



# *Università degli Studi della Basilicata*

Dottorato di Ricerca in  
“Program in Cities and Landscapes: Architecture, Archaeology, Cultural Heritage, History and Resources”

TITOLO DELLA TESI  
“Analisi delle proprietà della canna guadua angustifolia kunth (GaK) come elemento strutturale nell’edilizia abitativa e del suo comportamento durante eventi sismici”

Settore Scientifico-Disciplinare  
“ICAR/09 Tecnica delle Costruzioni”

Coordinatore del Dottorato

Dottorando

Prof. Arch. Antonella GUIDA

Dott. Arch. Danny ALCIVAR VÉLEZ

Relatore

Prof. Eng. Michele D’AMATO

Prof. Arch. Jaime ALARCÓN

# TÍTULO

## ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LA CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (GaK) COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS Y SU COMPORTAMIENTO DURANTE EVENTOS SÍSMICOS



*DANNY EMIR ALCÍVAR VÉLEZ*

ARQ. UNIVERSIDAD SAN GREGORIO DE  
PORTOVIEJO - ECUADOR

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 ESTRUCTURA DE LA TESIS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 MOTIVACIÓN .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Peligrosidad sísmica .....	5
1.2.2 Riesgo sísmico .....	6
1.2.3 Comportamiento de viviendas durante eventos sísmicos.....	7
1.2.4 Método simplificado de análisis .....	7
<b>1.3 OBJETIVOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>8</b>
1.3.1 Objetivo general .....	8
1.3.2 Objetivos específicos .....	8
<b>1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 GENERALIDADES DE LA CAÑA GUADUA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Características de la caña guadúa .....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Definición de términos básicos .....	10
2.1.2 Estructura y características de la caña guadua .....	13
2.1.3 Anatomía del culmo de bambú guadua angustifolia kunth .....	15
2.1.4 Partes de la guadua y su uso en la construcción .....	17
2.1.5 Propiedades físicas de la caña guadúa .....	19
2.1.5.1 Contenido de humedad .....	19
2.1.5.2 Peso específico.....	19
2.1.5.3 Durabilidad.....	19

2.1.5.4	Propiedades geométricas .....	20
2.1.6	Propiedades mecánicas de la caña guadúa .....	20
2.1.6.1	Módulo de elasticidad .....	20
2.1.6.2	Esfuerzos admisibles .....	20
2.1.7	Requisitos generales para el uso del bambú en la construcción.....	21
2.1.7.1	Protección contra el fuego .....	21
2.1.7.2	Protección por diseño .....	22
2.1.7.3	Cimentaciones .....	23
2.1.7.4	Uniones entre elementos de caña guadua .....	24
2.1.7.5	Mantenimiento .....	26
2.1.8	Durabilidad del Bambú .....	27
2.1.9	Tratamientos para incrementar la durabilidad de la caña guadúa.....	29
2.1.9.1	Métodos tradicionales protección (sin químicos).....	30
2.1.9.2	Métodos de preservación con químicos .....	30
2.1.10	Beneficios de la caña guadua.....	31
2.1.11	Desventajas de la caña guadua .....	34
<b>3</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN CAÑA GUADÚA.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>La caña guadua en la construcción .....</b>	<b>36</b>
3.1.1	El bambú en el mundo .....	38
3.1.2	La caña guadua en el Ecuador .....	40
3.1.3	La caña guadua en Manabí .....	43
3.1.4	La caña guadua como materia prima .....	44
3.1.4.1	Características de la caña guadua en la construcción .....	45
<b>3.2</b>	<b>Análisis de la vivienda en caña guadua .....</b>	<b>46</b>
3.2.1	Número de viviendas en caña guadua en el Ecuador .....	48
3.2.2	Número de viviendas en caña guadúa en la Costa ecuatoriana .....	51
3.2.3	Número de viviendas en caña guadua en Portoviejo y Guayaquil .....	53
3.2.4	Características de la vivienda vernácula manabita.....	54

3.2.4.1	Vivienda vernácula manabita a nivel del suelo.....	55
3.2.4.2	Vivienda vernácula manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo .....	57
3.2.4.3	Vivienda vernácula manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo .....	59
3.2.4.4	Elementos constructivos tipológicos recurrentes en caña guadua .....	62
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE LA NORMATIVA PARA CAÑA GUADUA.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Norma técnica colombiana: Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth. (NTC-5525) .....</b>	<b>65</b>
4.1.1	Procedimientos Generales.....	65
4.1.1.1	Medición y peso: .....	65
4.1.1.2	Temperatura y humedad: .....	66
4.1.1.3	Velocidad de aplicación de la carga: .....	66
4.1.1.4	Calibración. ....	67
4.1.2	Toma de muestras y almacenamiento de las probetas .....	67
4.1.3	Selección.....	67
4.1.4	Corte, rotulado y trozado.....	68
4.1.5	Despacho .....	69
4.1.6	Recepción y almacenamiento de los culmos de guadua.....	69
4.1.7	Rotulado y trozado en probetas .....	70
4.1.8	Informe del ensayo.....	70
4.1.9	Contenido de humedad:.....	71
4.1.9.1	Objeto y campo de aplicación:.....	71
4.1.9.2	Principio .....	71
4.1.9.3	Equipo.....	71
4.1.9.4	Preparación de las probetas.....	71
4.1.9.5	Procedimiento .....	71
4.1.9.6	Cálculo y expresión de los resultados .....	72
4.1.9.7	Informe del ensayo .....	72
4.1.10	Densidad:.....	72
4.1.10.1	Objeto y campo de aplicación:.....	72

4.1.10.2	Principio .....	73
4.1.10.3	Equipo.....	73
4.1.10.4	Preparación de las probetas.....	73
4.1.10.5	Procedimiento.....	73
4.1.10.6	Cálculo y expresión de los resultados .....	74
4.1.10.7	Informe del ensayo .....	74
4.1.11	Contracción:.....	75
4.1.11.1	Objeto y campo de aplicación:.....	75
4.1.11.1	Principio .....	75
4.1.11.2	Equipo.....	75
4.1.11.3	Preparación de las probetas.....	75
4.1.11.4	Procedimiento .....	75
4.1.11.5	Cálculo y expresión de los resultados .....	76
4.1.11.6	Informe del ensayo .....	76
4.1.12	Compresión.....	77
4.1.12.1	Objeto y campo de aplicación:.....	77
4.1.12.2	Principio .....	77
4.1.12.3	Equipo.....	77
	Preparación de las probetas.....	78
4.1.12.4	Procedimiento .....	78
4.1.12.5	Cálculo y expresión de los resultados .....	79
4.1.12.6	Informe del ensayo .....	79
4.1.13	Flexión: .....	79
4.1.13.1	Objeto y campo de aplicación:.....	79
4.1.13.2	Principio .....	79
4.1.13.3	Equipo.....	80
4.1.13.4	Preparación de los culmos de ensayo.....	80
4.1.13.5	Procedimiento .....	81
4.1.13.6	Cálculo y expresión de los resultados .....	82
4.1.13.7	Informe del ensayo .....	83

