo en cuenta que en la vivienda de interés social propuesta se usará la guadua específicamente como material estructural, para los marcos de la ventanería se usará madera, los requerimientos establecidos para su uso son los siguientes:

2.1.2.1 Dimensiones y tolerancias. De acuerdo con lo establecido en el Manual de Diseño para Maderas del grupo Andino, “las dimensiones de las maderas serán las usuales del comercio debiendo referirse al sistema métrico decimal al asignarse las medidas finales de las piezas secas de construcción. Permittedose una tolerancia similar a la usual en el aserrío y cote entre la medida nominal de una pieza y las del mercado”⁶⁶.

Por otro lado, cuando se ofrecen productos terminados como molduras, zócalos, machimbrados entre otros, la tolerancia es más estricta no permitiéndose dimensiones menores que la estipulada y mayores en no más de 2.5 mm para anchos y 1 mm para espesores

2.1.2.2 Contenidos de humedad. Según el Manual de Diseño para Maderas, la madera de uso no estructural, “debe trabajarse generalmente seca con un contenido de humedad cercano al de equilibrio o correspondiente al clima normal en el cual será usada; recomendándose entonces, que el contenido de humedad sea mayor que 20%”⁶⁷.

2.1.2.3 Durabilidad natural y preservación. Las especies de alta durabilidad natural “deben ser usadas preferentemente, más aún en zonas de posible presencia de agua o humedad y cercanas o en contacto con el suelo. Aquellas de poca durabilidad natural, deben preservarse por métodos reconocidos e indicarse el mantenimiento a seguir posteriormente. Deben, además, tomarse precauciones en el tipo de preservación para madera que va a estar en contacto directo con las personas o con los alimentos”⁶⁸.

2.6.1.3 Requisitos de calidad para ventanas. La madera para marcos y hojas de ventanas “debe ser durable naturalmente o estar preservada contra hongos e insectos; por tanto, debe poseer cualidades de trabajabilidad buena que permitan los rebajos, cortes y ensambles con máquinas ordinarias de carpintería. Además, deben ser lo suficientemente duras como para resistir el arranque o extracción de clavos y tornillos y clavos de la cerrajería tradicional”⁶⁹.

⁶⁶ GRUPO ANDINO. Manual de Diseño para Maderas. Cartagena: Junta del Acuerdo de Cartagena, 2000. p. 85

⁶⁷ *Ibíd.*, p. 86

⁶⁸ *Ibíd.*, p. 87

⁶⁹ *Ibíd.*, p. 88

2.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL RURAL

2.2.1 Características técnicas. Las viviendas de interés social en Colombia tienen como objetivo mejorar las condiciones habitacionales de las personas ubicadas en la zona rural dispersa, por tanto, deben contemplar las siguientes características técnicas:

- Una mampostería confinada y muros no estructurales de acuerdo a la NSR-10 Título E
- Un área construida de 54,78 m², distribuidos en espacios: tres alcobas, cocina, espacio múltiple (sala - comedor), baño dotado de sanitario y lavamanos, cuarto de herramientas, lavadero y tanque de almacenamiento.
- Sistema séptico prefabricado y su respectivo sistema de tratamiento de aguas residuales según lo estipulado en el Título J del RAS 2000.
- Los muros deben estar pañetados; la cubierta es en fibrocemento, los pisos con acabado en mineral, el piso de la totalidad del baño enchapado y los muros de la ducha hasta 1,0 m de altura⁷⁰

Así mismo para su construcción se deben contemplar algunos criterios básicos como se muestra a continuación (véase la Cuadro 26).

Cuadro 26. Criterios para la Implementación de un Prototipo de Diseño de vivienda de Interés Social Rural

Aspecto	Descripción	Requisito
Lote	Pendiente (%) Propiedad del predio	0 – 2 Certificado de Titularidad del predio
Población	Rango de habitantes Vulnerabilidad	8 por Unidad Niveles 1 y 2 Sisben
Condiciones geográficas	Altura (msnm)	Menor a 1000 (clima cálido)
Suelo	Permeabilidad	Tiempo de infiltración para el descenso de 1 cm de agua menor a 12 minutos - No se aceptan suelos impermeables
	Característica	No inundable
	Nivel freático	Mínimo 1,5 m desde la superficie del terreno
Ubicación	Tipo zona	Rural
Servicios	Disponibilidad de Servicios públicos	Agua Potable(Oferta mínima de 45 l/habitante.día)

Fuente. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Construcción de Vivienda de Interés Social Rural. Versión 2.0. Bogotá: Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas Construcción, 2017. p. 17

⁷⁰ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Construcción vivienda de interés social rural – Datos básicos [en línea]. Bogotá: DNP [citado 14 septiembre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viviendainterresrural/MGAviviendarural.pdf>>

2.2.2 Diseño Arquitectónico y Estructural. En el diseño arquitectónico, las viviendas de interés social rural deben tener en cuenta los siguientes criterios básicos de arquitectura:

- Teniendo en cuenta la ubicación de la vivienda, se debe garantizar la ventilación de las zonas de servicios, cocinas y baterías sanitarias.
- Procurar el manejo de pendientes en cubiertas dispuestas en una o dos aguas, con el fin de garantizar la recolección y optimización de las aguas lluvias.
- Procurar espacios de altura y media para climas cálidos y templados, esto permitirá la aireación de los espacios al interior de la vivienda.
- En climas fríos procurar una única altura en espacios a fin de conservar la temperatura de confort térmico al interior de la vivienda.
- Procurar que la distribución de los espacios contribuya a la iluminación de la vivienda, aprovechando al máximo la luz natural.
- Procurar que los baños, cocinas y eventualmente los cuartos de herramientas tengan accesos por fuera de la unidad de vivienda⁷¹.

Adicionalmente, se deben realizar verificaciones para establecer que con el diseño arquitectónico no se presente afectaciones en el comportamiento estructural de la vivienda, pero teniendo en cuenta que no se presente detrimento de la calidad espacial.

Por otro lado, para el diseño arquitectónico de una vivienda de interés social rural se deben proporcionar los siguientes planos planta arquitectónica, fachadas y cortes transversal y longitudinal.

2.2.3 Arquitectura Bioclimática. La arquitectura Bioclimática se define como “un conjunto de elementos arquitectónicos, constructivos y pasivos, capaces de transformar las condiciones del microclima para lograr valores que lo acerquen a las condiciones de Bienestar termo fisiológico del ser humano, utilizando preferentemente energías pasivas, en pos de la reducción de los consumos de energía y minimización de impactos negativos al medio ambiente”⁷².

En términos bioclimáticos, cuando afuera haga calor o frío de acuerdo a la necesidad, adentro se debe sentir fresco, es decir, que la temperatura este máximo 2.5° Celsius por encima o por debajo de la temperatura de confort promedio llevada al análisis de un gráfico Psicométrico, a lo cual se conoce como rango de confort.

⁷¹ BANCO AGRARIO DE COLOMBIA. Guía para la Estructuración y Presentación de Proyectos de Vivienda de Interés Social Rural. Bogotá: El Banco, 2018. p. 38

⁷² BARRANCO ARÉVALO, Omar. La arquitectura bioclimática. En: Modulo Arquitectura CUC. Enero – febrero, 2015. vol.14, p. 32

De acuerdo con lo anterior, para el diseño arquitectónico se partió de la idea del diseño de una vivienda de interés social en Guadua con una arquitectura bioclimática relacionada con los procesos de ahorro energético, conservación ambiental y desarrollo sostenible debido a que el principal objeto en la actualidad es “construir con el clima”, por tanto, el diseño se ha enfocado en aprovechar el clima ya sea frío o cálido, teniendo en consideración la orientación de los vientos, para permitir una ventilación cruzada en la vivienda, el sol, la topografía, manejo del agua y la semejanza con los elementos de construcción. Con el diseño arquitectónico de la vivienda en Guadua se quiere brindar un confort térmico, adaptación al ambiente, reducir los costos que implica un diseño constructivo, tomándose la Guadua como una tecnología de construcción sostenible, que al mismo tiempo cumpla con las necesidades de las familias de escasos recursos, logrando nuevas alternativas espaciales que busquen restablecer el confort climático.

Por otro lado, es necesario utilizar todos los medios como la luz solar, ya que juega un papel muy importante a la hora de construir, por lo que es importante realizar un análisis exhaustivo del recorrido solar en las zonas donde se va a construir la casa, durante todo el año y así tener en cuenta los tipos de elementos constructivos que se necesitan a la hora de implementar un diseño y emplear diferentes estrategias con el fin de proporcionar calor o disminuir la emisión directa del sol evitando el sobrecalentamiento o el enfriamiento del mismo.

Así mismo, en el diseño arquitectónico se tuvo en cuenta la ventilación natural de la vivienda por medio de ventanas exclusivamente para ello, aprovechando las condiciones que se presentan en la zona rural, optimizando de una u otra manera la ventilación cruzada⁷³, generando la salida y la entrada del viento, considerando las presiones altas y bajas que generan las corrientes de los vientos en la zona del Quindío.

En este sentido, Barranco (2015) expone que, el hecho de que se perciba el confort en un espacio, no depende solamente de los materiales que se escojan para la construcción del edificio, sino también de una buena orientación y aprovechamiento de las fuentes naturales de energía. “Estos y otros apuntes deberíamos tener siempre en cuenta a la hora del diseño, ya que no siempre diseñaremos para el mismo clima tropical húmedo, existen lugares muy fríos como otros aún más calurosos, o que sencillamente son lugares que poseen oscilaciones térmicas bastante fuertes durante el transcurso del día, entonces son muy calientes durante el día, y en la noche tienen temperaturas muy bajas”⁷⁴.

⁷³ FUENTES, Víctor. Ventilación natural. Cálculos básicos para arquitectura [en línea]. México: Universidad Autónoma Metropolitana [citado 16 octubre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/48392421.pdf>>

⁷⁴ BARRANCO, Op. Cit., p. 36

Así mismo, estudios realizados por este autor con el diseño bioclimático de las viviendas se ha ahorrado hasta un 70% en el ahorro de energía en comparación con las construcciones tradicionales.

Por otro lado, el desfase existente entre una evaluación económica del consumo energético y de su impacto ambiental a largo plazo, y el actual sistema de evaluación del coste de producción en el sector de la construcción, pensado en términos de rentabilidad a corto plazo, obviando el mantenimiento energético del edificio, dificulta una evaluación objetiva de las ventajas que aporta una arquitectura entendida desde la adecuación al medio natural. Habrá que esperar a la progresiva introducción de las normativas de ámbito nacional e internacional de evaluación del gasto energético en función de su equivalencia en gases contaminantes de efecto invernadero (CO₂), para que se empiece a producir una concienciación real sobre la necesidad de entender la construcción como una parte fundamental en el problema del desarrollo sostenible⁷⁵.

2.2.4 Diseño Estructural. El diseño estructural de las viviendas de interés social rural tiene el propósito de “estabilizar la edificación ante las cargas propias y de servicio y ante los eventos sísmicos para salvaguardar la vida, bienes y el patrimonio de los usuarios”⁷⁶. Para el diseño se deben proporcionar planos que contemplen los siguientes aspectos validados y verificados según lo establecido en la NSR-10.

- Planta estructural de cimentación y cubierta.
- Vistas de corte.
- Cortes de muros, vigas, viguetas y columnas.
- Cortes transversales.
- Detalles de refuerzo en vigas y columnas.
- Detalles de refuerzo de elementos no estructurales.

De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación, la opción más adecuada para construcciones adecuadas de vivienda de interés social rural deben regirse según lo contemplado en “el Título 3 de la Norma Sismo Resistente – NSR – 10, mampostería confinada – muros no estructurales, que son aquellos muros que cumplen la función de separar espacios dentro de la casa y que no soportan ninguna carga adicional al peso propio”⁷⁷

⁷⁵ CELIS D'AMICO, Flavio. Boletín CF+S > 14 -- Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos [en línea]. Madrid: Boletín CF+S [citado 17 octubre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>>

⁷⁶ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Construcción de Vivienda de Interés Social Rural. Versión 2.0. Bogotá: Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas Construcción, 2017. p. 23

⁷⁷ *Ibíd.*, p. 22

3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL

3.1 TRATAMIENTOS DE PRESERVACIÓN DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH DE MONTENEGRO – QUINDÍO

Los tratamientos de preservación de la guadua *Angustifolia Kunth*, son métodos en los que los colmos son protegidos y conservados con el fin de evitar daños ocasionados por factores naturales y permiten el aumento de la vida útil de la guadua, esto para que se mantenga su resistencia y valor estético.

El método para inmunizar y preservar la guadua se realiza con métodos naturales utilizando el sol y el agua y productos químicos.

Por lo tanto, el no realizar la debida preservación de la guadua su vida útil es de 2 - 3 años, por consiguiente, con una buena preservación puede durar por más de 20 años, el método ms utilizado es el método por inmersión, que consiste en sumergir las cañas en una solución de sales de bórax, en vista de que ha sido considerado como un agente de preservación efectivo y sin efectos nocivos para el medio ambiente.

El proceso de preservación se realiza seguidamente al corte de la guadua para no perder la humedad que trae y evitar que se sequen posibilitando la penetración por osmosis, realizando la perforación longitudinal de la guadua de tal manera que sea atravesado cada entrenudo para que en el proceso de sumersión en la piscina de pentaborato el líquido penetre en toda la guadua.

El proceso de sumergido se realiza durante 24 horas en agua tibia o en 4 días a temperatura ambiente, terminado el proceso de sumergido se procede al proceso de limpieza utilizando una hidrolavadora para remover musgo y líquenes.

Previamente se realiza el proceso de blanqueamiento para que la guadua adopte nuevamente el color natural se debe exponer al sol realizando rotaciones alternas para evitar que se rajen por el sobrecalentamiento y finalmente se realiza el secado, en consecuencia de no realizar bien este procedimiento la guadua pierde sus propiedades mecánicas por ello el secado se debe realizar en una zona seca y cubierta y sin muros para proveer el flujo de aire , apilando los culmos por capas separadas este proceso dura entre 2-3 meses dependiendo indudablemente de la región climática donde se esté realizando el método de preservación para acelerar el proceso de puede inyectar aire caliente que debe ser monitoreado con un humidómetro.

Una vez adquirido el grado de humedad del 15% se procede a realizar la clasificación de calidad de la guadua.

3.2 CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

Los ensayos y resultados de laboratorio se obtuvieron con el grupo de investigación de semilleros **Sieso** (Sistema de Gestión en Construcción) coordinado por la Ing. Ms. Olga Vanegas Alfonso.

La evaluación de calidad de la guadua, requiere tradicionalmente, realizar una caracterización visual, en la cual se analizan aspectos como “color, diámetro, longitud, rectitud, tratamiento posterior, momento de corte, madurez y variedad, para que se tenga una idea precisa y confiable de la calidad de la pieza”⁷⁸. En este sentido, para la presente investigación se tomaron 120 muestras de guadua angustifolia Kunth proveniente del Municipio de Montenegro Quindío, cuya temperatura es de 17°C y su humedad relativa del aire es de 63%. En cuanto a propiedades físicas medidas y calculadas de las muestras analizadas, se tuvo que la altura oscilaba entre 297 mm y 334 mm, diámetros entre 116 mm y 146mm, elongación entre 12.79 mm y 30.68 mm como se muestra a continuación (véase el Cuadro 27)

Cuadro 27. Promedio de 120 Datos donde se Realiza la Caracterización Inicial de Guadua Angustifolia Kunth del Quindío

Muestra	E(mm)	D(mm)	Altura(mm)	Inercia(mm4)
0.01_s	13.18	132.47	317.50	8892035.49
0.02_s	15.41	136.96	302.25	11040854.79
0.03_s	14.37	129.13	304.38	8689923.80
0.04_s	14.19	120.00	304.25	6720670.59
0.05_s	14.46	134.13	302.88	9870740.54
0.06_s	14.78	123.15	302.33	7522682.32
0.07_s	14.78	139.00	326.88	11280151.17
0.08_s	12.49	129.13	300.35	7870452.94
0.09_s	13.68	133.50	302.60	9361779.58
0.10_s	12.29	132.00	301.58	8365529.19
0.11_s	14.23	140.75	305.08	11457670.71
0.12_s	14.68	134.18	302.38	9982567.74
0.13_s	12.28	131.25	301.25	8204403.48
0.14_s	15.39	138.00	300.75	11314068.65
0.15_s	13.21	124.75	304.63	7300613.94
0.16_s	14.89	145.75	300.75	13271256.02
0.17_s	12.78	129.50	301.29	8073904.88
0.18_s	12.83	113.13	300.88	8867929.25
0.19_s	16.75	144.63	305.00	13990070.91
0.20_s	15.88	134.38	303.38	10559754.42
0.21_s	15.81	115.38	304.85	6282991.30
0.22_s	15.21	130.13	303.70	9223750.20
0.24_s	15.39	124.38	303.25	7978658.27
0.25_s	16.30	138.50	303.38	11888314.38
0.26_s	15.98	118.38	304.55	6899916.48

⁷⁸ GARCÍA SIERRA, Jorge Hugo y CAMARGO GARCÍA, Juan Carlos. Condiciones de calidad de Guadua angustifolia para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia. En: Recursos Naturales y Ambiente. Junio, 2016. no. 61, p. 67

Continúa

0.27_s	18.36	142.25	300.88	14012378.14
0.28_s	14.20	127.25	300.25	8183865.40
0.29-s	14.20	143.88	302.63	12305343.86

Cuadro 27. (Continuación)

Muestra	E(mm)	D(mm)	Altura(mm)	Inercia(mm4)
0.30_s	12.70	119.38	301.50	6139936.65
0.31_s	15.21	137.25	300.75	11026479.14
0.32_s	16.11	129.25	302.00	9348949.48
0.33_s	14.55	131.88	302.88	9369642.03
0.34-s	12.34	133.25	302.38	8653641.91
0.35_s	16.58	134.25	301.25	10816780.75
0.36_s	14.39	122.00	303.38	7166841.80
0.37_s	12.79	133.25	302.75	8877029.11
0.38_s	17.36	130.00	302.50	9975153.55
0.39_s	14.66	134.50	303.13	10057718.29
0.40_s	13.38	118.38	304.38	6178909.52
0.41_s	17.56	127.63	301.8	9429397.62
0.42_s	13.75	123.75	304.13	7299179.13
0.43_s	16.60	147.75	302.75	14940852.72
0.44_s	12.58	134.00	301.50	8935631.49
0.45_s	19.08	143.25	302.50	14681013.37
Z0.46_s	15.54	126.50	302.25	8499678.70
0.47_s	13.25	116.25	303.38	5779836.06
0.48_s	14.55	118.50	302.75	6543690.43
0.49_s	18.49	123.50	303.00	8667964.14
0.50_s	14.31	139.88	302.75	11270980.88
0.51_s	15.51	128.88	304.25	9040801.69
0.52_s	14.83	124.75	303.38	7873579.02
0.53_s	15.13	142.75	300.50	12520443.94
0.54_s	15.51	138.00	302.63	11374371.64
0.55-s	14.31	120.38	301.13	6828074.84
0.56_s	15.18	143.75	301.50	12842987.63
0.57_s	14.46	142.88	300.00	12178654.46
0.58_s	14.96	142.00	301.63	12213582.43
0.59_s	15.96	132.38	302.50	10075100.94
0.60_s	14.40	114.25	301.50	6272869.50
0.61_N	13.92	124.00	301.38	7409095.48
0.62-N	14.26	139.63	301.88	11177476.18
0.63_N	14.66	126.00	303.63	8084624.62
0.64_N	18.66	139.38	301.25	13199116.20
0.65_N	15.30	133.25	301.50	10024111.49
0.66_N	20.91	139.13	300.13	13989789.83
0.67_N	13.50	119.75	299.75	6462318.30
0.68_N	20.78	145.88	303.13	9424641.86
0.69_N	12.85	132.38	299.25	8715067.20
0.70_N	19.01	139.38	302.00	13340625.29
0.71_N	15.12	131.13	303.25	9424641.86
0.72_N	14.94	128.38	300.63	8712053.28
0.73_N	14.00	141.00	301.50	11399841.11
0.74_N	21.47	143.00	300.50	15606912.93