4.1.14	Corte.....	83
4.1.14.1	Objeto y campo de aplicación:.....	83
4.1.14.2	Principio.....	83
4.1.14.3	Equipo.....	84
4.1.14.4	Preparación de las probetas.....	84
4.1.14.5	Procedimiento.....	85
4.1.14.6	Cálculo y expresión de los resultados.....	85
4.1.14.7	Informe del ensayo.....	86
4.1.15	Tensión.....	86
4.1.15.1	Objeto y campo de aplicación:.....	86
4.1.15.2	Principio.....	86
4.1.15.3	Equipo.....	86
4.1.15.4	Preparación de las probetas.....	86
4.1.15.5	Procedimiento.....	87
4.1.15.6	Cálculo y expresión de los resultados.....	88
4.1.15.7	Informe del ensayo.....	88

**4.2 Norma Ecuatoriana de la construcción para estructuras de guadua (GAK). NEC-SE-GUADUA 89**

4.2.1	Requisitos de diseño.....	91
4.2.2	Requisitos de calidad para las estructuras en GaK.....	93
4.2.3	Método de diseño estructural.....	94
4.2.3.1	Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad.....	95
4.2.3.2	Esfuerzos admisibles.....	96
4.2.3.3	Coeficiente de modificación.....	96
4.2.4	Diseño de elementos sometidos a flexión.....	99
4.2.4.1	Perforaciones.....	100
4.2.4.2	Área neta.....	101
4.2.4.3	Luz de diseño.....	101
4.2.4.4	Deflexiones.....	101
4.2.4.5	Flexión.....	104

4.2.4.6	Cortante .....	107
4.2.4.7	Aplastamiento .....	108
4.2.5	Diseño de elementos solicitados por fuerza axial.....	108
4.2.5.1	Elementos solicitados a tensión axial.....	109
4.2.5.2	Tensión perpendicular a la fibra .....	109
4.2.5.3	Elementos solicitados a compresión axial.....	109
4.2.6	Diseño de elementos solicitados por flexión y carga axial .....	114
4.2.6.1	Elementos solicitados a flexión con tensión axial.....	114
4.2.6.2	Elementos solicitados a flexo-compresión .....	114
4.2.7	Muros de corte, carga lateral, sismo o viento .....	116
4.2.7.1	Elementos solicitados a flexo-compresión .....	116
4.2.8	Diseño de uniones.....	117
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS POST TERREMOTO 2016.....</b>	<b>119</b>
5.1	Generalidades de las zonas Sísmicas de Ecuador y Portoviejo.....	119
5.2	Comportamiento de las viviendas de hormigón armado en el terremoto.....	134
5.2.1	Daños en las estructuras de hormigón armado. ....	134
5.3	Comportamiento de las Viviendas de caña guadúa en el terremoto.....	140
5.3.1	Daños en las viviendas de caña guadua. ....	141
5.4	Fichas de evaluación de viviendas en el Ecuador.....	146
5.4.1	Ficha de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.....	147
5.4.2	Ficha de evaluación rápida post evento de los inmuebles patrimoniales y la infraestructura cultural.....	154
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>165</b>
6.1	Metodología de la experimentación .....	165



6.1.1	Metodología para el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK	
		165
6.1.1.1	Selección del objeto de estudio.....	165
6.1.1.2	Instrumento.....	168
6.1.2	Metodología para el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado	
		169
6.1.2.1	Selección del objeto de estudio.....	169
6.1.2.2	Instrumento:.....	172
6.1.3	Metodología para el análisis experimental físico y mecánico del material en estado natural	
		172
6.1.3.1	Selección de muestras.....	173
6.1.3.2	Recolección de muestras de los materiales.....	174
6.1.3.3	Especificaciones de dimensiones, números de probetas y temperatura para la realización de los ensayos.....	176
6.1.3.4	Ensayos para determinar las propiedades físicas.....	177
6.1.3.5	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas.....	178
6.1.4	Metodología para el análisis experimental de caña guadua preservada o inmunizada	
		182
6.1.4.1	Recolección de especies.....	182
6.1.4.2	Proceso de preservado.....	182
6.1.5	Metodología para la elaboración de la ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua.....	184
6.1.5.1	Introducción.....	184
6.1.5.2	Importancia.....	185
6.1.5.3	Objetivos y alcances.....	185
<b>7</b>	<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>186</b>
<b>7.1</b>	<b>Resultados de la experimentación.....</b>	<b>186</b>
7.1.1	Análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	186
7.1.1.1	Materiales empleados.....	186

7.1.1.2	Espectro de respuesta .....	187
7.1.1.3	Masa participativa .....	188
7.1.1.4	Derivas de piso .....	189
7.1.1.5	Revisión de torsión en planta .....	191
7.1.1.6	Diagramas de cortantes y fuerzas axiales.....	192
7.1.2	Análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado .....	194
7.1.2.1	Materiales empleados.....	194
7.1.2.2	Espectro de respuesta .....	195
7.1.2.3	Masa participativa .....	195
7.1.2.4	Derivas de piso .....	197
7.1.2.5	Revisión de torsión en planta .....	199
7.1.2.6	Diagrama de cortantes y fuerzas axiales .....	200
7.1.3	Análisis experimental físico y mecánico del material en estado natural .....	201
7.1.3.1	Análisis de las propiedades físicas del material en estado natural .....	201
7.1.3.2	Análisis de las propiedades mecánicas de las muestras .....	205
7.1.4	Análisis experimental de caña guadua preservada o inmunizada.....	214
7.1.4.1	Método de selección de muestras .....	214
7.1.4.2	Aplicación del proceso de preservado.....	214
7.1.5	Análisis de la propuesta de ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua .....	220
7.1.5.1	Propuesta de ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua.....	221
7.1.5.1	Descripción de la ficha técnica de evaluación rápida post evento .....	223
<b>7.2</b>	<b>Análisis comparativos de los estudios realizados .....</b>	<b>230</b>
7.2.1	Análisis sísmico estructural comparativo entre viviendas de caña guadua y viviendas de Hormigón Armado .....	230
7.2.1.1	Peso del material en cada tipología.....	230
7.2.1.2	Desplazamiento máximo de cada tipología.....	233
7.2.1.3	Derivas máximas de cada tipología.....	235

7.2.2	Análisis comparativo del comportamiento de las viviendas en caña guadua y hormigón armado durante el terremoto .....	236
7.2.2.1	Resistencia. ....	236
7.2.2.2	Ligereza. ....	236
7.2.2.3	Desplazamiento. ....	237
7.2.2.4	Daños menores.....	237
7.2.3	Análisis comparativo de compresión de culmos inmunizados y culmos en estado natural	238
7.2.4	Análisis comparativo del bambú frente a otros materiales. ....	239
7.2.4.1	Bambú frente a otras maderas. ....	239
7.2.4.1	Eficiencia de energía. ....	241
7.2.4.2	Propiedades de diseño. ....	242
7.2.4.3	Emisiones de CO2.....	242
7.2.4.4	Tiempo de degradación .....	244
7.2.4.5	Costos de construcción .....	245
<b>7.3</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>245</b>
<b>7.4</b>	<b>Líneas de futuros trabajos .....</b>	<b>248</b>
	<b>REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS .....</b>	<b>249</b>
	<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>262</b>
	<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>266</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>273</b>

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación doctoral se desarrolla en tres fases: en primer lugar, el estudio de las generalidades de la caña guadua donde se conocerán las bases teóricas, normativas de construcción y las fórmulas necesarias para realizar los estudios de las propiedades físicas y mecánicas del material; y presenta como principales aportaciones: La elaboración de gráficos comparativos de las propiedades para así poder conocer el guadua que es mejor para la construcción de estructuras en viviendas. El porcentaje de mejora que tiene una caña guadua tratada comparándola con una caña guadua en estado natural, y como esto aporta en la construcción de viviendas.

La segunda fase se centra en el estudio de las zonas sísmicas del País y de la ciudad; en el análisis estadístico de la cantidad de viviendas en caña guadua que existen y el estudio sísmico estructural de las viviendas. El aporte que se presenta es: La elaboración de datos comparativos de las propiedades y del comportamiento de las viviendas en guadua durante el terremoto en comparación con las viviendas de hormigón. Conocer el comportamiento sísmico estructural de las viviendas en caña guadua que el estado ecuatoriano construye.

La tercera fase es el análisis de las fichas existentes en el Ecuador para la evaluación de edificaciones post evento; la cual presenta como aporte: La creación de una ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua, elemento que en la actualidad no existe en el País.

Este trabajo, trata de presentar contribuciones inéditas hacia conocimiento en el estudio de las fallas de las viviendas de caña guadua durante eventos sísmicos, siendo uno de los primeros estudios de tesis desarrollados sobre este tema, además del aporte de la ficha de evaluación de viviendas en caña guadua que en la actualidad no existe en el Ecuador. Es por esto que el trabajo puede servir de ejemplo y punto de partida para estudios futuros, además de ser replicable en otras ciudades de la costa del Ecuador y la ficha ser usada por cualquier Gad Provincial.

## **ABSTRACT**

The present doctoral research work is developed in three phases: first, the study of the generalities of the bamboo cane where the theoretical bases, construction regulations and the formulas necessary to carry out the studies of the physical and mechanical properties of the material will be known; and it presents as main contributions: The elaboration of comparative graphs of the properties in order to know the guadua that is better for the construction of structures in houses. The percentage of improvement of a treated bamboo cane compared to a natural guadua cane, and how this contributes to the construction of houses.

The second phase focuses on the study of the seismic zones of the country and the city; on the statistical analysis of the number of existing guadua reed houses and the structural seismic study of the houses.

The contribution that is presented is: The elaboration of comparative data of the properties and behavior of the bamboo houses during the earthquake in comparison with the concrete houses. To know the seismic structural behavior of the bamboo reed houses built by the Ecuadorian state.

The third phase is the analysis of the existing data sheets in Ecuador for the evaluation of post-event buildings; which presents as a contribution: The creation of a technical data sheet for rapid post-event evaluation, damage detection and usability of bamboo housing, an element that does not currently exist in the country.

This work, tries to present unpublished contributions towards knowledge in the study of the failures of reed bamboo houses during seismic events, being one of the first thesis studies developed on this topic, besides the contribution of the evaluation sheet of reed bamboo houses that currently does not exist in Ecuador. This is why the work can serve as an example and starting point for future studies, besides being replicable in other cities of the coast of Ecuador and the sheet can be used by any provincial government.

## STRUCTURE OF THE THESIS

This doctoral thesis comprises seven (7) chapters, which will be briefly described below and extensively developed throughout the document.

**Chapter 1** introduces the subject of the thesis by explaining the high danger and seismic risk of Ecuador and its impact on houses made of cane guadua angustifolia kunth (GaK). The chapter describes the need for studies on how these houses are affected by earthquakes, how they should be evaluated post-earthquake, and how they should be repaired in case of damage.

The research objectives are subsequently described, followed by an overview of the guadua reed **in chapter 2**. This chapter details the basic terms, structure, anatomy, and parts of the guadua reed, as well as its physical and mechanical properties, which will be further explored in the experimentation chapter. This text explains the basic requirements for using bamboo in construction, including its durability, advantages, and disadvantages.

**Chapter 3** discusses important elements related to bamboo housing construction, such as the availability of bamboo in the world, in Ecuador, and in the Province of Manabí, where the experimentation will take place. Additionally, it will provide information on the number of bamboo houses in Manabí and Portoviejo, as well as the characteristics of these vernacular houses in Manabí.

**Chapter 4** details the regulations for guadua cane, providing the necessary formulas and considerations for later experimentation. We will study two standards: one for testing the physical and mechanical properties of bamboo, and another for conducting structural seismic analysis experiments.

**Chapter 5** provides a detailed account of the seismic zones in Ecuador, with a specific focus on the city of Portoviejo. It also includes a historical overview of the country's largest earthquakes, with emphasis on the 2016 earthquake and its impact on

the buildings of Portoviejo. This data will be used to study the behavior of reinforced concrete and guadua reed houses during the earthquake and the damages they suffered. The results will be compared in the experimentation chapter. Additionally, the evaluation sheets for structures in Ecuador during seismic events will be identified.

**Chapter 6** presents the methodology for determining the conditions for structural seismic analysis of reinforced concrete and guadua reed houses. It includes procedures, formulas, and calculations for physical and mechanical experimental analysis of guadua in its natural state and preserved state. Additionally, it outlines a methodology for performing a post-event evaluation of guadua houses.

Finally, **Chapter 7** presents the results and conclusions of the study. This section includes the experimentation phase where the methodology was applied in houses of the Ecuadorian State and in guadua reeds of the province of Manabí. Additionally, based on the analysis of the sheets reviewed in previous chapters, a proposal is made for a sheet that can be used in bamboo constructions during seismic events. The final phase will present the main conclusions of this thesis study, along with recommendations for future research that were identified throughout the work.

Additionally, it includes the bibliographical references used in its elaboration.