Cuadro 27. (Continuación)

0.75_N	18.44	141.50	300.13	13799093.84
0.76_N	15.56	141.50	300.00	12907143.43
0.74_N	21.47	14.300	300.50	15606912.93
0.75_N	18.44	141.50	300.13	13799093.84


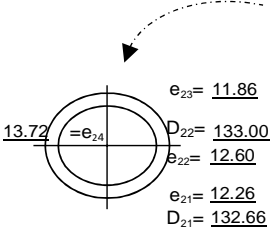

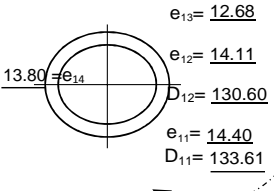
Cuadro 27. (Continuación)

Muestra	E(mm)	D(mm)	Altura(mm)	Inercia(mm4)
0.76_N	16.56	141.50	300.00	12907143.43
0.77_N	16.31	142.00	301.50	12932070.32
0.78_N	15.66	141.25	300.38	12371354.81
0.79_N	30.44	139.63	301.13	16768785.70
0.80_N	16.57	134.00	299.50	10745856.11
0.81_N	16.31	137.50	301.63	11605031.42
0.82_N	20.41	143.88	300.88	15495235.00
0.83_N	15.30	141.75	300.63	123224589.31
0.84_N	22.29	141.50	300.25	15346419.88
0.85_N	15.75	131.38	302.25	9739209.74
0.86_N	16.13	149.75	302.00	15330153.95
0.87_N	20.06	145.75	308.13	16039299.72
0.88_N	16.74	132.75	300.63	10475432.28
0.89_N	16.45	140.63	301.50	12585886.68
0.90_N	16.99	134.38	305.25	11015818.05
0.91_N	23.06	140.38	299.88	15186018.17
0.92_N	20.01	140.50	302.88	14125078.98
0.93_N	26.56	140.38	301.75	16214294.09
0.94_N	24.22	131.25	300.88	12257438.37
0.95_N	16.23	135.25	298.38	10945605.74
0.96_N	15.92	132.88	300.63	1018680.04
0.97_N	18.49	136.00	232.63	12073767.29
0.98_N	30.68	144.88	300.38	19235273.20
0.99_N	17.09	141.25	305.50	13086343.05
00100_N	17.53	137.63	301.63	12175789.96
00101_N	24.56	144.00	301.38	17127803.51
00102_N	18.51	138.88	302.00	12975318.37
00103_N	28.50	138.75	241.75	15999954.99
00104_N	23.56	133.50	301.38	12857594.37
00105_N	17.88	142.00	303.50	13704802.09
00106_N	20.89	140.63	302.25	14511505.42
00107_N	13.68	136.63	302.00	10108286.48
00108_N	14.98	130.25	305.25	9162076.50
00109_N	14.56	131.13	297.25	9197068.19
00110_N	14.70	144.00	299.63	12637134.70
00111_N	26.72	140.50	300.00	16306981.81
00112_N	20.58	137.50	303.13	13315749.06
00113_N	15.02	146.25	301.63	13506135.20
00114_N	14.25	126.13	299.88	7960929.29
00115_N	22.69	140.25	301.88	15014431.88
00116_N	15.81	126.00	300.00	8475854.15
00117_N	22.33	136.00	301.75	13376137.74
00118_N	18.64	132.75	301.00	11167263.29
00119_N	21.88	144.00	299.63	16149655.91
00120_N	20.70	142.63	301.63	15159288.12

Fuente. Los Autores


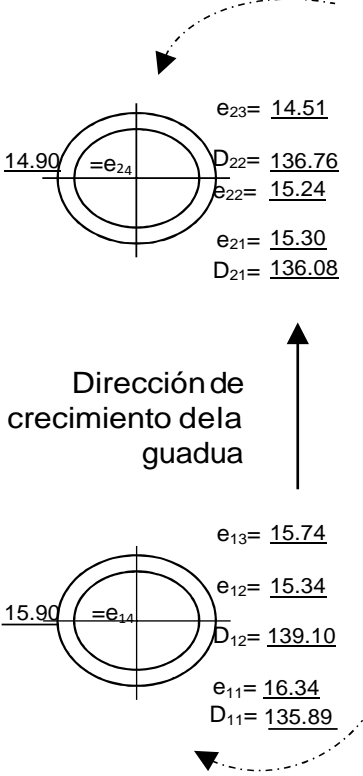
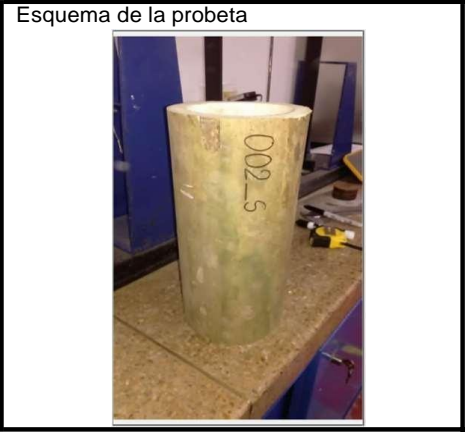
Por otro lado, con la revisión visual de las muestras se encontró principalmente que, algunas de las fallas que pueden presentar la guadua son Fisuras Longitudinal e irregularidad en sección transversal T1, presentes en 34 de las 120 probetas; mientras que en una se encontró presencia de hongos en el interior y en unos golpes debajo del nudo, esta información que fue consignada formatos debidamente identificados y con registro fotográfico como se muestra en las Figuras 15, 16 y 17).

Figura 15. Caracterización Visual Guadua Angustifolia Kunth Muestra sin Da

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS		 UCATÓLICA de Colombia
CARACTERIZACIÓN INICIAL BAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA		
Fecha: 22/10/2018	Muestra: 001_S	Temperatura: 17 °C
Origen: Quindío	Humedad relativa del aire: 63%	
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>		
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en mm		
	Alturas (L) L1 = <u>310.00</u> L2 = <u>310.00</u> L3 = <u>320.00</u> L4 = <u>330.00</u>	
Dirección de crecimiento de la guadua		Esquema de la probeta
	Responsable: Olga Lucía Vanegas	
Observaciones: 0		

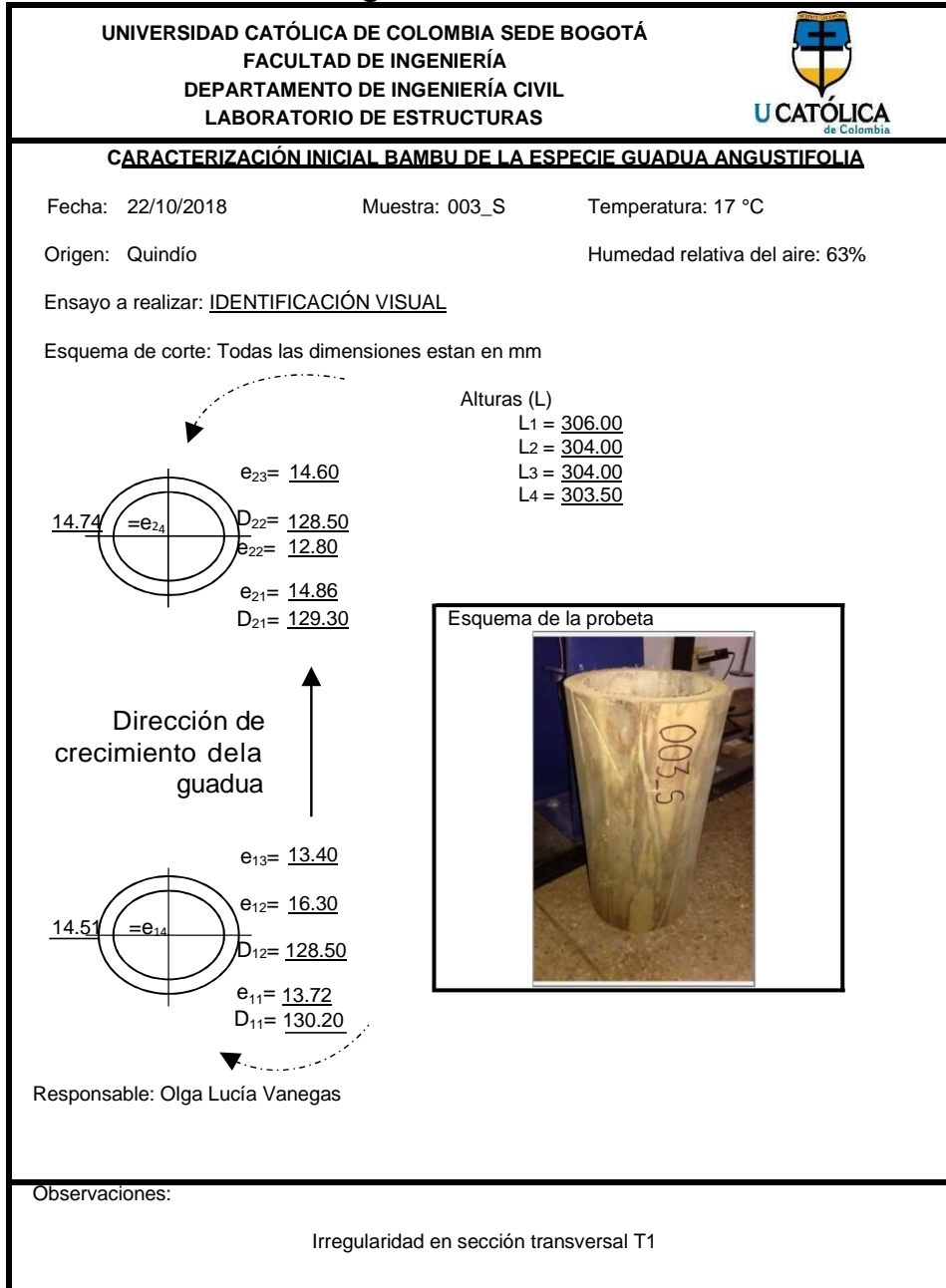
Fuente. Los Autores

Figura 16. Caracterización Visual Guadua Angustifolio Kunth Muestra Con Fisuras Longitudinal

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE ESTRUCTURAS		
<u>CARACTERIZACIÓN INICIAL BAMBU DE LA ESPECIE GUADUA ANGUSTIFOLIA</u>		
Fecha: 22/10/2018	Muestra: 002_S	Temperatura: 17 °C
Origen: Quindío	Humedad relativa del aire: 63%	
Ensayo a realizar: <u>IDENTIFICACIÓN VISUAL</u>		
Esquema de corte: Todas las dimensiones están en mm		
	Alturas (L) L1 = <u>301.50</u> L2 = <u>302.70</u> L3 = <u>302.20</u> L4 = <u>303.00</u>	Esquema de la probeta 
Responsable: Olga Lucía Vanegas		
Observaciones:		
Fisura Longitudinal		

Fuente. Los Autores

Figura 17. Caracterización Visual Guadua Angustifolia Kunth Muestra Con Irregularidad en Sección Transversal



Fuente. Los Autores

3.2 ENSAYOS DE COMPRESIÓN PARALELA

Una vez realizada la caracterización visual de las muestras de guadua Angustifolia Kunth se procedió a realizar el ensayo de compresión paralela, bajo la supervisión de la ingeniera Olga Vanegas con formato para la presentación del ensayo (véase

el Anexo A). Para este ensayo se utilizaron un total de 15 muestras a una temperatura de 29°C y una humedad del 79%, en el que cada muestra fue sometida a una carga máxima de compresión (kg.f) y a una velocidad de carga constante de 0.01 mm/s. Los resultados fueron analizados teniendo en cuenta lo establecido en la NSR-10 exponiendo que “todos los elementos deben ser diseñados por el método de los esfuerzos admisibles como se define el título B, se tiene en cuenta el G 12.7.2. todas las uniones de la estructura se consideran articuladas y no habrá transmisión de momentos entre los diferentes elementos que conformen una unión, salvo si uno de los elementos es continuo” ⁷⁹. Así mismo el numeral G12.7.3 Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad, establece que, toda guagua que cumpla los requisitos de calidad debe utilizar para efectos de cálculo los valores admisibles y módulos de elasticidad -consignados en las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 (véase los Cuadros 28 y 29)

Cuadro 28. Esfuerzos Admisibles con Humedad de 0.12 NSR-10

TABLA G.12.7-1			
Esfuerzos admisible con una humedad de 0,12			
Esfuerzo	Designación	Valor	Unidades
Flexión	Fb	15	MPa
Tracción	Ft	18	MPa
Compresión paralela	Fc	14	MPa
Compresión Perpendicular	Fp	1,4	MPa
Corte	Fv	1,2	MPa

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

Cuadro 29. Módulo de Elasticidad

TABLA G.12.7-2				
Módulo de elasticidad				
Tipo	Designación	Valor	Unidades	Uso
Promedio	E0,5	9500	MPa	Análisis estructural
Percentil 5	E0,05	7500	MPa	Calculo de deflexiones
Mínimo	Emin	4000	MPa	Coefficiente de estabilidad

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

Para realizar el análisis de los elementos estructurales de debe utilizar el E0.5 como módulo de elasticidad del material, el E0.05 se debe utilizar para el cálculo de las deflexiones y el E min se utiliza para el coeficiente de estabilidad como se muestra a continuación (véase el Cuadro 30).

⁷⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

Cuadro 30. Coeficientes de Modificación por Duración de Carga

TABLA G.12.7-4						
Coeficientes de modificación por duración de carga						
Duración de la carga	Flexión	Tracción	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte	Carga de diseño
Permanente (Muerta)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	Muerta
Diez años (Viva)	1	1	1	0,9	1	Viva
Dos meses (Construcción)	1,15	1,15	1,15	0,9	1,15	Construcción
7 días (Construcción)	1,25	1,25	1,25	0,9	1,25	Construcción
Diez minutos (Viento/Sismo)	1,6	1,6	1,6	0,9	1,6	Viento y sismo
Impacto (Impacto)	2	2	2	0,9	2	Impacto

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos del ensayo de compresión paralela de las muestras de guadua A.K., fueron los siguientes (véase el Cuadro 31)

Cuadro 30. Resultados Esfuerzo Máximo, Módulo de Elasticidad E, Coeficientes de Regresión y Densidad de Probetas Ensayadas

Probeta	Carga máxima compresión (kgf)	σ_{max}	Módulo de elasticidad		Densidad
		MPa	E (MPa)	Coef. Correlación	(kg/m3)
001_S	24330.10	48.33	5433.50	0.9954	722.14
002_S	30007.70	50.03	5945.70	0.9990	765.71
003_S	23565.00	44.63	5565.10	0.9990	679.93
004_S	20220.00	42.05	4665.60	0.9988	643.12
005_S	17390.70	31.39	4405.70	0.9962	612.06
006_S	22288.60	43.47	5127.60	0.9976	651.29
007_S	24282.70	41.31	5390.80	0.9981	633.54
008_S	14696.10	31.51	3537.60	0.9987	599.71
009_S	17086.90	32.55	4399.90	0.9955	639.38
010_S	15919.70	33.79	4352.90	0.9981	655.98
011_S	25084.40	43.52	4361.90	0.9983	704.93
012_S	24103.30	42.92	4798.60	0.9981	665.36
013_S	15475.30	33.09	4502.60	0.9986	634.59
014_S	24279.80	40.18	4747.50	0.9998	644.56
015_S	22558.90	47.80	5122.50	0.9954	774.36

Fuente. Los Autores

Cuadro 31. Resultados Promedios y Percentil 5 de los Valores Encontrados

	Carga máxima compresión (kgf)	σ_{max}	Módulo de elasticidad	Densidad
		MPa	E (MPa)	(kg/m3)
Promedio	21420.00	40.00	4823.83	668.44
Desviación estándar	4416.90	6.42	613.04	51.97
Coeficiente de variación (%)	20.62	16.04	12.71	7.77
Percentil 5	15241.54	31.47	4108.31	608.36

Fuente. Los Autores

En cuanto al contenido de humedad de las muestras se tiene que éstas presentan una media de 14.2% (véase el Cuadro 32).