Since this work involved an experimental phase, data was generated and collected for future analyses. This complementary information is detailed in several annexes:

**Annex 1** contains the laboratory data sheets obtained during this study. **Annex 2** contains the quality certificates of the guadua cane stalks and of the guadua preservation process, as well as the quality sheets of the materials used for the immunization of the material. **Annex 3** contains the calibration certificates of the equipment used in the experimentation. **Annex 4** contains additional images of the laboratory and field work carried out during the research.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO



*"El bambú que se dobla, es mas fuerte que  
el rígido roble"*

PROVERBIO JAPONÉS



# **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LA CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (GaK) COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS Y SU COMPORTAMIENTO DURANTE EVENTOS SÍSMICOS**

## **1 INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO**

Desde la época precolombina el bambú ha sido utilizado como material para la construcción de diferentes clases de edificaciones. En la obra de Oscar Hidalgo “Bambú, The Gift of The Gods” y en “Usos tradicionales y Actuales del Bambú en América Latina” de Jorge Morán Ubidia, se encuentran testimonios de miles de usos en América y en otras regiones del Mundo.

Sin embargo; de lo expuesto, el bambú se mira como un material perecible, ocasionado por la pérdida de conocimientos y prácticas tradicionales de preservación y por aplicaciones equivocadas que lo exponen a la humedad y la radiación solar; aunque los testimonios de la durabilidad del bambú son reales; ya que hay edificaciones aún existentes que fueron construidas hace más de 100 años a lo largo del Eje Cafetero en Colombia, o en ciudades como Guayaquil, Jipijapa, Montecristi en Ecuador. En la Costa Norte del Perú como Piura y Tumbes, existe también una larga tradición del uso del bambú como principal material para la construcción de viviendas.

En la actualidad en nuestro país, la industrialización de la guadua ha sido muy limitada, debido a diferentes factores, primordialmente la carencia de cultivos controlados, es decir cultivos en los cuales se conoce su edad, especie, su forma de corte, etc. Además, la poca cultura que tenemos en el país sobre ella, hace que no existan empresas que la industrialicen de manera adecuada. Con el paso del tiempo se han venido trabajando en el desarrollo de ensayos que permitan una mejor comprensión del material, teniendo como base la normatividad vigente aportada por la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 sobre información general de equipos, especificaciones de referencia y protocolos particulares, de igual manera en la Norma Ecuatoriana de la Construcción sección Guagua (NEC-SE-

GUADUA) se encuentran las especificaciones relevantes en cuanto a factores de corrección y los cálculos necesarios para los diseños.

Como sabemos, Ecuador se ubica a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico, lo que lo hace vulnerable a ser afectado por una alta sismicidad, por lo que una excelente estrategia de prevención de riesgos sería examinar las propiedades y condiciones que tienen las edificaciones en caña guadua de nuestro país y su comportamiento durante eventos sísmicos mediante herramientas que nos permitan evaluar cada una de las casas en caña guadua cuando los eventos sucedan; para esto es necesario obtener información sobre el comportamiento del material y así determinar la resistencia del bambú, sus características como biomaterial de construcción estructural en viviendas y su comportamiento durante el sismo.

Con base a todo lo anteriormente indicado, el presente trabajo de investigación busca analizar en primer lugar el estado del arte necesario para poder experimentar con la caña guadua de Manabí y conocer los diferentes componentes de la misma, para mejorar sus capacidades, propiedades físicas y estructurales para las construcciones de viviendas caña guadua; para esto es necesario conocer los comportamiento del material en estado natura y en estado preservado; por este motivo experimentaremos aplicando un método de preservación con ácido de bórax para analizar su reacción ante la intemperie, tomando como muestras aquellas de los sitios más comunes en Manabí y así realizar una investigación exhaustiva de su cultivo, producción y aplicaciones constructivas. En segundo lugar, busca conocer el comportamiento de las viviendas en caña guadua durante y después del terremoto para poder realizar análisis comparativos de las cualidades del material. Finalmente se busca crear un elemento que sirva para evaluar las construcciones en caña guadua que experimenten algún tipo de evento natural.

## 1.1 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta tesis doctoral se constituye de siete (7) capítulos que se describirán a continuación de manera muy breve pero que se desarrollarán ampliamente a lo largo del documento.

El **capítulo 1**, enmarca una introducción del tema de la tesis, explicando el motivo que ha originado la realización del mismo; prácticamente se describe la elevada peligrosidad y riesgo sísmico del Ecuador y su influencia en las viviendas de caña guadua angustifolia kunth (GaK); esto, hace necesario elaborar estudios de cómo se afectan estas viviendas con el sismo, como se deben evaluar post terremoto y como se deben intervenir en caso de daño. Posteriormente se describen los objetivos de la investigación para finalmente concluir con un alcance de este trabajo.

Las generalidades de la caña guadua se describen en el **capítulo 2**. En éste, se detallan los términos básicos, estructura, anatomía y partes de la caña guadua. También se hace énfasis en la parte teórica de las propiedades físicas y mecánicas de la misma, las cuales se detallarán profundamente en el capítulo de experimentación. Se conocerá acerca de los requisitos básicos para el uso del bambú en construcción, su durabilidad y las ventajas y desventajas de este material.

El **capítulo 3** detalla elementos importantes relacionados con la construcción de viviendas en caña guadua. Se analiza la existencia del bambú en el mundo, en el Ecuador y en la Provincia de Manabí que es el lugar donde pertenece la ciudad en la que se realizará la experimentación. Detallará también en número de viviendas en caña guadua que existen en el territorio ecuatoriano, en Manabí y Portoviejo y detallará las características de estas casas que se denominan “vernáculos” en Manabí.

El **capítulo 4**, aborda la normativa para caña guadua, de las cuales obtendremos todas las fórmulas y consideraciones necesarias para poder realizar la experimentación en capítulos posteriores. Las normas que estudiaremos son dos; una que nos servirá para

realizar los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua y la otra que nos ayudará para realizar la experimentación del análisis sísmico estructural.

En el **capítulo 5**, se detalla de manera pormenorizada las zonas sísmicas del Ecuador y de la ciudad de Portoviejo, y hará un recorrido histórico por los terremotos de mayor escala que han existido en el país, puntualizando en el terremoto del 2016 y su incidencia en las construcciones de Portoviejo. Con estos datos, se realizará el estudio del comportamiento de las viviendas en hormigón armado y en caña guadua y los daños que sufrieron durante este sismo; estos datos servirán en el capítulo de experimentación para comparar los comportamientos de ambas estructuras. Finalmente se puntualizarán las fichas de evaluación de estructuras que existen en el Ecuador para eventos sísmicos.

En el **capítulo 6** se presenta el estudio de la metodología que se utilizará para determinar las condicionantes para el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado y en viviendas en caña guadua, además para conocer los procedimientos, formulas y cálculos se necesitan para realizar el análisis experimental físico y mecánico de la guadua en estado natural y de la guadua preservada y finalmente se muestra la metodología para realizar una ficha de evaluación de viviendas en guadua post evento.

Finalmente, el **capítulo 7**, muestras los resultados de la experimentación y las conclusiones del estudio. La fase de resultados de la experimentación donde cada una de los elementos detallados en la metodología se ponen en práctica en viviendas del Estado ecuatoriano y en cañas guaduas de la provincia de Manabí. Además, a partir del análisis de las fichas revisadas en capítulos anteriores, se realiza la propuesta de una ficha que pueda ser usada en construcciones de bambú cuando sucedan eventos sísmicos. La fase final dará las principales conclusiones del estudio de esta tesis, que al final tendrá recomendaciones de futuras líneas de investigación que se lograron identificar a lo largo de este trabajo.

Este trabajo también incluye las referencias bibliográficas utilizadas para su elaboración.

Como este trabajo ha tenido una fase experimental, ha requerido del manejo y generación de datos que podrían servir para futuros análisis, por este motivo se detalla esta información complementaria en varios anexos:

El **anexo 1**, que contiene las fichas de los datos de laboratorios que se obtuvieron durante este estudio. El **anexo 2**, que contiene los certificados de la calidad de los culmos de caña guadua y del proceso de preservado de la guadua y también se anexan las fichas de calidad de los materiales utilizados para la inmunización del material. El **anexo 3** contiene los certificados de calibración de los equipos usados en la experimentación. Finalmente, el **anexo 4** que tiene imágenes adicionales del trabajo de laboratorio y de campo que se realizó mientras se elaboraba esta investigación.

## **1.2 MOTIVACIÓN**

Ecuador puede describirse como un país multi amenazas, en lo que se refiere a desastres naturales, es por esta razón que es una tarea de gran importancia el trabajar por optimizar la calidad de las edificaciones (Fernández et al, 2018); en los últimos 460 años, se han detectado en Ecuador un gran número de sismos de magnitud considerable tanto en la capital, Quito, como en otros lugares del país. (Cabezas, 2016)

Si se considera los sismos de pequeña magnitud y aquellos que son detectados únicamente por los sismógrafos, la cantidad de sismos que se registran en el territorio ecuatoriano podrían sumar varios miles por año. (Cunalata et al, 2022)

### **1.2.1 Peligrosidad sísmica**

La peligrosidad sísmica se define como la probabilidad de excedencia de un cierto valor de la intensidad del movimiento del suelo producido por terremotos, en un determinado emplazamiento y durante un periodo de tiempo dado. La definición comúnmente aceptada fue dada por la United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO, 1980).

Dado que los parámetros inherentes al movimiento son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, la peligrosidad es a menudo estimada en función de los valores máximos de

estos parámetros, denominados habitualmente PGD (peak ground displacement), PGV (peak ground velocity) y PGA (peak ground acceleration), pero también es habitual su expresión en términos de Intensidad macro sísmica, relacionada con la destructividad del terremoto. La elección del parámetro depende de los condicionantes propios de la evaluación y de la aplicación a la que esta vaya dirigida. (Benito y Jiménez, 1999)

Para Humberto Párra Cárdenas (2016), la estimación de la peligrosidad requiere caracterizar los factores que intervienen en el movimiento sísmico, que se pueden resumir en:

- *Factor temporal:* que indica la frecuencia con la que ocurren los terremotos en cada fuente sísmica.
- *Factor de tamaño:* que se relaciona con la energía que se puede liberar en cada fuente.
- *Factor de distancia fuente-emplazamiento:* que representa la probabilidad de que un terremoto se produzca en un rango de distancias dado, asumida su ocurrencia en una fuente sísmica.
- *Factor de sitio:* que depende de las características topográficas, litológicas y estructurales del emplazamiento de estudio.

Expresa además que: en la mayor parte de las aplicaciones, la peligrosidad sísmica se calcula primero en unas condiciones de suelos genéricas, tipo roca, sin incluir el factor de sitio y posteriormente se añade este factor mediante coeficientes de amplificación, dependiendo del tipo de terreno en el emplazamiento a estudiar.

### **1.2.2 Riesgo sísmico**

El riesgo sísmico es la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso natural, asociado a las pérdidas humanas y materiales, que se establece mediante la multiplicación de la amenaza por la vulnerabilidad. (Castro et al, 2019)

Según la definición de la United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO, 1980) oficialmente aceptada, el riesgo sísmico en una determinada población se define como:  $(R = H * V * E * C)$ . La peligrosidad sísmica que determina el movimiento esperado en la población (H), multiplicado por la vulnerabilidad de las estructuras (V), por la exposición o densidad de estructuras y habitantes (E) y por el coste de reparación o de pérdidas (C)

Por lo tanto, el riesgo sísmico son las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un terremoto (Mena, 2002)

### **1.2.3 Comportamiento de viviendas durante eventos sísmicos**

Felipe De la Cerda (2022) , en su artículo, explica que: las fuerzas sísmicas son proporcionales al peso del edificio, lo que desencadena en que las construcciones de madera, (o material similar como la guadua) están sometidas a fuerzas que pueden llegar a ser bastante menores que las de una cimentación normal. Otra ventaja fundamental es que esta materia prima tiene una gran capacidad elástica, lo que significa que se puede deformar bastante antes de que se produzca algún tipo de fallo. Hecho que no se produce en materiales tradicionales como el hormigón o, más genéricamente, en materiales minerales. Como consecuencia, estos últimos logran aguantar una deformación mucho más leve antes de que comiencen a producir grietas y rajaduras, lo que contrasta visiblemente con la ya mencionada cualidad de la guadua.

La versatilidad de la caña guadua en la construcción permite su combinación con otros materiales como el acero, hormigón y mampuestos, lográndose obtener resultados prometedores en su funcionamiento y mejorando sus propiedades estructurales (Mendoza Castro y Rosales Salcedo, 2014)

### **1.2.4 Método simplificado de análisis**

El método simplificado de análisis y diseño fue originalmente propuesto en 1977 en las Normas Técnicas Complementarias de Estructuras de Mampostería (NTCM-77 1977) y para

Diseño por Sismo (NTCS-77 1977) del Reglamento para Construcciones del Distrito Federal (RCDF-76). Desde ese entonces, el método simplificado ha sido la base para el análisis y diseño de estructuras de mampostería, ya que permite realizar su análisis y diseño de forma rápida y aproximada. (Tena et al, 2010)

El método de análisis simplificado permite verificar que, en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga en la dirección de análisis, sea igual o mayor que la fuerza cortante sísmica que actúa sobre dicho entrepiso. Es decir; este método permite comparar la demanda sísmica expresada como cortante en la base de la estructura y la capacidad a corte de los muros, sin considerar la participación de los elementos de confinamiento. (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

### **1.3 OBJETIVOS DE ESTUDIO**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar las características generales de las viviendas en caña guadua y su conducta durante el terremoto del 2016, aplicando métodos de experimentación para conocer su comportamiento como elemento estructural sismorresistente.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Determinar el porcentaje de uso de la Guadúa Angustifolia Kunth (GaK) en los sistemas constructivos tradicionales y establecer los elementos constructivos / tipológicos más recurrentes con las vulnerabilidades y relacionarlos con aquellas que puedan dar mayor seguridad a las estructuras.