Cuadro 32. Contenidos de Humedad

Muestra	Procede	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	Contenido de Humedad (%)
1	066_S	15.8	13.79	14.58
2	067_S	15.3	13.27	15.30
3	001_S	13.6	12.02	13.14
4	002_S	11.7	10.37	12.83
5	020_S	11.3	9.82	15.07
6	021_S	10.2	8.91	14.48
7	030_S	16.2	14.25	13.68
8	031_S	11.9	10.37	14.75
			Media	14.2

Fuente. Los Autores

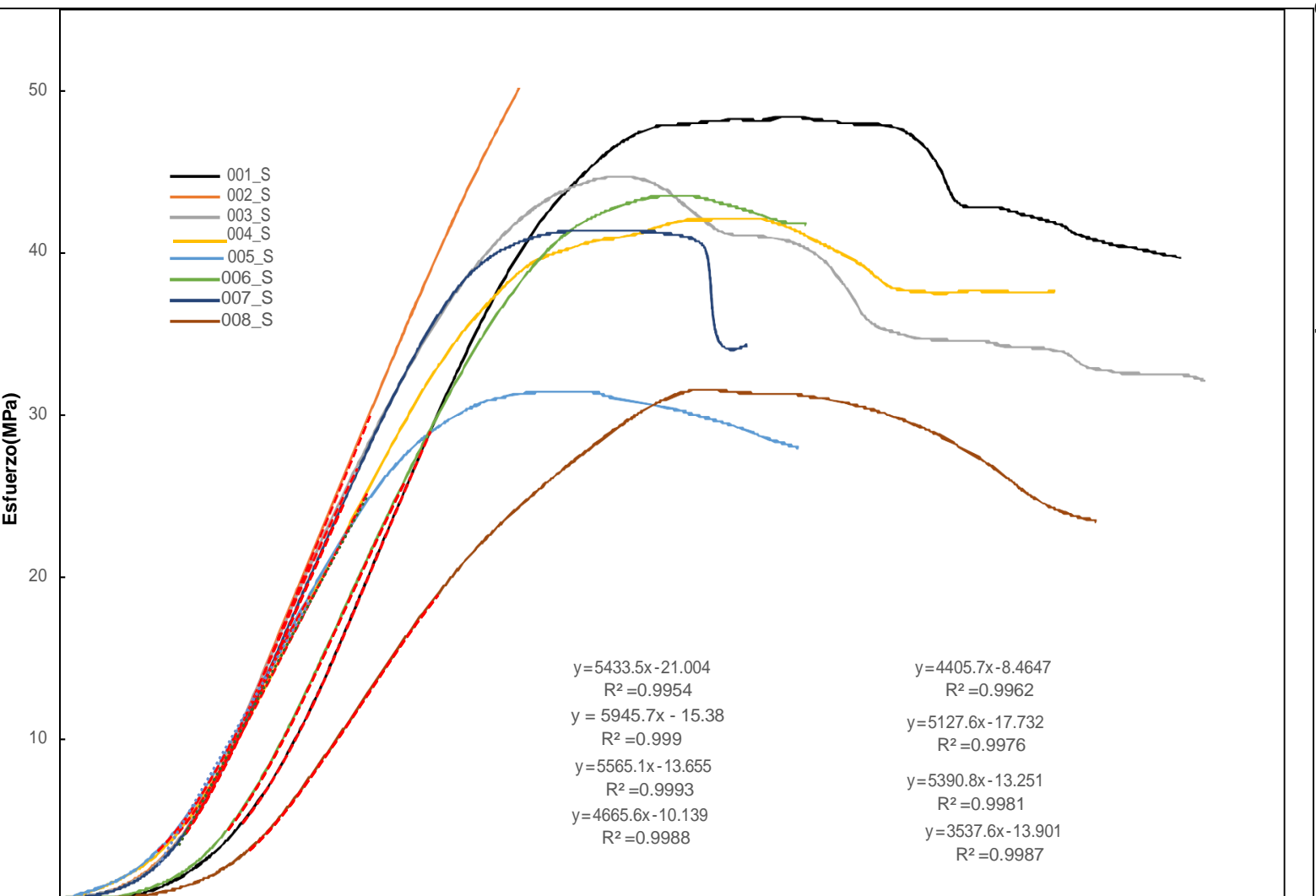
Por otro lado, el numeral G12.7.7 expresa que la guadua al igual que la madera pierde resistencia y rigidez, a medida que aumenta su contenido de humedad, los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad reportados en las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 fueron calculados para un contenido de humedad de la guadua de CH=12% si las condiciones medioambientales el sitio de construcción hacen variar el contenido de humedad de la guadua por encima del 12% se debe ajustar los valores de la tablas G.12.7-1 Y G .12.7-2

Cuadro 33. Resumen de las Propiedades Físicas Medidas y Calculadas de la Guadua

Muestra	Inercia (mm4)	Peso (g)	Área (mm2)	Volumen (mm3)	Densidad (kg/m3)	Relación h/d	Carga máxima compresión (kgf)
001_S	8892035.49	1076.20	4938.82	1490290.25	722.14	2.28	24330.10
002_S	11040854.79	1362.20	5883.93	1779007.39	765.71	2.21	30007.70
003_S	8659923.80	1071.90	5179.40	1576478.60	679.93	2.36	23565.00
004_S	6720670.59	923.10	4717.64	1435343.40	643.12	2.54	20220.00
005_S	9870740.54	1007.50	5434.83	1646075.32	612.06	2.26	17390.70
006_S	7522680.32	990.50	5030.45	1520829.52	651.29	2.45	22288.60
007_S	11280151.17	1194.10	5766.16	1884812.16	633.54	2.35	24282.70
008_S	7870452.94	824.20	4575.76	1374330.59	599.71	2.33	14696.10
009_S	9361779.58	996.30	5149.50	1558239.50	639.38	2.27	17086.90
0010_S	8365529.19	914.20	4621.18	1393632.42	655.98	2.28	15919.70
0011_S	11457670.71	1216.00	5654.30	1724984.17	704.93	2.17	25084.40
0012_S	9982567.74	1108.40	5509.29	1665872.54	665.36	2.25	24103.30
0013_S	8204403.48	877.10	4588.04	1382146.70	634.59	2.30	15475.30
0014_S	11314068.65	1149.00	5927.24	1782618.14	644.56	2.18	24279.80
0015_S	7300613.94	1092.10	4629.73	1410331.87	774.36	2.44	22558.90

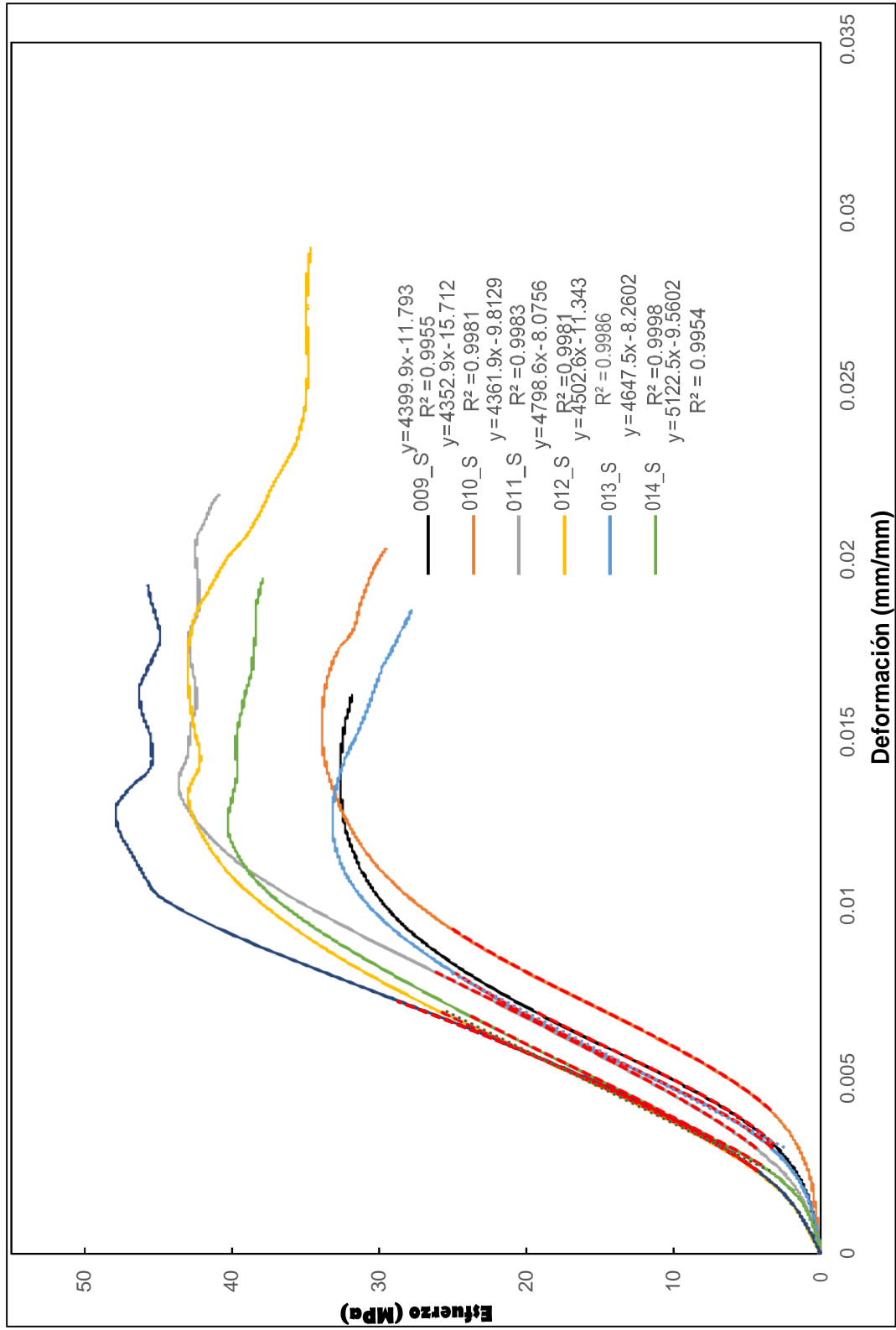
Fuente. Los Autores

Figura 18. Esfuerzo de compresión vs. deformación unitaria. Probetas 9-15



Fuente. Los Autores

Figura 19. Esfuerzo de Compresión vs. Deformación Unitaria. Probetas 9-15



Fuente. Los Autores

3.3 ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS

Para la caracterización inicial de la Guadua de la especie *Angustifolia* Kunth se toma como referencia los ensayos de la ingeniera Olga Vanegas realizados con el grupo de investigación de guadua con formato de la Universidad Nacional de Colombia (véase el Anexo B), realizados el 2 de febrero del 2018, para un total de 18 muestras ensayadas el 50% con nudo y el otro 50% sin nudo, con el ensayo de corte paralelo se determina la resistencia al corte paralelo a las fibras de Guadua y se evalúan los esfuerzos admisibles al transmitir una carga, el ensayo fue realizado sobre probetas con diámetros de 5,10 y 15 centímetros, y se indicaron si la probeta tenía nudo o no.

3.3.1 Cálculos. Determinación de la resistencia última al esfuerzo cortante, paralelo a las fibras, en probetas provenientes de cúlmos de Guadua *angustifolia*.

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\Sigma(txL)}$$

τ_{ult} : Resistencia última al corte, en MPa

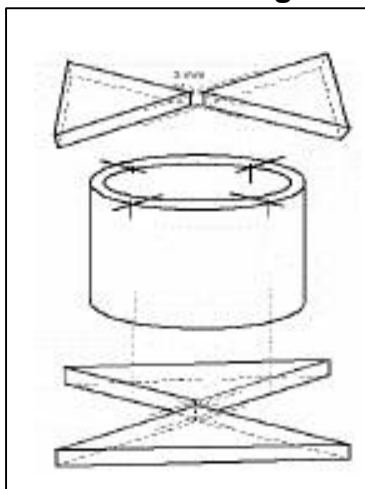
F_{ult} : Valor máximo de la carga aplicada en la cual falla la probeta, en N.

t : Espesor de la pared tomado en las áreas de corte, en mm.

L : Altura de la probeta tomada en las áreas de corte, en mm.

3.3.2 Montaje. El espécimen se apoyará en la parte más baja por encima de dos cuartos, opuestos entre sí; con esta manera de cargar se obtienen los resultados de corte del espécimen en cuatro áreas posibles de falla (véase la Figura 20).

Figura 20. Montaje del ensayo de compresión



Fuente. Los Autores

3.3.3 Ensayos sobre probetas de guadua con y sin nudo. Los resultados de los ensayos realizados se muestran en el Cuadro 34 resumen de resultados.

Se presenta el cuadro resumen con el máximo esfuerzo de corte $\tau_{\text{máx}}$, coeficientes de regresión lineal y densidad; junto con los resultados se indican en la parte inferior los valores promedio de los parámetros indicados:

Cuadro 34. Resultados esfuerzo máximo y propiedades de las probetas ensayadas

Muestra	g (mm)	D (mm)	Altura (mm)	Inercia (mm ⁴)	Peso (g)	Área (mm ²)	Volumen (mm ³)	Densidad (kg/m ³)	Relación h/d	Carga Última (N)	Resistencia Última Corte (MPa)	# Areas que fallaron
007 C N	16.53	143.13	160.50	13392474.54	765.60	6572.85	1054942.15	725.73	1.12	77725.47	7.33	4.00
008 C N	24.80	146.50	161.88	18284147.53	1112.70	9482.59	1534994.31	724.89	1.10	53868.93	3.35	2.00
009 C S	14.41	140.88	154.90	11594795.53	631.70	5725.55	886888.45	712.27	1.10	67479.27	7.56	2.00
010 C S	14.57	140.13	151.00	11479077.52	441.80	5748.34	867998.90	508.99	1.08	43090.60	4.90	1.00
011 B N	8.72	120.00	155.38	4745614.88	336.30	3046.87	473407.39	710.38	1.29	32914.48	6.08	3.00
012 B N	9.86	95.50	150.00	2464255.89	292.80	2652.79	397919.03	735.83	1.57	26940.79	4.55	4.00
013 B S	10.32	94.50	148.00	2453635.00	271.30	2728.93	403881.58	671.73	1.57	39267.82	6.43	3.00
014 B S	8.36	95.63	147.75	2200955.83	265.70	2290.97	338491.32	784.95	1.55	31771.99	6.43	2.00
015 A N	7.63	57.63	152.88	383182.60	199.10	1198.56	183230.49	1086.61	2.65	24325.07	5.21	2.00
016 A N	8.02	53.38	149.00	303026.95	195.30	1142.75	170269.04	1147.01	2.79	25439.43	5.32	4.00
017 A S	9.57	51.63	147.00	294002.45	132.60	1264.39	185864.64	713.42	2.85	20250.03	3.60	1.00
018 A S	6.98	50.43	151.38	230593.76	120.00	952.82	144232.96	831.99	3.00	27487.53	6.50	2.00

Fuente. Los Autores

Cuadro 35. Resultados promedios y percentil 5 de los valores encontrados.

Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia Última Corte (MPa)
Promedio	39213.45	5.61
Desviación estándar	18256.05	1.35
Coeficiente de variación (%)	46.56	24.12
Percentil 5	22491.30	3.49

Fuente. Los Autores

3.3.4 Contenido de humedad. Determinación, mediante el pesaje, de la pérdida de masa de la probeta de ensayo durante el secado hasta una masa constante.

$$CH = \frac{m - m_0}{m_0} * 100$$

CH - Contenido de humedad
 m - Masa húmeda
 m₀ - Masa seca

Cuadro 36. Contenido de Humedad

Muestra	Procede	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	Contenido de Humedad (%)
1	066_S	15.8	13.79	14.58
2	067_S	15.3	13.27	15.30
3	001_S	13.6	12.02	13.14
4	002_S	11.7	10.37	12.83
5	020_S	11.3	9.82	15.07
6	021_S	10.2	8.91	14.48
7	030_S	16.2	14.25	13.68
8	031_S	11.9	10.37	14.75
	Media			14.2

Fuente. Los Autores

Como se puede observar las probetas de guadua se encuentran en el rango de 77725 y 20250 KN para densidades promedio de 779.8 kg/ m³

Los resultados demuestran una disminución en la carga máxima que soporta la probeta en función del diámetro, el esfuerzo máximo corresponde 5.61 Mpa y el esfuerzo en el percentil 5 es de 3.49 MPa para contenidos de humedad de 14%.

3.4 ANALISIS DE RESULTADOS

Respecto a los ensayos de la guadua evaluados se obtuvo un comportamiento de manera positiva al corte paralelo a la fibra, comparando la resistencia de compresión paralela, se logró identificar mediante resultados que la guadua no soporta compresiones altas, llegando a un punto crítico donde su ruptura es inminente.

Los nudos y las fibras de la guadua permiten que la energía sea absorbida favoreciendo a una mayor flexibilidad, prorrogando las fallas, favoreciendo la estructura en caso de presentarse un sismo de gran magnitud. Por otro parte la resistencia al corte paralelo se determinó que en tanto la guadua tenga mayor humedad su resistencia es menor al corte.

Las fisuras presentadas en las probetas falladas generan una disminución de la resistencia de la misma manera disminuyendo su módulo de elasticidad.

Módulo de elasticidad promedio **E=4823.83**

Las probetas ensayadas presentaron un alto porcentaje a la falla por aplastamiento en la parte superior e inferior. En la figura 19 grafica de esfuerzo vs deformación se puede identificar una zona elástica en la cual hay una proporcionalidad de cargas aplicadas y deformaciones, y una zona plástica donde pierde su proporcionalidad elástica.

3.5 INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

Como se ha mencionado anteriormente la guadua angustifolia Kunth, se encuentra en un tipo de bosque húmedo tropical, concentrándose en las laderas de montaña y en las riberas de los ríos; por cuanto, según Mario Añazco ⁸⁰ los cambios climáticos pueden llegar a afectar tanto la productividad como la supervivencia de las especies. En este sentido, cabe mencionar que, el cambio climático al ser un fenómeno complejo según la Evaluación de Ecosistemas del Milenio del 2005, es

⁸⁰ AÑAZCO, Mario. Estudio de vulnerabilidad del bambú (guadua angustifolia) al cambio climático en la costa del Ecuador y norte Perú. Quito: Unión Europea Red Internacional del Bambú y Ratán, 2012. p.18. ·

“el mayor generador de afectaciones en la biodiversidad, ya que la velocidad de un cambio ambiental representa un desafío difícil para que las especies se puedan adaptar a la misma velocidad, esto debido a cambios como la reducción de las precipitaciones y la prolongación de períodos seco”⁸¹, y que pueden por ejemplo las distribuciones geográficas de especies como la *angustifolia kunth*, debido “al aumento de temperatura promedio y los cambios en los patrones espaciales y temporales de precipitación, lo que en conjunto podría afectar también la reproducción, migración y tamaños de población de las especies”⁸².

Al respecto y como se ha mencionado anteriormente, una de las características de la guadua *Angustifolia Kunth* es que absorbe gran cantidad de agua del ambiente, lo cual, dentro de algunos rangos de variedad del contenido de humedad, permite que la guadua cambie tanto en su peso como en sus dimensiones, esto “debido a que el agua puede depositarse tanto en las cavidades como en las paredes celulares de la planta”⁸³, por lo que una posible incidencia del cambio climático al presentar aumento de las precipitaciones es que, el contenido de la humedad en la guadua aumente, lo que según investigaciones, provoca la disminución en la rigidez y la resistencia del material, y que: “La variación en el contenido de humedad es uno de los factores de mayor afectación en las propiedades mecánicas del bambú. Algunos autores han encontrado que el bambú presenta disminuciones de resistencia de hasta un 30 % cuando se alcanza el punto de saturación de las fibras. Esta pérdida de resistencia es notoria en sollicitaciones de carga a compresión paralela a la fibra y cortante paralelo”⁸⁴.

Por otro lado, la guadua como recurso auto sostenible, presenta aspectos positivos en cuanto a la conservación del medio ambiente, ya que estudios sobre la huella de carbono, han indicado que el prototipo bioclimático de viviendas en bambú en su proceso constructivo genera una huella de carbono de 75,6 KgCo2eq/m², sin embargo, al contar en su estructura con bambú, esta captura 82 KgCo2eq/m² dando un balance negativo de -6.8 KgCo2eq/m², lo que significa una contribución positiva en la reducción de los efectos que produce el sector de la construcción frente al cambio climático. Así mismo, el prototipo de vivienda bioclimática en bambú, puede brindar respuesta a la reducción de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

⁸¹ RUIZ SANCHEZ, Eduardo; MENDOZA GONZÁLEZ, Gabriela y ROJAS SOTO, Octavio. Mexican priority bamboo species under scenarios of climate change. En: Botanical Sciences. January – March, 2018. vol. 96, no 1, p. 12.

⁸² GITAY H.; SUÁREZ, A.; DOKKEN, D.J. & WATSON, R.T. 2002. Climate Change and Biodiversity. New York: IPCC Technical Paper V. WMO. UNEP, 2002

⁸³ GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo; BONILLA SANTOS, Jessika Isabel; CRUZ AMADO, María Fernanda y QUINTERO ARANZALEZ, Juan Guillermo. Expansión lineal y punto de saturación de las fibras de la *Guadua angustifolia Kunth*. En: Colombia Forestal. Marzo- agosto, 2017. vol. 21, no. 1, p. 70.

⁸⁴ *Ibid.*, p. 71

Según el INBAR ⁸⁵, la guadua se presenta como una alternativa para combatir el cambio climático, ya que ésta posee una gran capacidad de almacenamiento de carbono a escala, así mismo, es capaz de reemplazar materiales que emiten altos niveles de carbono como el PVC, el acero y el concreto.

4. DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA

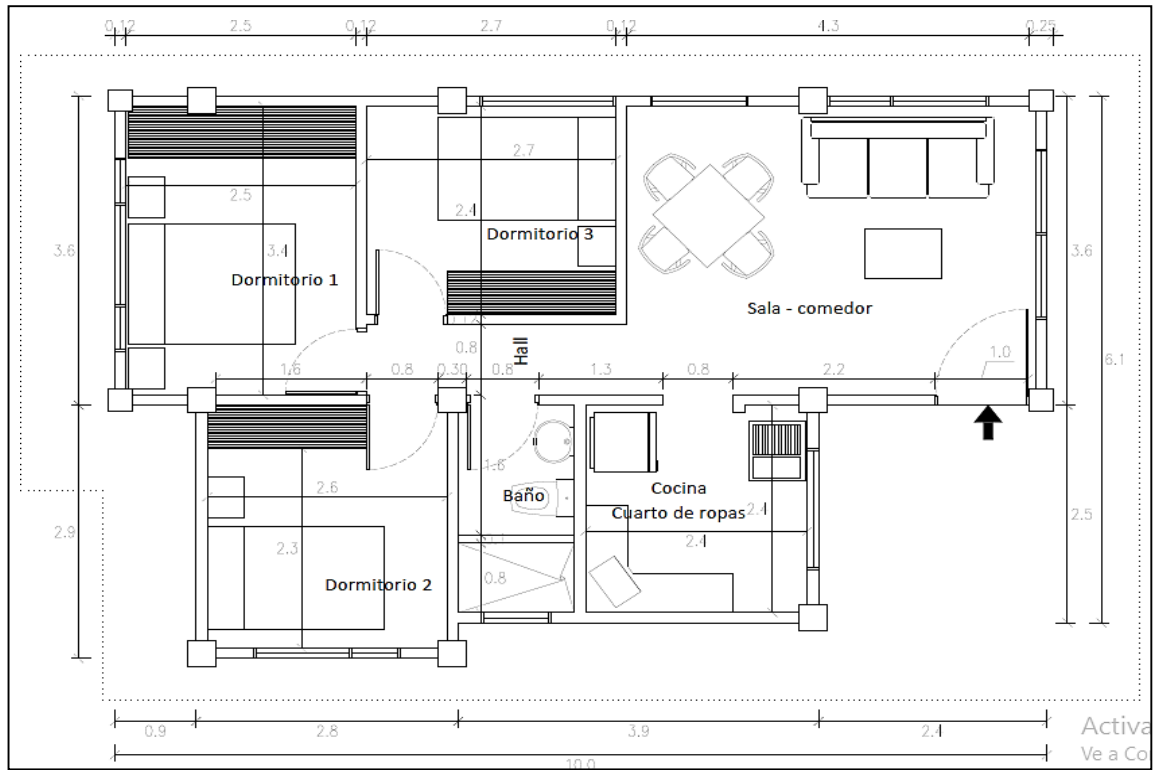
4.1 DISEÑO AQUITECTONICO

El diseño propuesto de la vivienda de interés social (VIS) rural para el Departamento del Quindío se compone de una (1) planta de 61.55 m² área construida y área interna de 54.99 m² compuesta por tres dormitorios, sala comedor, un baño, cocina con cuarto de ropas, cubierta en elementos de Guadua angustifolia kunth, la cual conserva los diámetros ideales para su diseño, sugiriéndose el uso de teja termo acústica, amigable con el medio ambiente y fácil instalación según información del fabricante.

Para la mampostería, el diseño propuesto está compuesto por esterilla de guadua y mortero para su revestimiento, lo que le da un acabado arquitectónico y amigable con el medio ambiente, finalmente, la vivienda propuesta dispone de un diseño de ventilación natural que ayuda a mantener la calidad del aire, tanto de control de humedad, y concentraciones de gases o partículas en suspensión. (véase figura 21,22,23 y 24), para visualizar planos arquitectónicos (véase anexos)

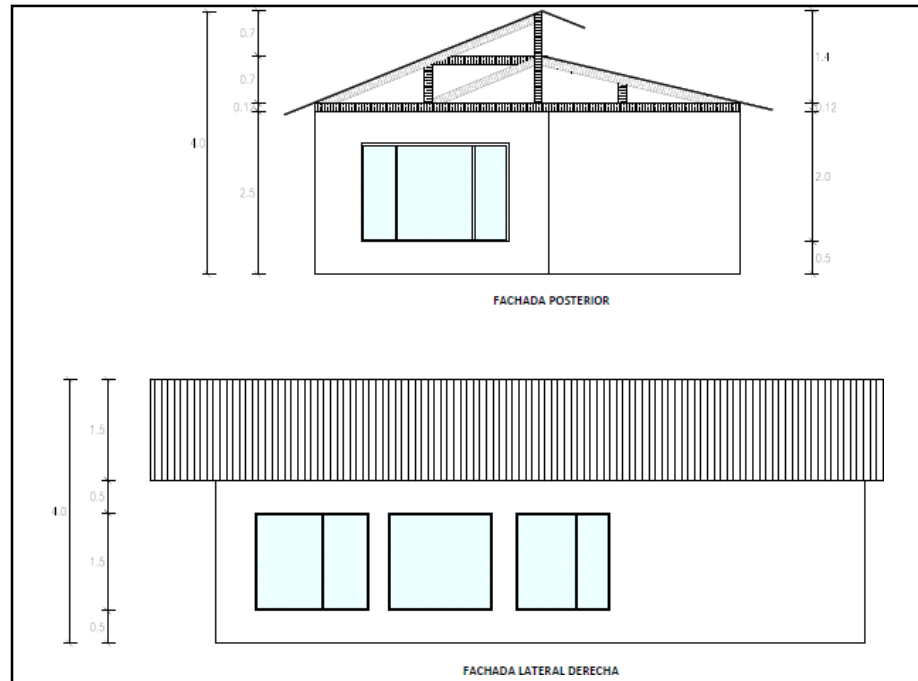
⁸⁵ INBAR. Vivienda Bioclimática En Bambú [en línea]. Quito: La Empresa [citado 5 octubre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.inbar.int/es/vivienda-bioclimatica-en-bambu/>>

Figura 21. Plano Distribución Casa de Interés Social Rural



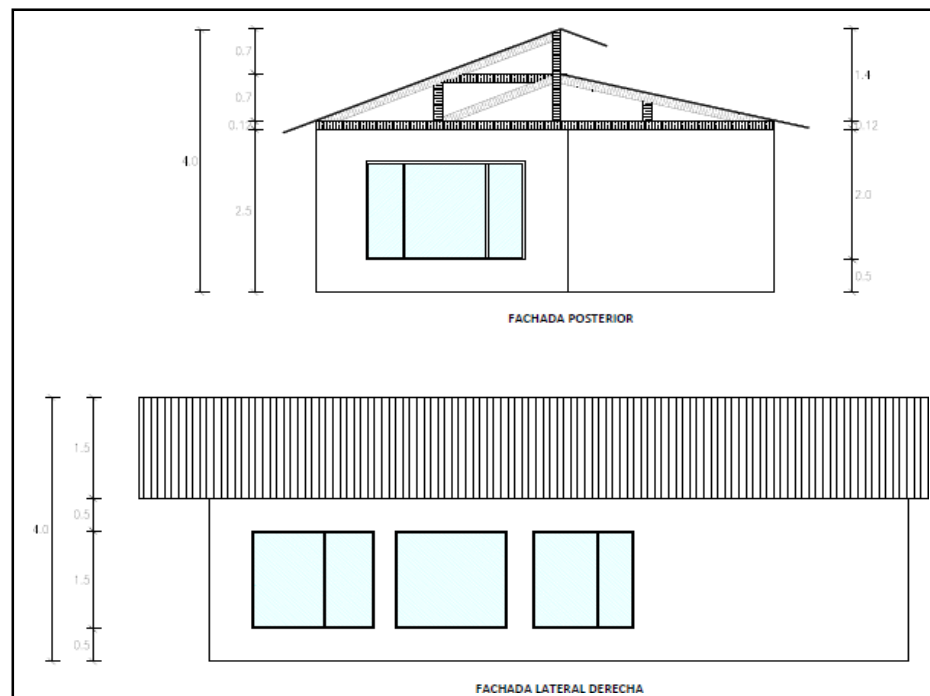
Fuente. Los Autores

Figura 22. Fachada Lateral Izquierda Diseño Vivienda VIS



Fuente. Los Autores

Figura 23. Fachada Lateral Derecha Diseño Vivienda VIS



Fuente. Los Autores

Figura 24. Cubierta Vivienda VIS



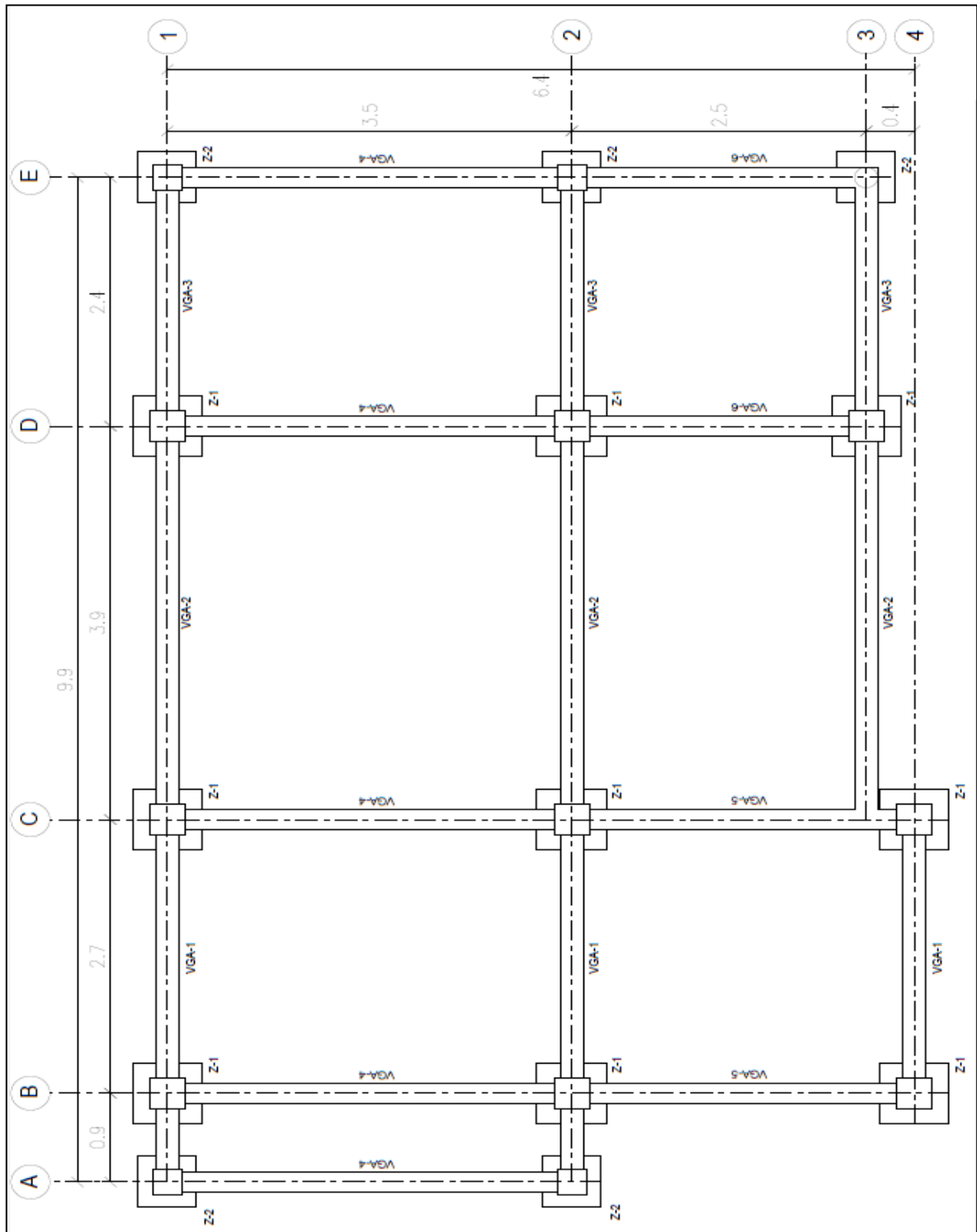
Fuente. Los Autores

4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

Para el desarrollo y modelación del diseño propuesto de la vivienda de interés social (VIS) rural para el Departamento del Quindío cumpliendo los parámetros de diseño estructural descritos en el presente trabajo, el proyecto se desarrolló estructuralmente por medio de sistema aporcado en dos direcciones, la losa de sobre piso, con refuerzo en malla electro soldada de 6mm, con una sub-base en material granulado B200 y B400 compactado. (véase figura 25).

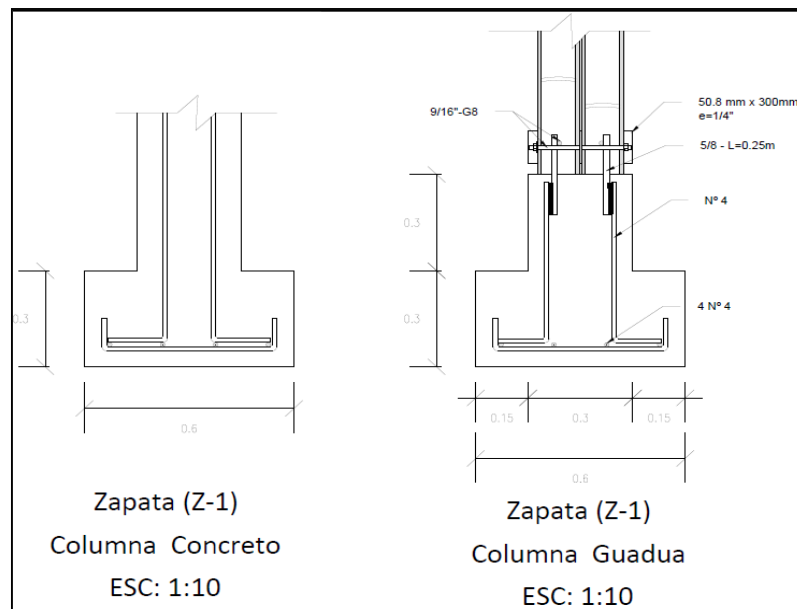
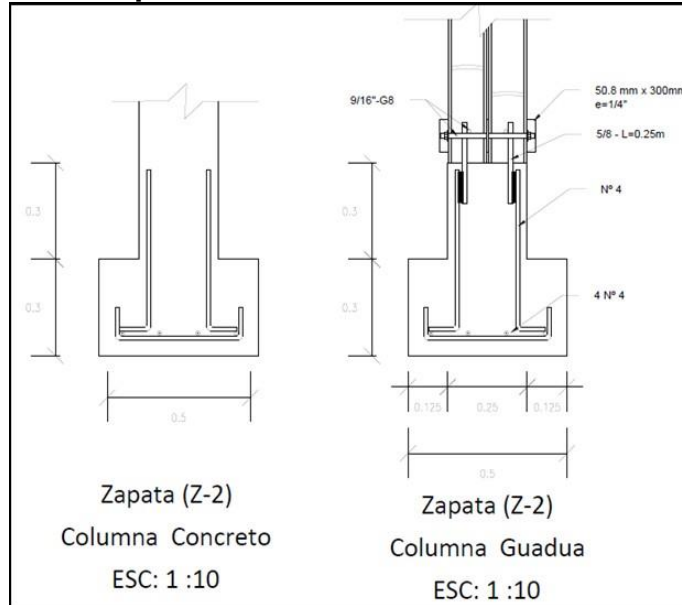
En cuanto a la cimentación, se determinó la zapata en concreto de 3000 PSI - 210 kg/cm² con refuerzo en barras de acero No. 4 corrugada para su parrilla y canasta de fundición en concreto (véase figura 26). Las columnas, están diseñadas bajo el siguiente modelo 1^a) Combinación de guadua angustifolia kunth y concreto, 2^a) Concreto con refuerzo en acero N°4, cumpliendo los diámetros mínimos para su resistencia a compresión y tensión de acuerdo a las cargas simuladas en el software, para soportar cargas verticales y laterales (sísmicas),(véase figura 27), las vigas de amarre de confinamiento de concreto reforzado, la cercha está diseñada en forma triangular lo que permite una mayor disipación de energía y distribución de cargas, para planos estructurales (véase el Anexos)

Figura 25. Planta estructural y cimentación casa de interés social VIS Rural ECS 1:20



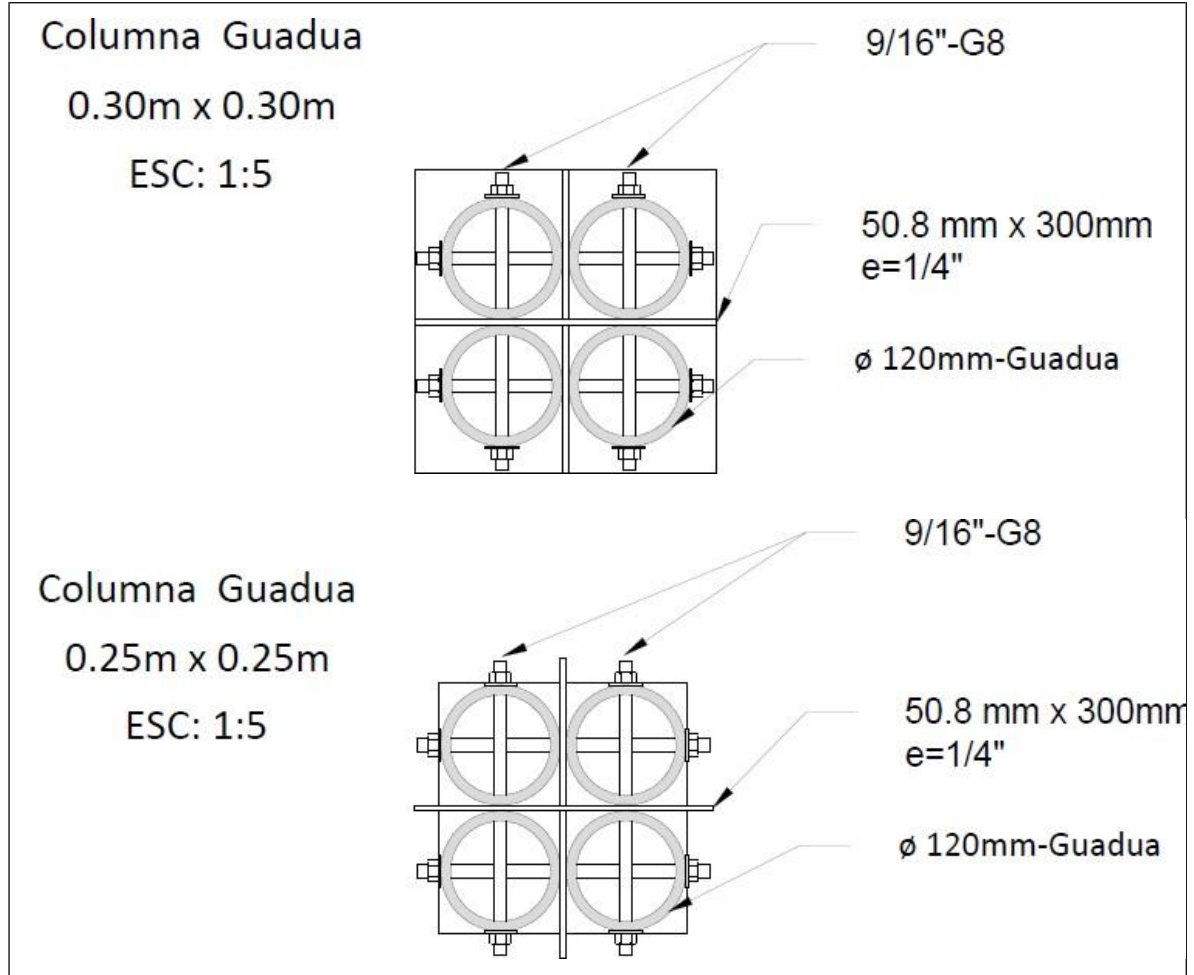
Fuente. Los Autores

Figura 26. Zapatas Diseño Estructural Vivienda VIS



Fuente. Los Autores

Figura 27. Columnas Diseño Estructural Vivienda VIS



Fuente. Los Autores

4.3 CÁLCULOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y ARQUITECTÓNICOS DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA

Para realizar los cálculos de cada uno de los elementos estructurales y arquitectónicos del modelo de la vivienda de interés social rural propuesto, se utilizó el programa SAP2000, (véase el Anexos memorias de cálculo estructural).
MODELACIÓN DIGITAL DISEÑO DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA

4.2.1 Análisis Sísmico Método de Análisis Dinámico. En los procedimientos espectrales se utiliza el espectro definido en A 2.6 NSR 10. Para el análisis dinámico espectral se debe tener en cuenta los siguientes requisitos.