Realizar el análisis experimental de las propiedades físicas y mecánicas de la caña guadua en estado natural y preservada.

Analizar los daños sufridos en las construcciones de bambú existentes como resultado del último terremoto (2016) que destruyó parcialmente el centro histórico de la Ciudad de Portoviejo.



Proponer una ficha específica de evaluación post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua.

#### **1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO**

Como resultado de esta tesis doctoral, serán presentados los siguientes elementos:

- Una ficha de evaluación post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua.
- El estudio del comportamiento de las viviendas en caña guadua durante el terremoto.
- El estudio sísmico estructural de las viviendas en caña guadua del gobierno nacional.
- El análisis experimental de las propiedades físicas y mecánicas de la caña guadua en estado natural y con un proceso de preservado.

Estos resultados, han sido parte de una exhaustiva investigación, que no solo requirió del estudio del estado del arte; sino que también necesitó de realizar pruebas experimentales para conocer de manera pormenorizada cada uno de los elementos estudiados.

# CAPÍTULO 2

## GENERALIDADES DE LA CAÑA GUADUA



*“Es un material económico, renovable, extremadamente resistente, de fácil acceso, que puede ser utilizado por personas con habilidades constructivas muy diferentes”*

ARQ. SIMÓN VÉLEZ

Investigador y experto en construcción con caña guadúa

## 2 GENERALIDADES DE LA CAÑA GUADUA

### 2.1 Características de la caña guadúa

El bambú históricamente ha sido utilizado como materia prima en construcciones tradicionales de bajos recursos, sirviendo como sustituto de otras maderas para materializar estructuras, cerramientos e incluso mobiliario. Hoy en día, debido a sus numerosas ventajas asociadas a la durabilidad, resistencia, versatilidad y bajo impacto ambiental ha logrado ganarse la denominación de “acero vegetal” y obtener un lugar privilegiado dentro de la industria constructiva.

La estructura natural de las cañas de bambú forma celdas de aire en su interior por lo que las características aislantes y acústicas son excelentes. La estimación de costos de este tipo de construcciones resulta un 70% menor que otros tipos de construcción. La facilidad de manipulación y las sencillas herramientas de corte y ensamblaje hacen que en este tipo de construcciones no se requiera una mano de obra muy cualificada. Las construcciones en bambú tienen una gran tradición en las zonas asiáticas donde existe mano de obra especializada en este tipo de construcciones. (Maiztegui, 2020)

#### 2.1.1 Definición de términos básicos

Para facilitar la comprensión del capítulo, se definen términos básicos característicos de la guadua de acuerdo a lo expresado en la Norma Ecuatoriana de la construcción para estructuras de guadua (NEC-SE-GUADUA, 2016).

- *Aspectos morfológicos:* Aspectos visuales como forma, color y otros detalles.
- *Basa:* Segundo segmento del culmo de GaK, a continuación de la cepa, con una longitud entre 4 y 6 m.
- *Basal:* Situado en la base de una formación orgánica o de una construcción.
- *Caña picada:* (esterilla en Colombia, caña chancada en Perú) Estera que se forma después de realizar incisiones longitudinales al culmo de GaK en estado verde y de abrirla en forma plana.

- *Cepa*: Primer segmento basal del culmo de guadúa con longitudes que fluctúan entre 3 a 4 m; es la parte de la guadua que presenta el mayor diámetro y el mayor espesor de pared.
- *Cimentación*: Entramado (malla o retícula) de vigas de hormigón reforzado que transfiere las cargas de la superestructura al suelo.
- *Columna en Guadúa*: Pieza, generalmente vertical, cuyo trabajo principal es a compresión.
- *Correa*: Elemento horizontal componente de la estructura de la cubierta, también se le conoce como vigueta de cubierta o tirante.
- *Culmo*: Tallo del bambú, formado por nudos y entrenudos, que emerge del rizoma; es el equivalente al tallo de un árbol.
- *Dermis o Tripa*: parte blanda del Bambú
- *Diafragma*: Elemento estructural (entrepiso o cubierta) que reparte las fuerzas inerciales laterales a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica (muros).
- *Endémico*: Propio, nativo u originario de un lugar.
- *Entramado*: Sistema estructural primario de los muros de bahareque, corresponde a marcos hechos de bambú guadúa o de una combinación de bambú guadúa con madera.
- *Entrenudo*: Porción del culmo comprendida entre dos nudos; también se le conoce como canuto o cañuto, su longitud varia a lo largo del culmo y se va incrementado en el entrenudo subsiguiente de la parte alta.
- *Epidermis*: Piel o parte externa del culmo.
- *Fibra*: Células alargadas con extremos puntiagudos y casi siempre con paredes gruesas.
- *GaK*: Guadua angustifolia Kunth.

- *Hoja caulinar*: Hoja triangular, que protege temporalmente las yemas del culmo durante los primeros seis meses
- *Madera y/o guadúa tratada o preservada*: Sometida a algún tipo de procedimiento, natural o químico, con el objeto de extraerle humedad y/o inmunizarla contra el ataque de insectos o pudrición
- *Nudo*: Parte del culmo de la Guadúa, donde las fibras se entrecruzan.
- *Pandeo*: En la construcción, flexión de una viga, provocada por una compresión lateral
- *Preservación*: Tratamiento para prevenir o contrarrestar la acción de organismos destructores de la guadua o la madera, como insectos y hongos.
- *Preservante*: Sustancia química que se aplica para prevenir o contrarrestar por un periodo de tiempo, la acción de alguno o varios tipos de organismos capaces de destruir o afectar la madera o el bambú Guadúa.
- *Preservantes hidrosolubles*: Preservantes que pueden disolverse en agua.
- *Secado*: Proceso natural o artificial mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la madera o Guadúa.
- *Sección transversal*: Aquella sección que resulta de cortar una guadua en sentido perpendicular a las fibras.
- *Sismorresistente*: Construido para resistir terremotos.
- *Sistema radicular*: Raíces o rizomas.
- *Sobrebasa*: Tercer segmento del culmo de Guadúa, localizado a continuación de la basa con longitudes hasta de 4 m.
- *Tocón*: Porción inferior de un tallo de árbol o bambú que queda en el terreno luego de ser cortado.
- *Varillón*: Segmento terminal del culmo de Guadúa, localizado a continuación de la sobrebasa, con longitudes hasta de 4 m. Se utiliza tradicionalmente en cubiertas como soporte de tejas de barro.

### **2.1.2 Estructura y características de la caña guadua**

La NEC-SE-GUADUA (2016), señala que la caña *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) es una de las más de mil doscientas especies de bambú que han sido identificadas en el mundo, es un bambú leñoso que crece en regiones tropicales y sus tallos pueden alcanzar una altura aproximada de 30m. El bambú pertenece a la subfamilia de las gramíneas denominada bambusoideae, y a diferencia de las maderas, éstas presentan un rápido crecimiento y propagación sin que haya necesidad de replantarlo después del aprovechamiento adecuado, lo que representa ventajas productivas y económicas.