Se deben utilizar todos los medios de vibración de la estructura que contribuyan de una manera significativa a los números de modo de vibración.

La respuesta máxima de cada modo incluyendo derivas, fuerzas de los elementos se combinan para obtener la respuesta total de la estructura

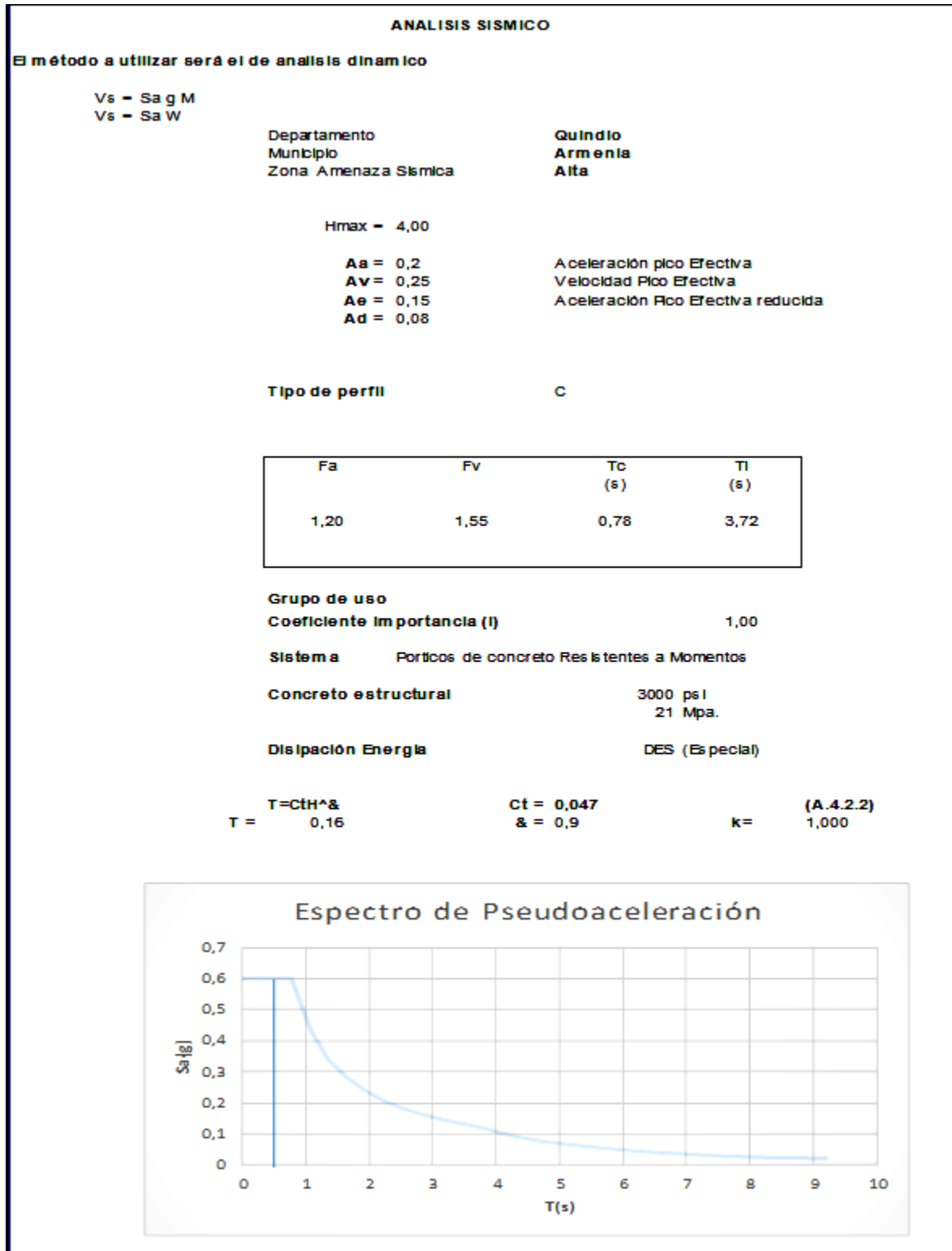
Ajuste de resultados A.5.4.5

Evaluación de las derivas.

Fuerza de diseño de los elementos.

Diseño de los elementos estructurales.

Figura 28. Definición del espectro elástico de respuesta sísmica



Fuente. Los Autores.

Figura 29. Análisis dinámico

Los valores del espectro de aceleración se exportaron al modelo para realizar el análisis Dinámico.

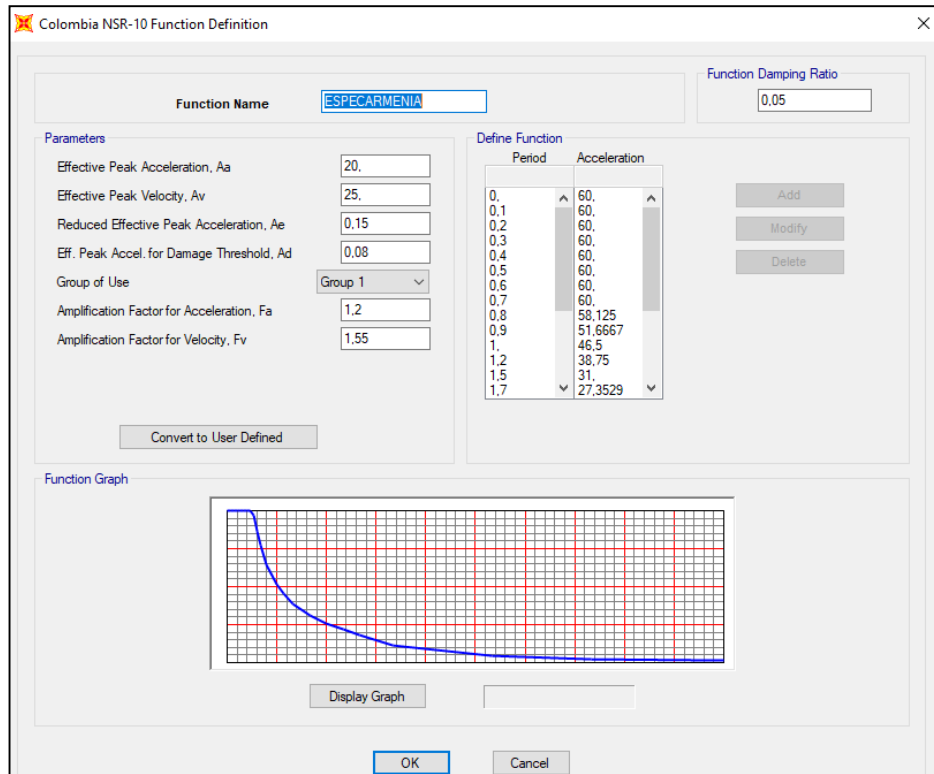
	si $T < T_c$	si $T_c < T < T_l$	si $T_l < T$
Sa=	$2.5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I$	$1.2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot I \cdot T$	$1.2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot T^H / T^2$
	0,600	2,841	64,579
Sa=	0,600		
Vs=	8,640	ton	14,40 Ton

CASA VIS						
DISTRIBUCION VERTICAL DE LA FUERZA SISMICA						
Sa=	0,60					
Vs=	8,64	ton	K= 1,00			
NIVEL	PESO (Ton)	h (M)	hi % (M)	PESO*(hi/k) (Ton-M)	Cvx	Fx (Ton)
cubierta	14,40	4,00	4,00	57,60	1,000	8,64
	14,40		4,00	57,60	1,00	8,64

Análisis dinámico			
Vx=	4,97 Ton	Vy=	4,97 Ton
Estructura Regular	% Vs= 80%	0,8 Vs=	6,912 Ton
Factor de ajuste			
Vx=	$\frac{6,912}{4,97}$	=	1,39
Vy=	$\frac{6,912}{4,97}$	=	1,39

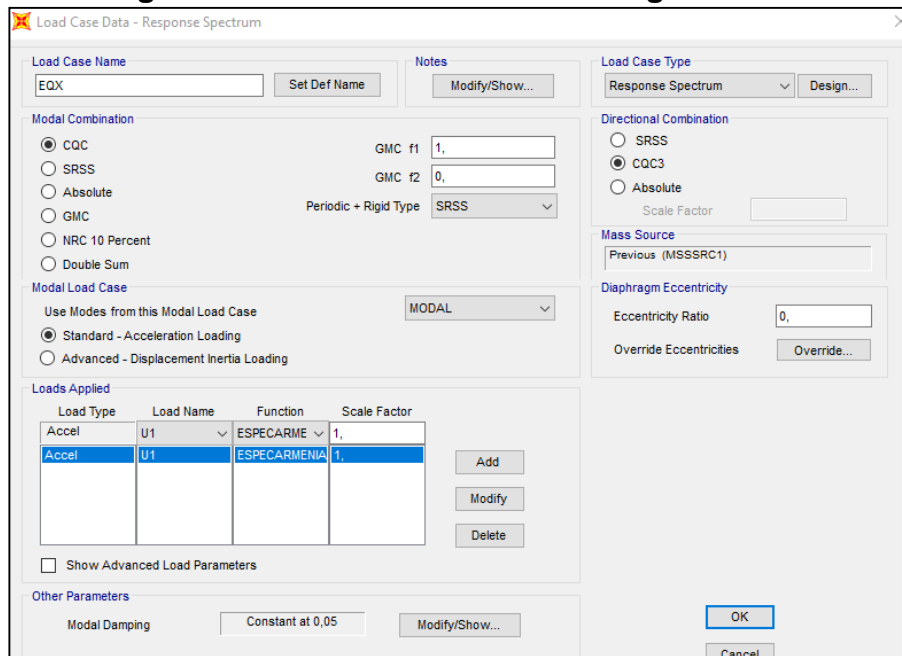
Fuente. Los Autores

Figura 30. Definición del espectro elástico de respuesta sísmica



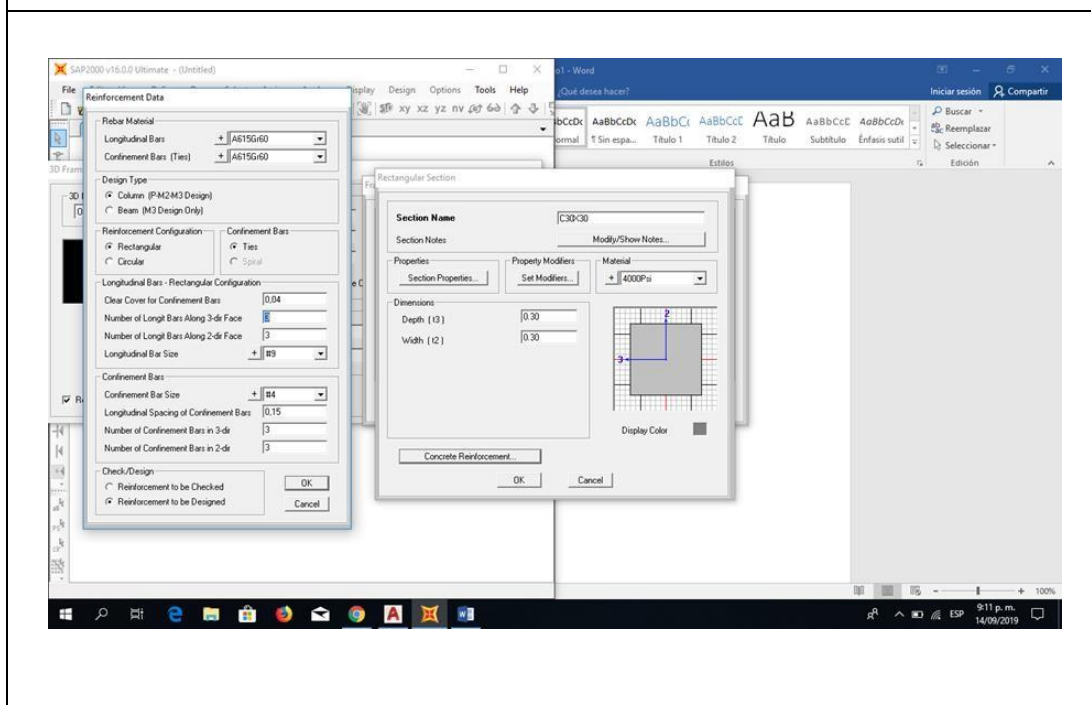
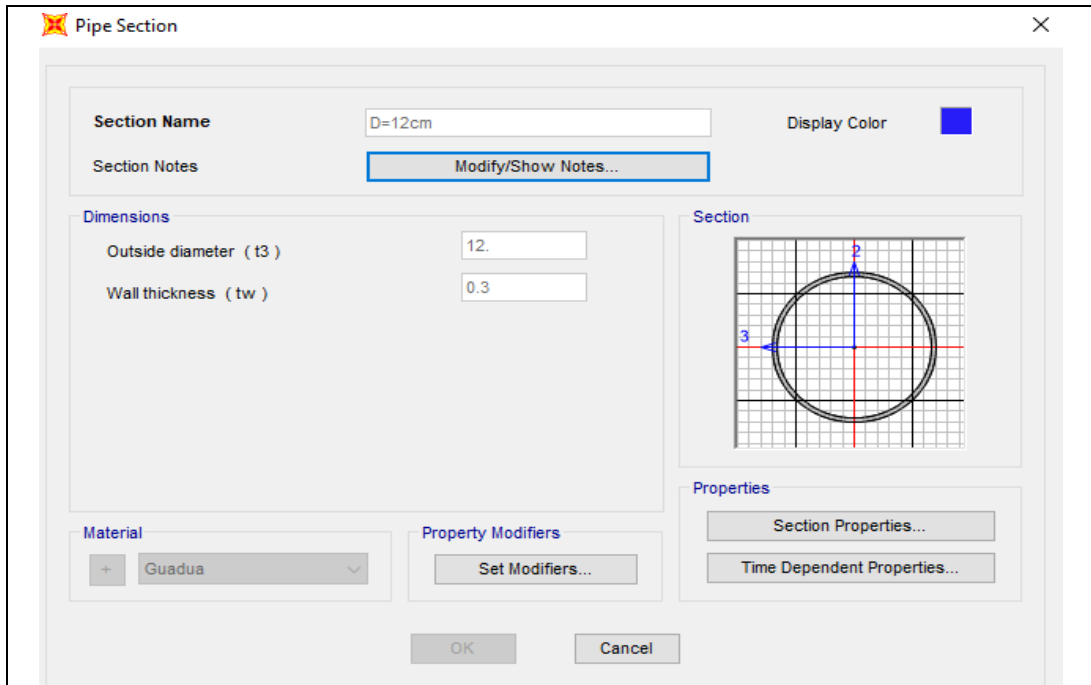
Fuente. Los Autores