Los bambúes del género *guadúa* son endémicos de Centro y Sur América, integrando 32 especies aproximadamente, sin embargo, la *Guadua angustifolia* Kunth es nativa de Colombia, Ecuador y Perú, aunque en la actualidad otros países han empezado a plantarla por el potencial que posee para su aplicación en diferentes usos (construcción, artesanías, muebles, laminados, entre otros) debido a sus características físicas y mecánicas. (NEC-SE-GUADUA, 2016)

La caña *guadúa* sobresale entre otras especies de su género por las propiedades estructurales de sus tallos, como la relación peso – resistencia (similar o superior al de algunas maderas), siendo incluso comparado con el acero y con algunas fibras de alta tecnología, considerando que la capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión, hace que esta especie de bambú sea un material ideal para construcciones sismo resistente. (NEC-SE-GUADUA, 2016)

En cuanto a las características constructivas, sobresalen las propiedades físico-mecánicas que evidencian la alta capacidad estructural; que, sumando a los beneficios económicos permiten contribuir a la concepción de viviendas de construcción rápida y de bajo costo. (Salas Delgado, 2006)

Otro aspecto a considerar, es que por las características que posee la GaK como materia prima local y como recurso renovable, ofrece la posibilidad de bajar la huella

ecológica de las edificaciones, lo que resulta importante para uno de los sectores industriales más contaminantes del planeta. (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Las principales partes de la guadua *angustifolia* khunt (figura 1) son: el rizoma, el tallo o culmo, las ramas y las hojas. El rizoma es el sistema de soporte de la guadua. Tiene una parte superficial y una parte subterránea donde se encuentran las raíces de la planta, las cuales se ramifican y propagan generando brotes de nuevas guaduas. (Castiblanco-Rodríguez, 2020)

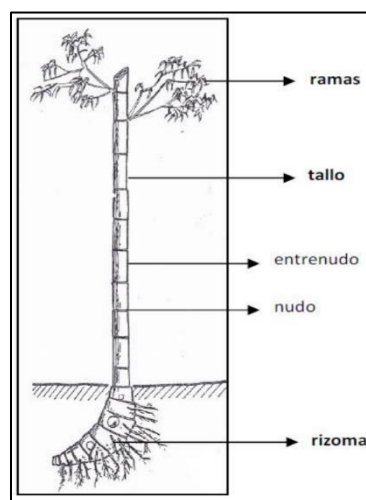


Figura 1 Estructura de la Guadúa Fuente: (Lozano-Sánchez, 2016)

El culmo del bambú guadúa es su tallo y sale del rizoma. Se caracteriza por tener forma cilíndrica y hueca con segmentos formados por entrenudos, separados transversalmente por tabiques o nudos; la distancia entre los nudos puede variar entre 10cm y 40 cm de acuerdo con la variedad y posición en altura del culmo. El diámetro y el espesor de la pared del culmo disminuyen con la altura mientras la densidad, la concentración de fibras y la distancia entre nudos aumentan con ésta. Puede alcanzar alturas promedio de 18m a 20m y tener diámetros entre 5cm y 25cm. (Castiblanco-Rodríguez, 2020).

Cuando termina el desarrollo del tallo se inicia el proceso de maduración. La guadua antes de los 3 años es una guadua joven con coloración verde brillante (figura 2 (a)) y superficie libre de musgo, tiene un alto contenido de humedad, por lo cual, al secarse, una vez se ha cortado para ser utilizada, presenta rajaduras y deformaciones, además es más susceptible de ser atacada por insectos. Entre 3 y 6 años la guadua tiene su mayor resistencia y dureza siendo apta para la construcción, su tallo tiene una coloración verde oscura, líquenes y manchas de hongos (figura 2 (b)), se conoce a la guadua de esta edad como madura o adulta. Posteriormente, cuando la guadua está sobremadura o seca, el tallo toma un color amarillento y pierde resistencia (figura 2 (c)). Las ramas salen de las yemas que se encuentran por encima de las líneas de los nudos (figura 2 (d)) cuando ha terminado el proceso del desarrollo del culmo. Las hojas caulinares (figura 2 (e)) que se forman en cada uno de los nudos que aparecen, protegen la parte aérea de los rizomas, el tallo y las yemas en su proceso de formación y se desprenden una vez ha concluido este proceso. Las hojas foliares (figura 2 (f)) tienen forma alargada y longitudes entre 15 y 20 cm y anchos entre 2 y 5 cm. (Takeuchi, C. P., 2014).

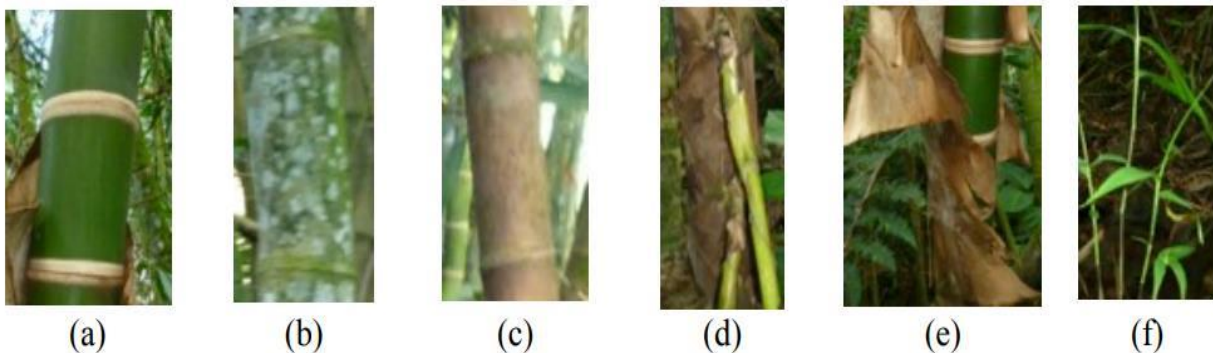


Figura 2 Edades de la guadua. Guadua joven (a). Guadua madura (b). Guadua sobremadura (c). Yemas (d). Hojas caulinares(e). Hojas foliares (f). Fuente: (Takeuchi, C. P., 2014)

### 2.1.3 Anatomía del culmo de bambú *guadua angustifolia kunth*

El comportamiento mecánico del culmo del bambú ante diferentes solicitaciones y direcciones depende de su anatomía interna. En la sección transversal de los culmos de los bambúes, incluyendo la *Guadua angustifolia Kunth*, se pueden distinguir: la corteza exterior, la capa interna, los haces vasculares y el tejido parenquimático. (Castiblanco-Rodríguez, 2020).