Figura 31. Creación del caso de carga sísmica



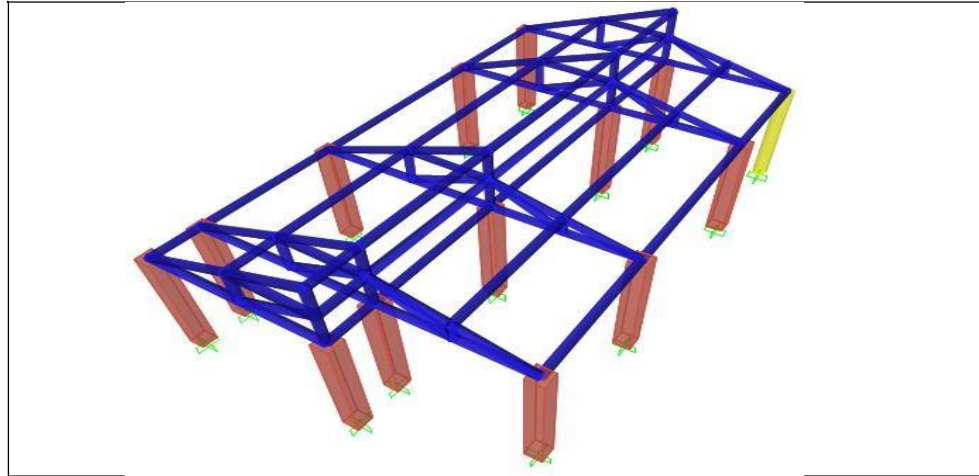
Fuente. Los Autores

Figura 32. Definición de Sección de las Vigas



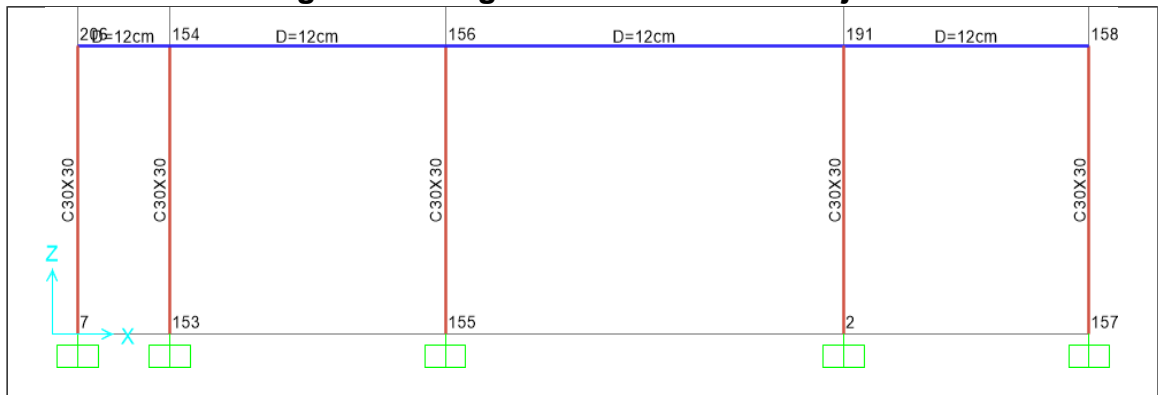
Fuente. Los Autores

Figura 33. Estructura de las Vigas Casa VIS



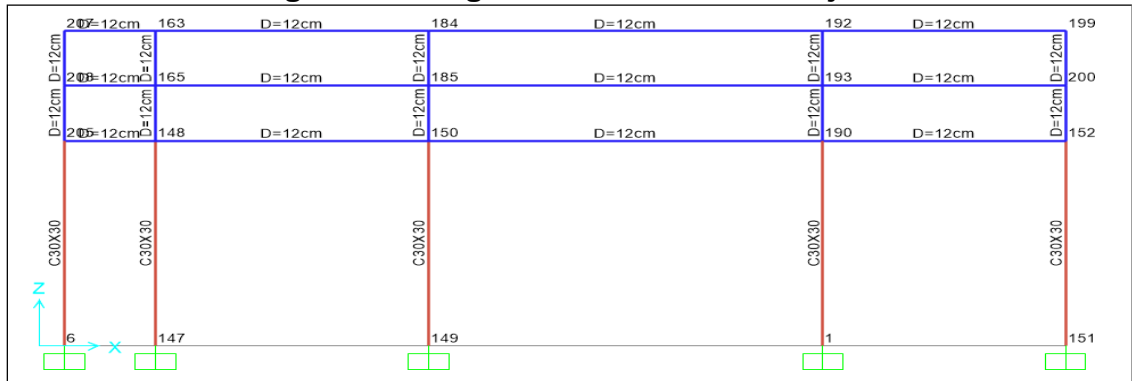
Fuente. Los Autores

Figura 34. Asignación de secciones Eje 1



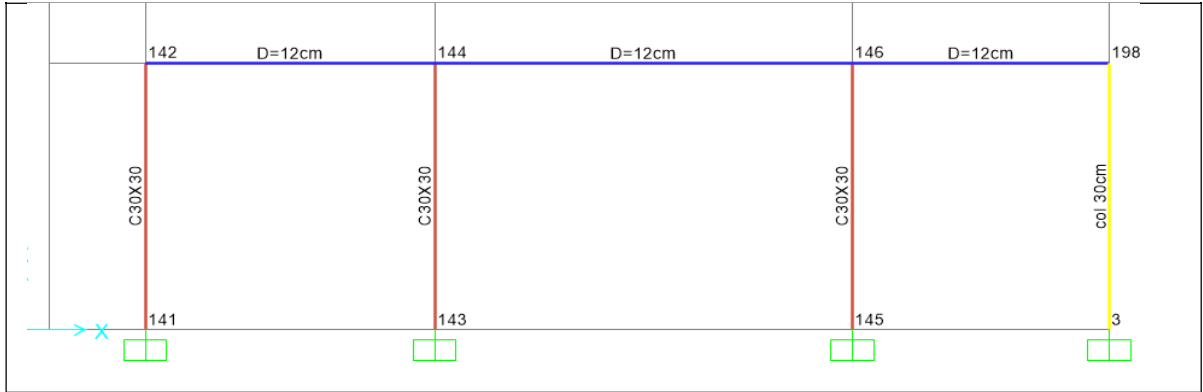
Fuente. Los Autores

Figura 35. Asignación de secciones Eje 2



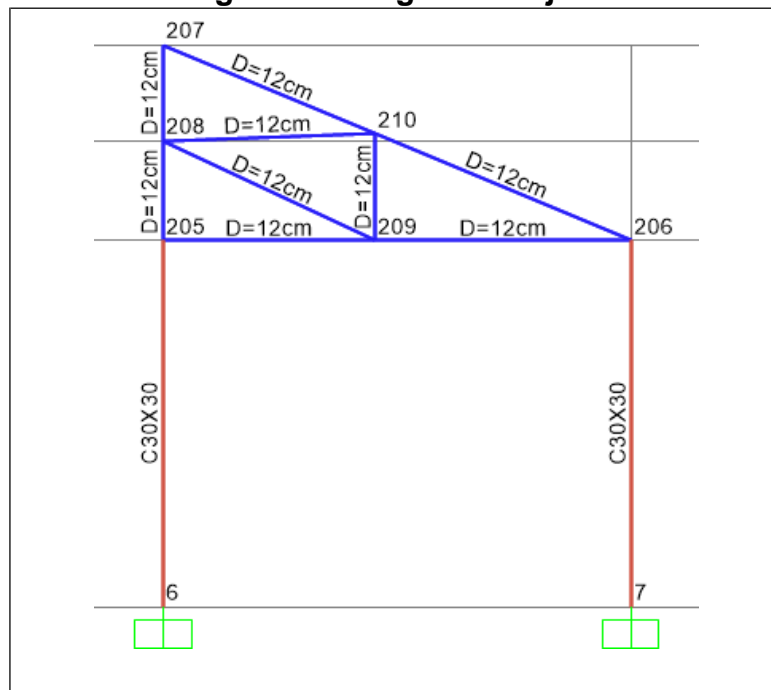
Fuente. Los Autores

Figura 36. Asignación de secciones Eje 3



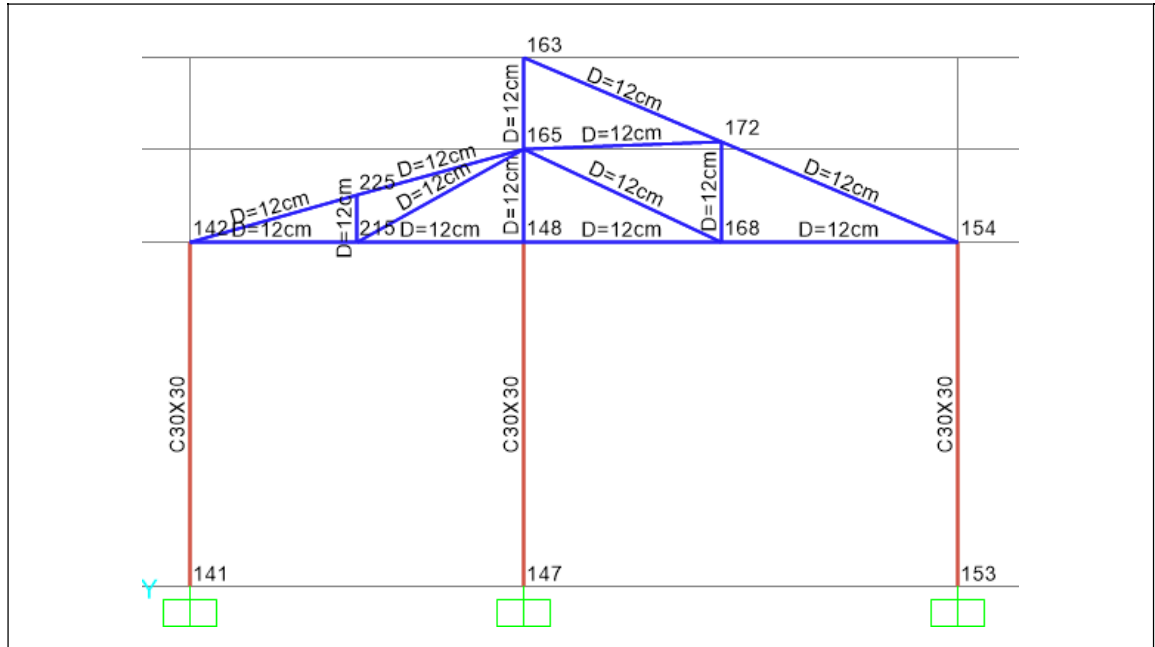
Fuente. Los Autores

Figura 37. Asignación eje A



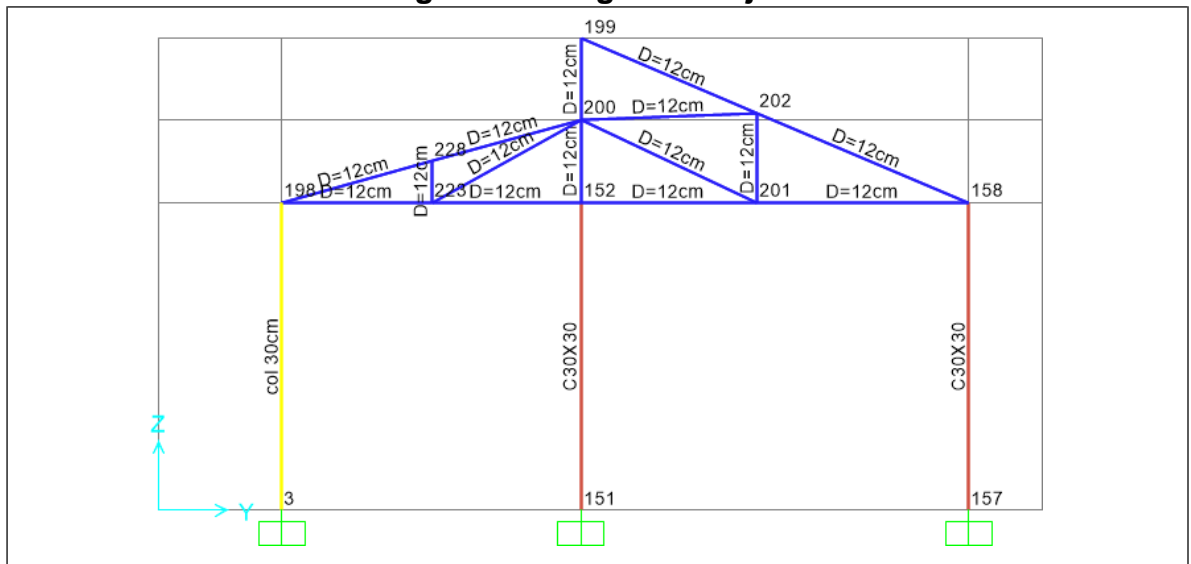
Fuente. Los Autores

Figura 38. Asignación ejes B, C, D



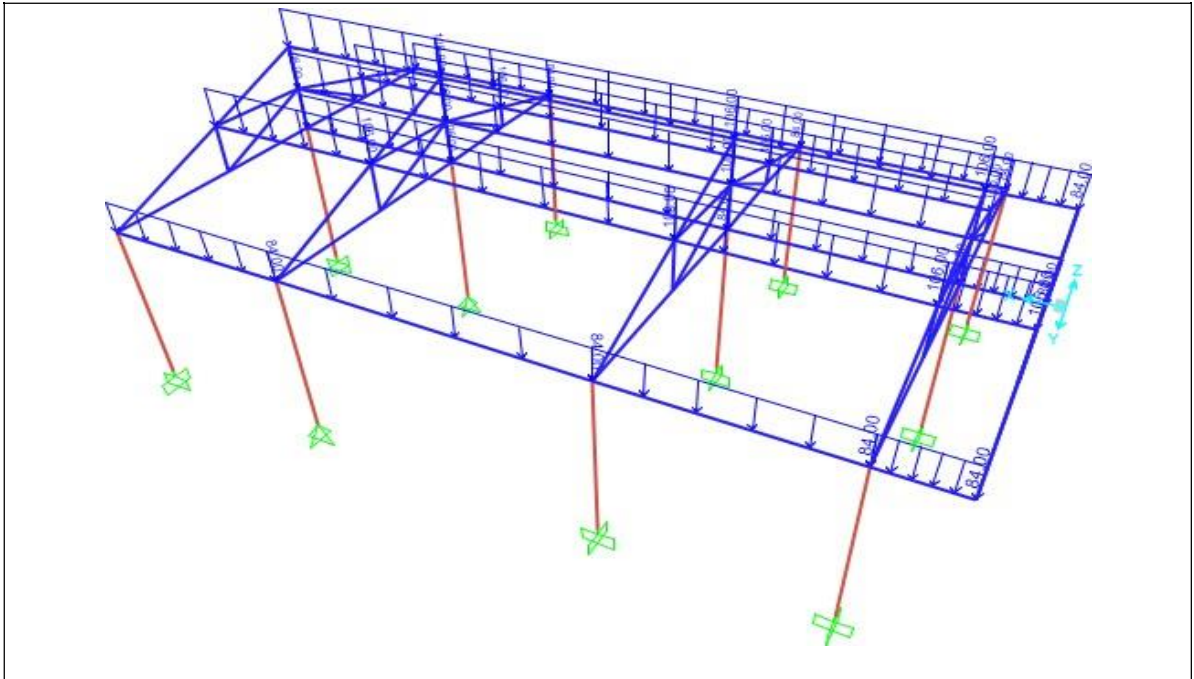
Fuente. Los Autores

Figura 39. Asignación eje E



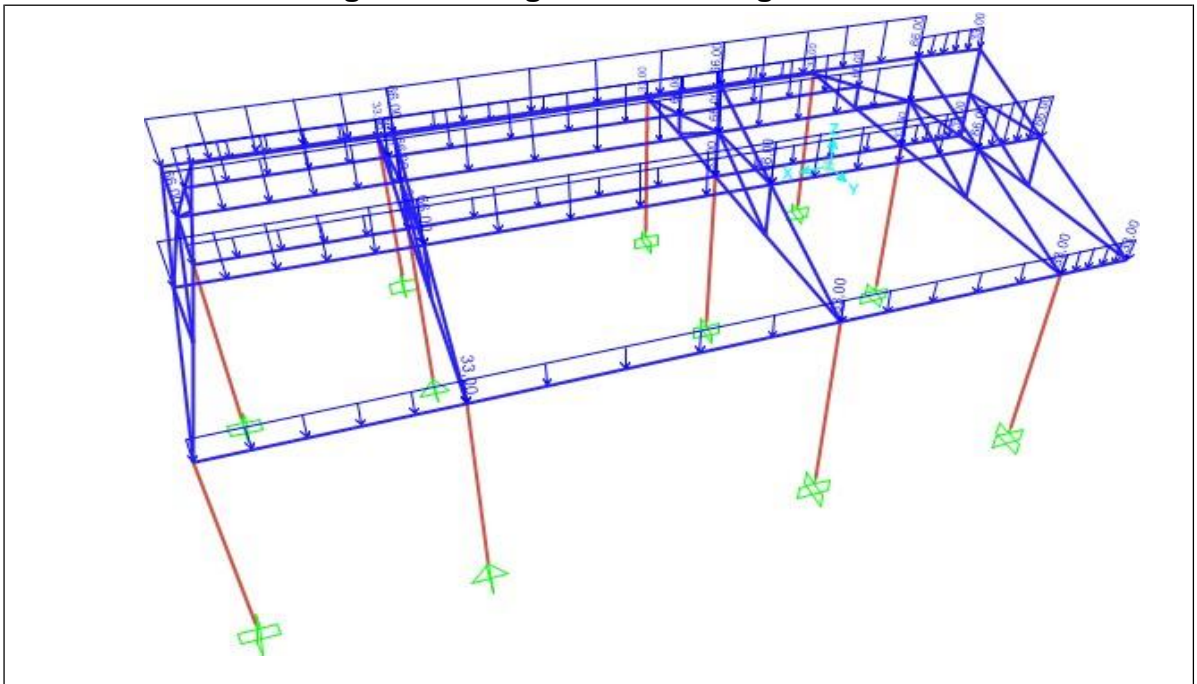
Fuente. Los Autores

Figura 40. Asignación de Carga Muerta



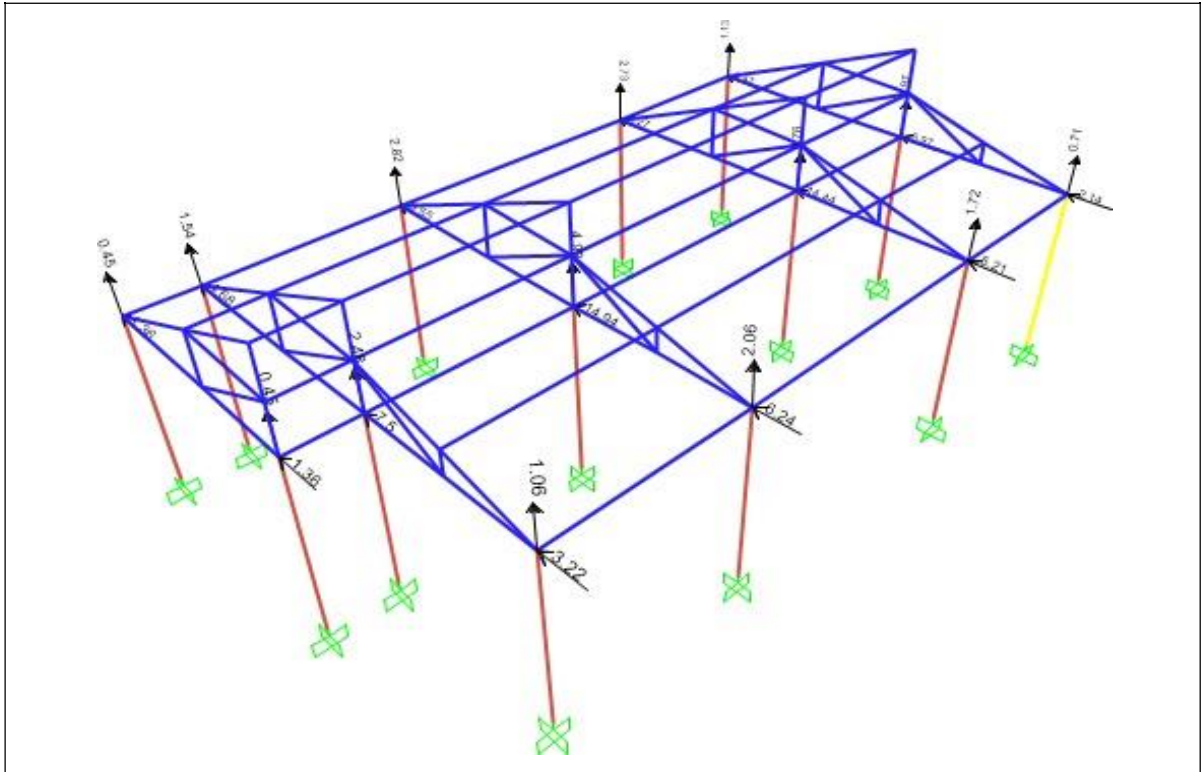
Fuente. Los Autores

Figura 41. Asignación de Carga Viva



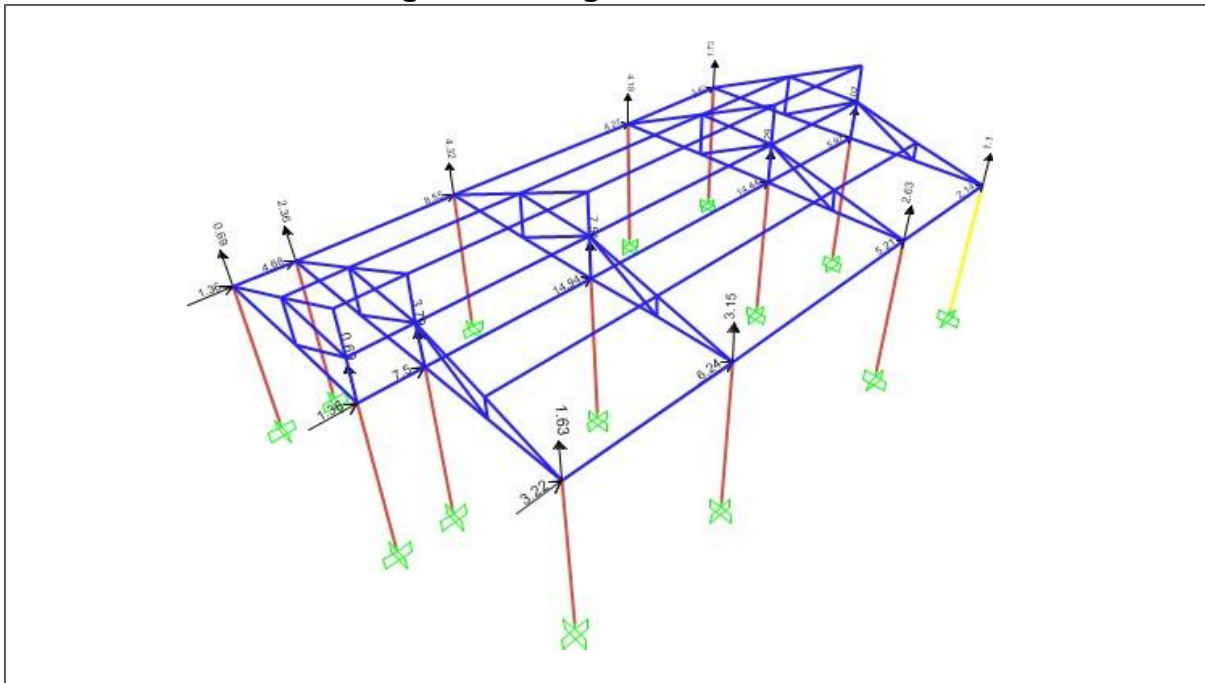
Fuente. Los Autores

Figura 42. Asignación Sismo en Y



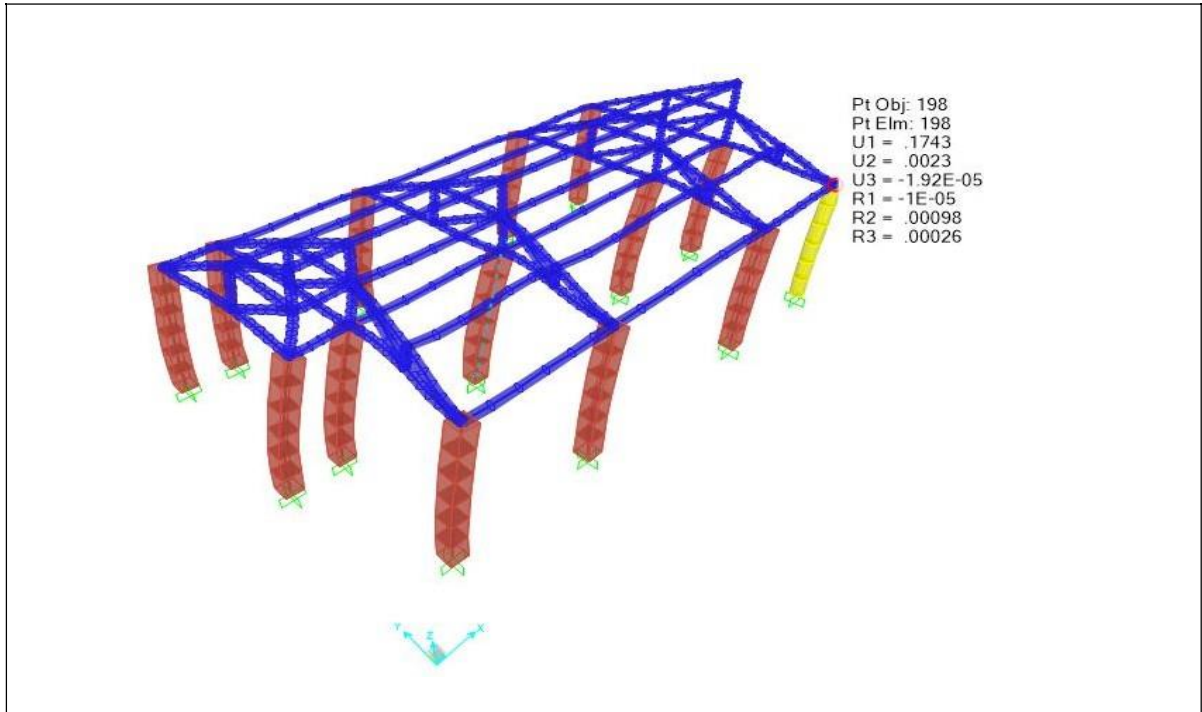
Fuente. Los Autores

Figura 43. Asignación sismo X



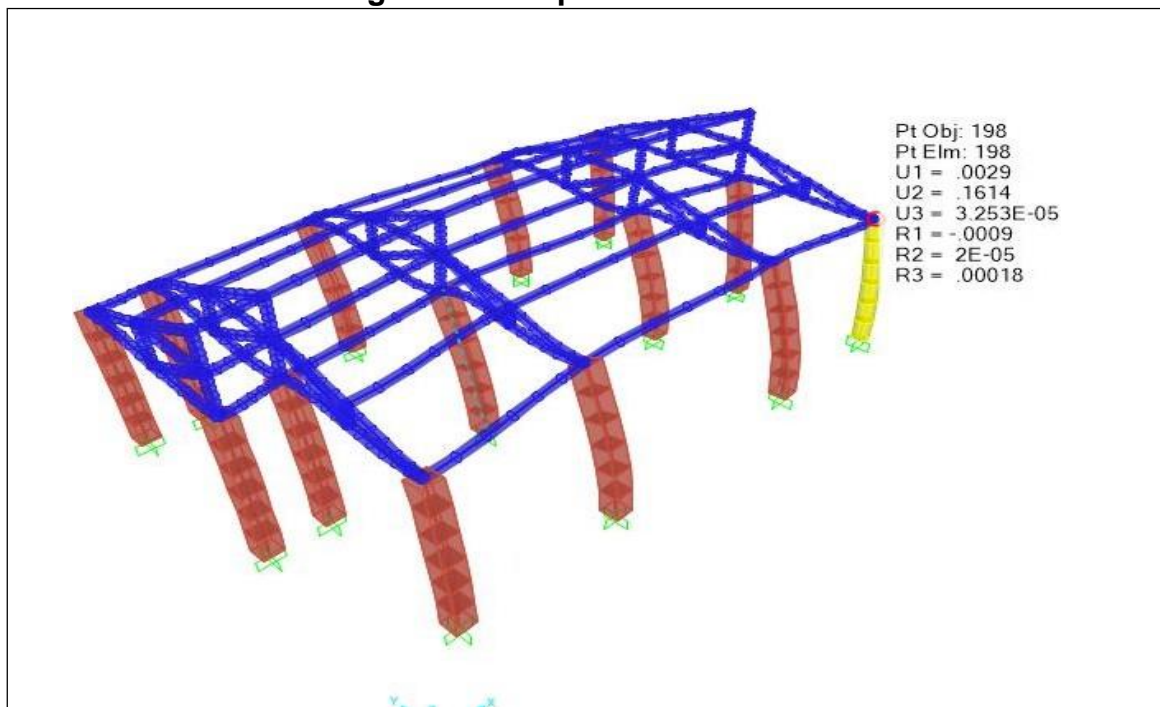
Fuente. Los Autores

Figura 44. Desplazamiento en X



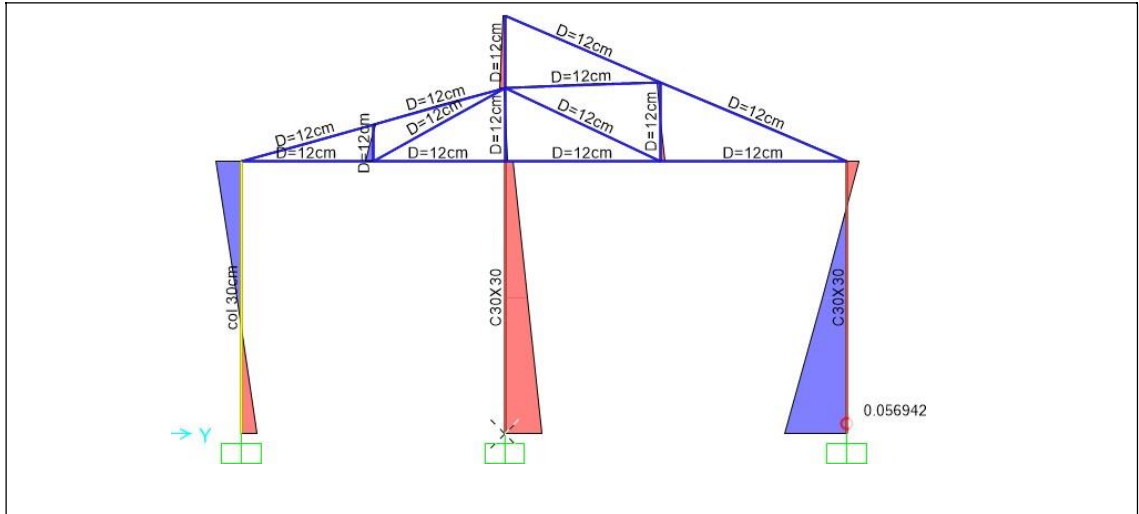
Fuente. Los Autores

Figura 45. Desplazamiento en Y



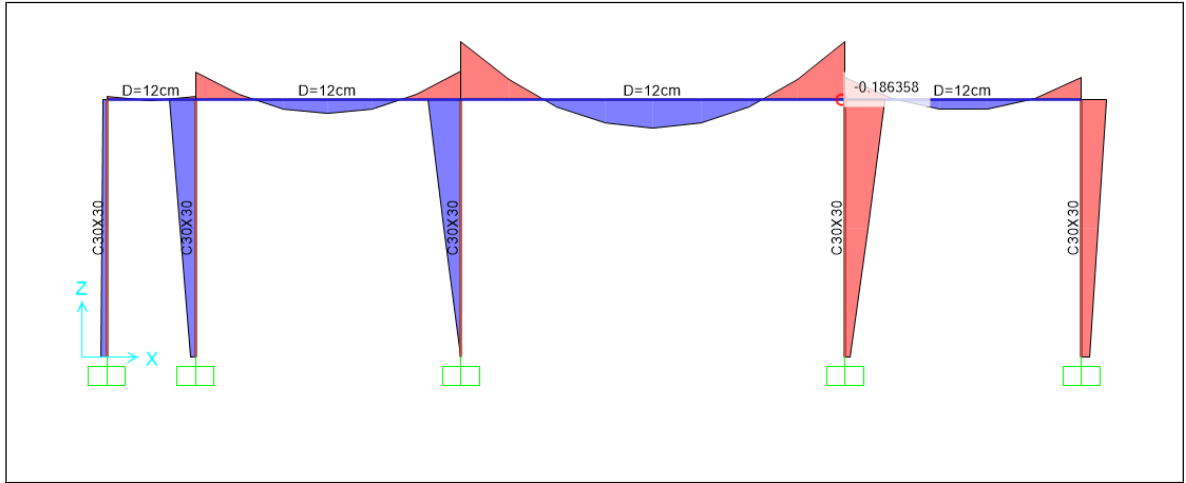
Fuente. Los Autores

Figura 46. Diagrama de Momento 2-2 Debido a la Combinación 1.2D + 1(Cargas Verticales)



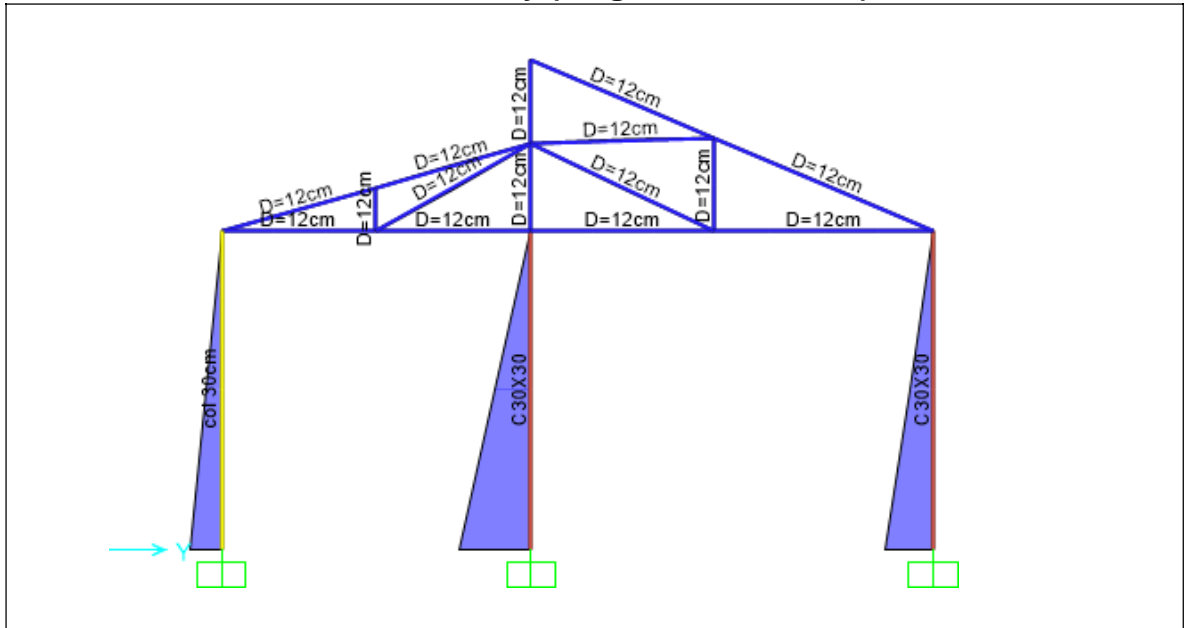
Fuente. Los Autores

Figura 47. Diagrama de Momento 3-3 Debido a la Combinación 1.2D + 1.6 L (Cargas Verticales)



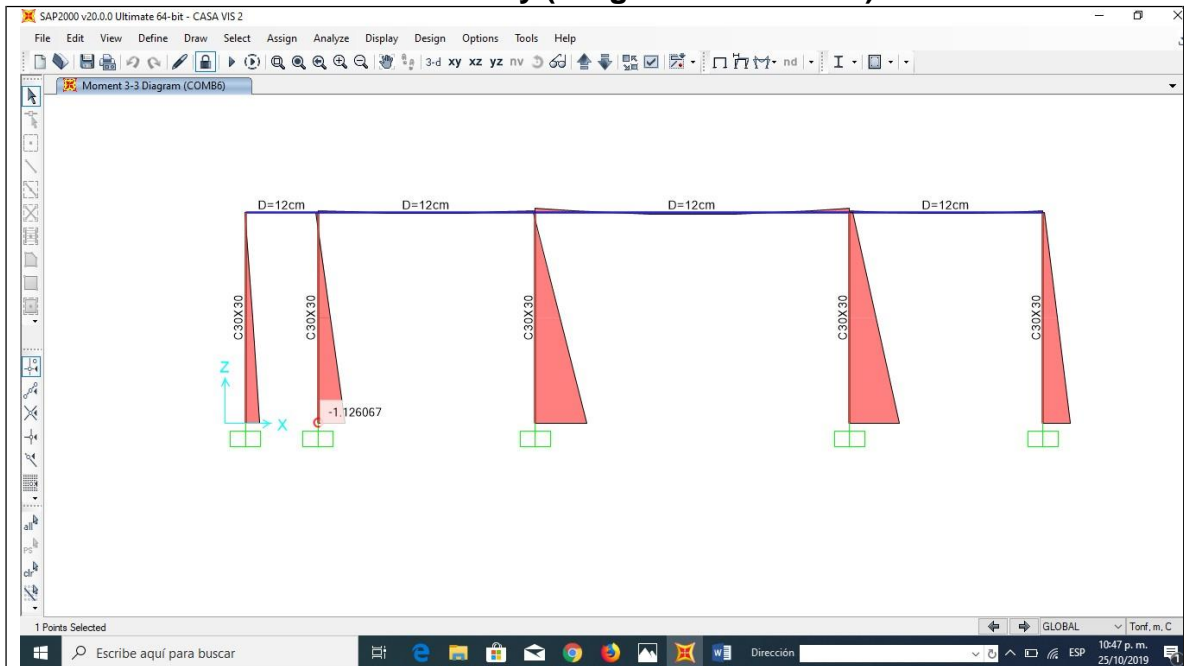
Fuente. Los Autores

Figura 48. Diagrama de momento 2-2 debido a la combinación 1.2D + 1.0 L + EQx + 0.30 EQy (cargas horizontales)



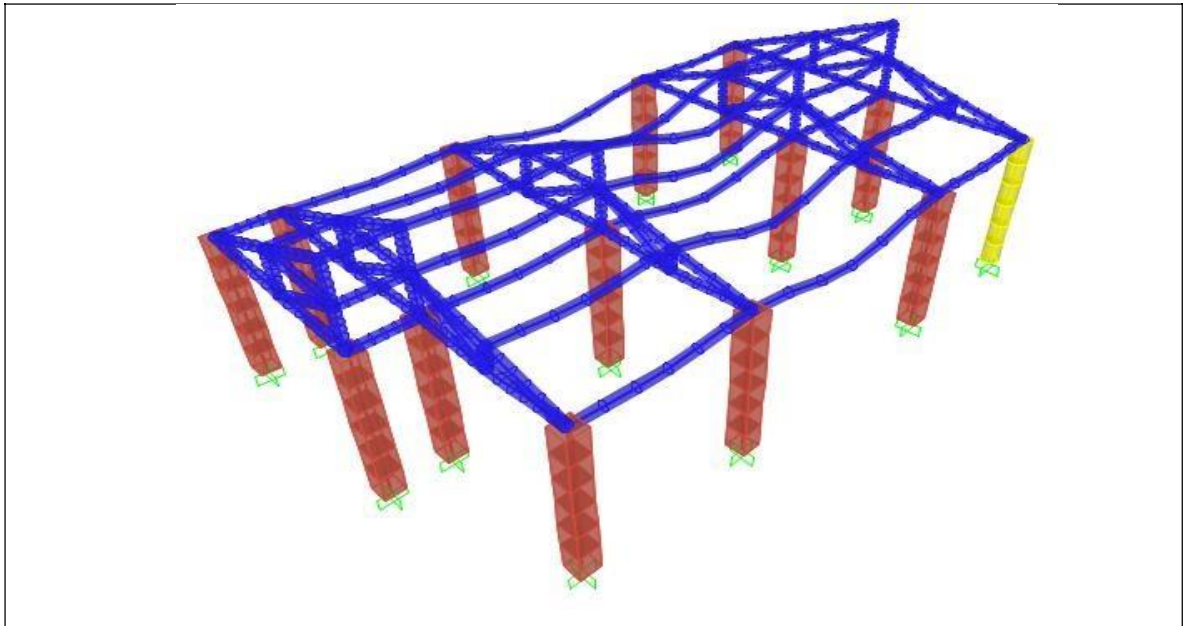
Fuente. Los Autores

Figura 49. Diagrama de Momento 3-3 Debido a la Combinación 1.2D + 1.0 L + EQx + 0.30 EQy (Cargas Horizontales)



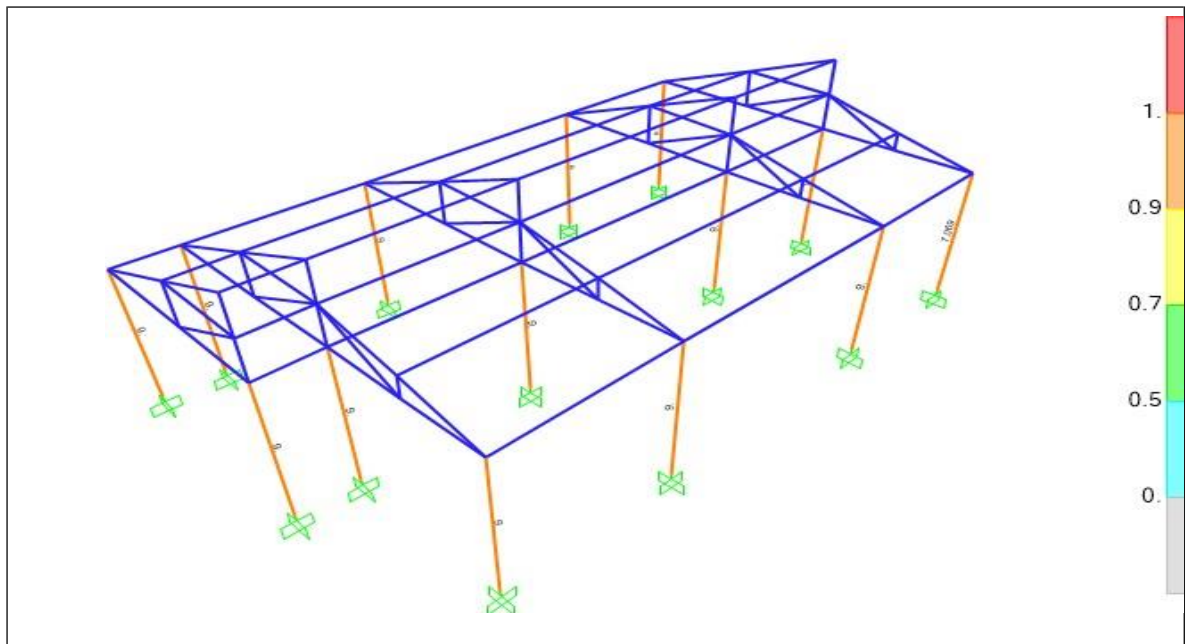
Fuente. Los Autores

Figura 50. Estructura Deformada



Fuente. Los Autores

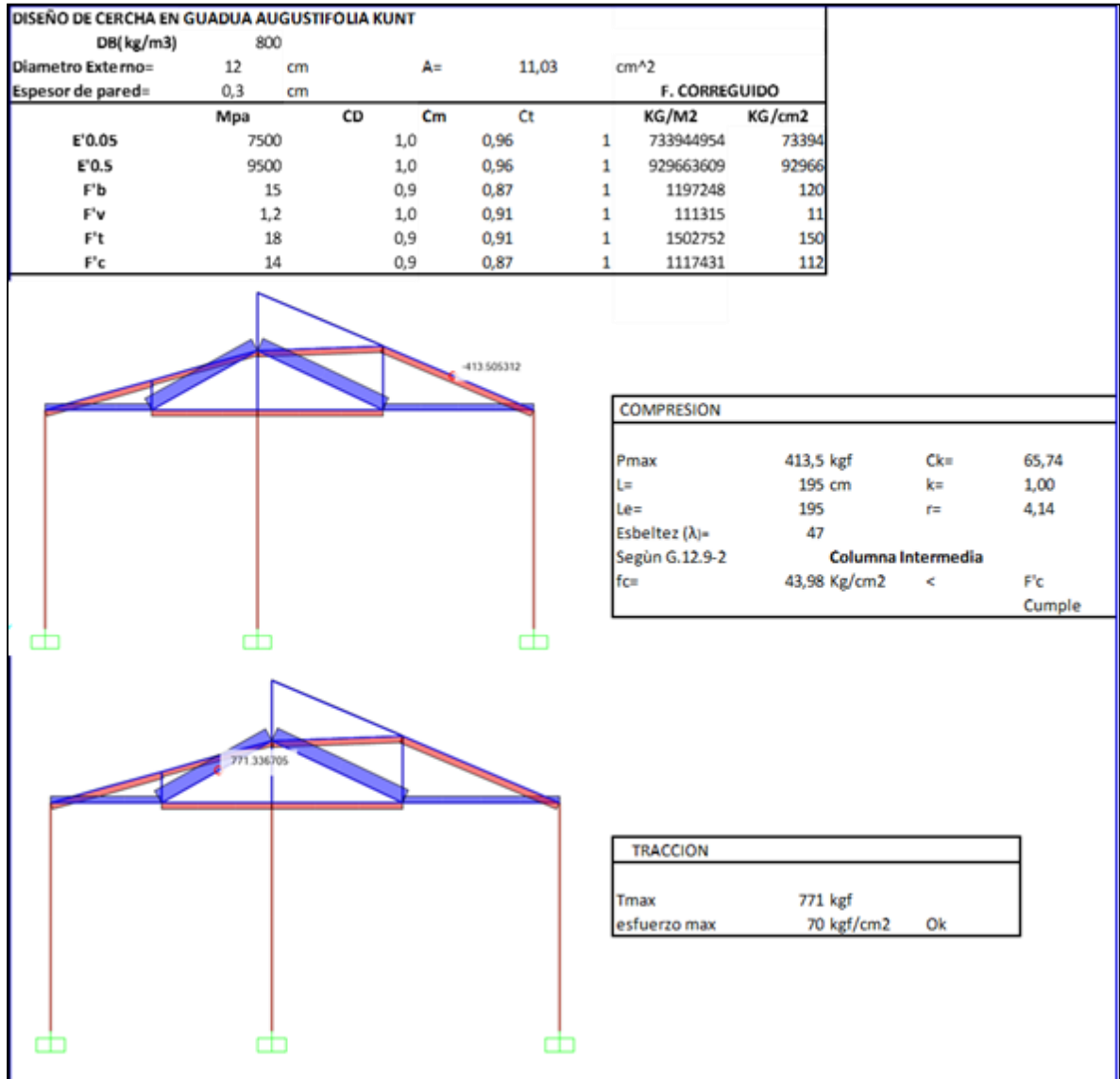
Figura 51. Diseño de Columnas C30x30 A_s máx= 9.00cm²; Columna Redonda d=30cm A_s máx= 7.00cm²



Fuente. Los Autores

La cercha se diseñó en forma triangular ya que con ella se permite una mayor disipación de energía y distribución de cargas, se anexa diseño Sap 2000 vs 20 el cual cumple con los parámetros establecidos en la NSR-10 (véase la Figura 51).

Figura 52. Diseño de la Cercha en Guadua Angustifolia Kunth



Fuente. Los Autores.

4.2.2. Análisis de datos.

Para el análisis dinámico se incluyó todos los modos de vibración que contribuyeron de manera significativa para la respuesta dinámica de la estructura, luego de haber realizado la combinación modal para cualquiera de las dos direcciones x,y no puede

ser menos de 80% por tal motivo se realizó un ajuste de los resultados como se especificó en la figura 29.

Para ajuste de corrección se utilizó la ecuación (A.5.4-4) NSR-10.

Luego de crear todas las cargas se establece el espectro de aceleración sísmica para realizar el análisis dinámico de la estructura.

4.3 RENDER FINALES CASA DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN GUADUA

A continuación, se puede observar la modelación 3D final de la vivienda de interés social rural propuesta (véase las Figuras 53, 54, 55 y 56). Ver Anexo

Figura 53. Vista Frontal Vivienda de Interés Social Rural



Fuente. Los Autores

Figura 54. Vista Lateral Vivienda de Interés Social Rural



Fuente. Los Autores

Figura 55. Vista Lateral Vivienda de Interés Social Rural



Fuente. Los Autores

Figura 56. Vista Cubierta Vivienda de Interés Social Rural



Fuente. Los Autores

5. CONCLUSIONES

En conclusión, se cumplió con la elaboración de los diseños arquitectónicos y estructurales de una vivienda de interés social rural en Guadua *Angustifolia Kunth* siguiendo los reglamentos, requerimientos y normativas de diseño, por ende, se presentan diseños óptimos que pueden ser interpretados por personas con algún conocimiento básico en la construcción, ingenieros, maestros, auxiliares y pobladores de las zonas rurales.

Con la evaluación de las propiedades físico mecánicas de la guadua *Angustifolia kunth* de ello resulta necesario decir que la guadua es un material que presenta unas propiedades físico-mecánicas muy altas con relación a la madera y hormigón, con un potencial estructural eficiente, apto para estructuras livianas lo que permite disminuir cargas (D) en la construcción , presentando características de resistencia a las sollicitaciones estructurales de una vivienda debido a las fibras y culmos que la hacen más resistente a las fuerzas axiales.

Con la modelación estructural adquirimos un diseño óptimo y sismo resistente siguiendo todos los parámetros requeridos de la Nsr-10, por tal motivo nuestro modelo estructural es competente para ser implementado en diferentes regiones de Colombia cumpliendo unos requisitos mínimos de temperatura.

Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos con la modelación en SAP-2000 de la vivienda de interés social propuesta, responde satisfactoriamente a las necesidades estructurales y de resistencia, obteniendo un modelo estructural eficiente, siguiendo los parámetros de diseño estructural estipulados en la NSR -10.

6. RECOMENDACIONES

Sugerimos promover campañas masivas de capacitación para el manejo y aprovechamiento de la guadua como un material alternativo y eficiente en las construcciones livianas, donde se puede llegar a obtener un producto que cumple con las normas establecidas en Colombia.

Impulsar plantaciones de guadua y aprovechar los beneficios ecológicos, económicos y constructivos que tiene.

Se recomienda adelantar más estudios para evaluar las propiedades físico-mecánicas de la guadua.

Se propone continuar con el desarrollo del diseño propuesto de la vivienda de interés social rural en guadua *Angustifolia Kunth*, se propone implementar este diseño en construcciones futuras.

Se sugiere adelantar una investigación en la cual se analice el comportamiento de la guadua respecto a los diferentes cambios climáticos de las zonas rurales de Colombia, identificando cambios en sus propiedades físico químicas.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO PARDO, Carolina. A comparative life cycle assessment of a social interest housing building: bamboo vs. concrete. New York: Cornell University. Faculty of the Graduate School. Fulfillment of the Degree of Master of Arts, 2014.

AÑAZCO, Mario. Estudio de vulnerabilidad del bambú (*guadua angustifolia*) al cambio climático en la costa del Ecuador y norte Perú. Quito: Unión Europea Red Internacional del Bambú y Ratán, 2012.

ARCHILA, Hector; ANSELL, Martin y WALKER, Pete. Low Carbon Construction Using Guadua Bamboo in Colombia. In: Key Engineering Materials. June, 2012. no. 517.

ARÉVALO SANABRIA, Arcelia Alexandra y MANTILLA NIÑO, Georgia Francesca. Análisis e implementación del sistema constructivo en guadua como material sostenible en la construcción de vivienda. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad De Ingeniería Civil. Modalidad trabajo de grado, 2016. p. 52

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque en cementado. Bogotá: Fondo para la construcción y desarrollo social del Eje Cafetero – Forec, 2010

BANCO AGRARIO DE COLOMBIA. Guía para la Estructuración y Presentación de Proyectos de Vivienda de Interés Social Rural. Bogotá: El Banco, 2018.

BARRETO, Walter y GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo. Estudio de durabilidad en las estructuras de bambú *guadua angustifolia kunth* de la Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia – Colombia. XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeir. Sao Carlos: IBRAMEM, 2018.

BARRANCO ARÉVALO, Omar. La arquitectura bioclimática. En: Modulo Arquitectura CUC. Enero – febrero, 2015. vol.14.

CADENA, Daniel. Guía Didáctica para Diseño y Construcción de Estructuras de Guadúa (*GaK*) y otros Bambúes. Quito: Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR), 2018. 81 p.

CÁRDENAS, Carlos y RINCÓN, Carlos. La caña guadua como material de construcción sostenible [en línea]. Quito: Revista Numbers [citado 26 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.numbersmagazine.com/articulo.php?tit=la-ca%C3%B1a-guadua-como-material-de-construccion-sostenible>>

CELIS D'AMICO, Flavio. Boletín CF+S > 14 -- Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos [en línea]. Madrid: Boletín CF+S [citado 17 octubre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>>

CERRON, Tania y GUZMAN, David. Purlin-Dowel Connection For Bamboo Constructions As Sustainable Proposal For The Amazon Housing. En: 10th World Bamboo Congress. Korea, 2015.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Los materiales en la construcción de vivienda de interés social. Bogotá: El Ministerio, 2011.

----- . Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. P. A-1

----- . Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título G. Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

----- . Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título E. Casas de uno y dos pisos. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

----- . Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título B — Cargas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012.

DE NAVAS GUTIÉRREZ, Elvira. Aplicaciones estructurales de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). Proyecto de Estructura Modular Multifuncional en Colombia. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Modalidad trabajo de grado, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP. Construcción de vivienda de interés social rural. Bogotá: Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas Construcción, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP. Construcción de vivienda de interés social rural [en línea]. Bogotá: DNP [citado 1 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=130&Itemid=236>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Construcción vivienda de interés social rural – Datos básicos [en línea]. Bogotá: DNP [citado 14 septiembre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viviendainteresrural/MGAviviendarural.pdf>>

DIARIO EL ESPECTADOR. Viviendas de interés social no cumplen estándares de calidad: Personería [en línea]. Bogotá: El Diario [citado 26 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.elespectador.com/content/viviendas-de-inter%C3%A9s-social-no-cumplen-est%C3%A1ndares-de-calidad-personer%C3%ADa>>

ESPITIA, Martín; SJOGREEN, Carlos; RODRÍGUEZ, Nelson; CALDERÓN, Jeimy; BENAVIDES, Alisson; PERAZA, Ricardo; ESPITIA, Geraldine y NEMOCON, Ricardo. Mechanical and physical characterization of Guadua angustifolia 'Kunth' fibers from Colombia. En: Revista UIS Ingenierías. Enero – febrero, 2018. vol. 17, no. 2.

FORERO MARIN, German y SOUZA WEICH, Herman. La guadua un sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima – Cundinamarca. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de Especialización en gerencia de proyectos de ingeniería, 2007

FUENTES, Víctor. Ventilación natural. Cálculos básicos para arquitectura [en línea]. México: Universidad Autónoma Metropolitana [citado 16 octubre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/48392421.pdf>>

GARCÍA SIERRA, Jorge Hugo y CAMARGO GARCÍA, Juan Carlos. Condiciones de calidad de Guadua angustifolia para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia. En: Recursos Naturales y Ambiente. Junio, 2016. no. 61.

GITAY H.; SUÁREZ, A.; DOKKEN, D.J. & WATSON, R.T. 2002. Climate Change and Biodiversity. New York: IPCC Technical Paper V. WMO. UNEP, 2002

GRUPO ANDINO. Manual de Diseño para Maderas. Cartagena: Junta del Acuerdo de Cartagena, 2000.

GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo. Analysis of study cases for structural design of guadua Angustifolia Kunth buildings designed according to the requirements of the NSR-10, Title G.12 [en línea]. Bogotá: Universidad La Gran Colombia [citado 21 abril, 2019]. Disponible en Internet: <URL: https://umanitoba.ca/faculties/engineering/departments/ce2p2e/alternative_village/media/16th_NOCMAT_2015_submission_66.pdf>

GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, Mateo; BONILLA SANTOS, Jessika Isabel; CRUZ AMADO, María Fernanda y QUINTERO ARANZALEZ, Juan Guillermo. Expansión lineal y punto de saturación de las fibras de la Guadua angustifolia Kunth. En: Colombia Forestal. Marzo- agosto, 2017. vol. 21, no. 1.

IBÁÑEZ, David Alonso y GIRÓN BERMÚDEZ, Claudia Patricia. La guadua: una maravilla natural de grandes bondades [en línea]. Valencia: Instituto Ecohabitar [citado 38 febrero 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.ecohabitar.org/la-gadua-una-maravilla-natural-de-grandes-bondades-y-prometedor-futuro/>>

INBAR. Vivienda Bioclimática En Bambú [en línea]. Quito: La Empresa [citado 5 octubre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.inbar.int/es/vivienda-bioclimatica-en-bambu/>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth. Bogotá: ICONTEC, 2007.
INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN INBAR. Bamboo: A strategic resource for countries to reduce the effects of climate change. Beijing: INBAR, 2014.

KAMINSKI, Sebastian. Engineered bamboo houses for low-income communities in Latin America. En: Structural Engineer. October, 2013. vol. 91, no. 10.

KESIK, Ted J. Building Science Concepts [en línea]. Toronto: National Institute of Building Sciences [citado 22 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.wbdg.org/resources/building-science-concepts>>

LAFARGEHOLCIM FOUNDATION. Understanding sustainable construction [en línea]. Bogotá: La Fundación [citado 26 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.lafargeholcim-foundation.org/about/sustainable-construction>>

LUNA, Patricia; TAKEUCHI, Caori; GRANADOS, Gustavo; LAMUS, Fabián y LOZANO, Jorge. Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. En: Revista Educación en Ingeniería. Junio – agosto, 2011. no. 11.

MONTOYA ARANGO, Jorge Augusto. Técnicas de preservación de la guadua. Memorias Diplomado Silvicultura y manejo post-cosecha de la guadua. Pereira: Universidad Tecnológica De Pereira, 2005.

MORÁN UBIDIA, Jorge. Construir con Bambú Manual de construcción. 3 ed. Guayaquil: Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR, 2015.

NEW JERSEY INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Building Systems Theory for Civil Engineers [en línea]. New Jersey: The Institute [citado 22 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://graduatedegrees.online.njit.edu/blog/building-systems-theory-for-civil-engineers/>>

ORDÓÑEZ CANDELARIA, Víctor Rubén; MEJÍA SAULÉS, Ma. Teresa y BÁRCENAS PAZOS, Guadalupe M. Manual para la construcción sustentable con bambú. México: Comisión Nacional Forestal, 2002.

OROZCO, Enrique. Notas sobre materiales, técnicas y sistemas constructivos. En: Tecnología y Construcción. Mayo – junio, 2008. vol. 24, no. 2.

PILCO DÍAZ, E.P. Estudio de las propiedades Físico Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth de Loja, e implementación de este como material de construcción. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja. Facultad de Ingeniería, 2016.

RCN RADIO. Hay un déficit de 3 millones de vivienda en Colombia: Camacol y Dane [en línea]. Bogotá: RCN [citado 1 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.rcnradio.com/colombia/deficit-3-millones-vivienda-colombia-camacol-dane>>

RODRÍGUEZ LÓPEZ, Diego Alejandro. Guadua, material sostenible para Viviendas de Interés Social (VIS). Loja: Universidad Técnica Particular de Loja. Facultad de Ingeniería Civil. Modalidad trabajo de grado, 2017.

ROJAS CALLE, Juan David y PRIETO SÁNCHEZ, María Alejandra. Vivienda de Interés Social Rural en Colombia (2013): generación de espacios productivos para familias beneficiarias. En: Revista Ciudades, Estados y Política. Mayo – junio, 2017. vol. 4, no. 1.

RUIZ SANCHEZ, Eduardo; MENDOZA GONZÁLEZ, Gabriela y ROJAS SOTO, Octavio. Mexican priority bamboo species under scenarios of climate change. En: Botanical Sciences. January – March, 2018. vol. 96, no 1.

SAPUYES, Eduard; OSORIO, Jesús; TAKEUCHI, Caori; DUARTE, Mauricio y ERAZO, Wilson. Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua angustifolia kunth de Pitalito, Huila. En: Revista de Investigación. Enero-junio, 2018. vol. 11. No. 1.

SCHRÖDER, Stéphane. What are the Mechanical Properties of Bamboo? [en línea]. Netherlands: Bamboo import Europe [citad 12 noviembre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.bambooimport.com/en/what-are-the-mechanical-properties-of-bamboo>>

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA. Caracterización de la guadua. Bogotá: SENA, 2005.

TENECHE, Gustavo. *Guadua angustifolia* [en línea]. Bogotá: Guadua y Bambú [citado 15 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://guadaybambu.es.tl/Guadua-Angustifolia.htm>>