La corteza es la parte exterior del culmo y tiene la función de proteger la parte interna e impedir el paso de agua que pueda deteriorar el tejido interno. Esta es la razón por la cual posee además de las células alargadas axialmente, propias del tejido, parejas de células cortas de corcho y sílice que le dan características de dureza e impermeabilidad. Las células de la epidermis están cubiertas además de una capa cutinizada de celulosa, en la *Guadua angustifolia* no se evidencia un recubrimiento de cera que se encuentra en otros bambúes (Londoño, Camayo, Riaño, & López, 2002).

En la siguiente imagen SEM 3D (13X) (figura 3), podemos observar un culmo de bambú *Guadua angustifolia* Kunth que muestra haces vasculares. La flecha roja indica la dirección en la que los tejidos alrededor del haz vascular se vuelven más compactos a lo largo de la dirección radial del culmo de bambú, es decir, de las paredes internas a las externas. La flecha azul muestra la orientación de las fibras hacia el culmo de *Guadua*, que es la dirección de crecimiento; este comportamiento permite a la *Guadua angustifolia* tener mejor respuesta mecánica en dirección longitudinal que en dirección transversal. (Ray et al, 2004)

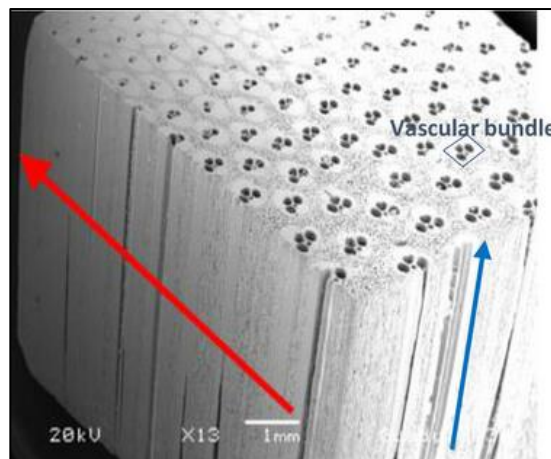


Figura 3 Haz vascular de la *guadua angustifolia kunth* Fuente: (Sánchez y Rodríguez, 2018)

El tejido del bambú (figura 4) está constituido por cerca de 50% de parénquima, 40% de fibra y 10% de haces vasculares (Liese, 1987). Estos haces no están uniformemente distribuidos en la parte interna del culmo, los más pequeños y numerosos están presentes en la parte más externa, mientras otros más largos pero muy pocos, se encuentran hacia la parte central del culmo (Kumar y Dobriyal, 1992)

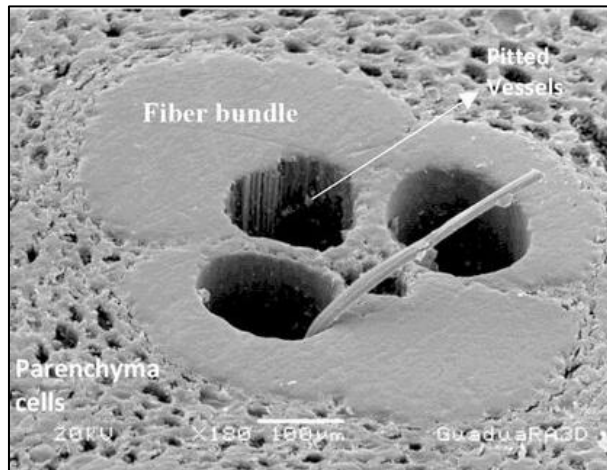


Figura 4 Haz vascular de la fibra *Guadua angustifolia* kunth Fuente: (Sánchez y Rodríguez, 2018)

#### 2.1.4 Partes de la guadua y su uso en la construcción

Los rodales de caña guadúa en su mayoría, se encuentran en estado natural, es por ello que para realizar el aprovechamiento es necesario iniciar con su limpieza, debido a que se puede encontrar culmos torcidos o en mal estado. La limpieza de la vegetación innecesaria y la poda de árboles ayuda a obtener luminosidad que favorece a la aparición de nuevos brotes. (EcoCiencia–INBAR, 2021).

El bambú es uno de los materiales usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar. En el mundo de plástico y acero de hoy, el bambú continúa aportando su centenaria contribución y aun crece en importancia. Gran parte de la humanidad utiliza a diario el bambú debido a que se representa como una alternativa ante materiales más costosos y tal vez a un futuro su utilización sea de forma masiva, como fuente de energía y reemplazo de madera de árboles por tratarse de un material fácilmente renovable. (Romo, 2006)

Para conocer acerca de las partes de la caña guadua, es necesario dividirla en seis partes (figura 5) de las cuales daremos sus características principales y el uso que se les da en la construcción: (Espinel, 2014)

- *Rizoma*: Es un tallo modificado subterráneo, se lo conoce como caimán y se lo utiliza en la creación de artesanías y mobiliario.

- *Cepa*: Sección basal, posee el mayor diámetro debido a sus entrenudos más cortos y tiene una longitud de hasta 3 metros. Se utiliza como columnas en la construcción y para cercos.
- *Basa*: Parte de la guadua que más se usa, por su diámetro intermedio, es la parte más comercial; de esta se elabora la esterilla, la cual se usa en la construcción de paredes; además de vigas y columnas.
- *Sobrebasa*: Es un tramo que permite un uso variado, posee una longitud de 4 metros, y es utilizada como elementos de soporte en estructuras de concreto y también como viguetas.
- *Varillón*: Esta sección tiene menor diámetro, con una longitud de hasta 3 metros, se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro.
- *Copa*: Parte cumbre o apical de la guadua posee una longitud de hasta 2 metros, esta cae al suelo y sirve como materia orgánica.

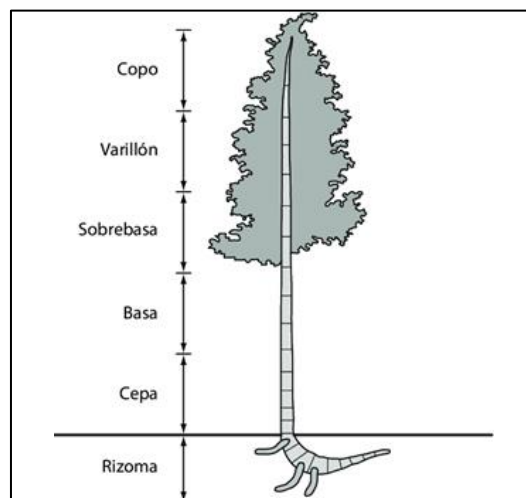


Figura 5 Partes de la guadua y su uso en la construcción. Fuente: (Romero, 2010)

Los programas internacionales de cooperación técnica han reconocido las cualidades excepcionales del bambú y están realizando un amplio intercambio de variedades de esa planta y de los conocimientos relativos a su empleo. En seis países latinoamericanos se adelantan hoy proyectos destinados a ensayar y seleccionar variedades sobresalientes de bambú recoleccionadas en todo el mundo, y también a determinar al lugar potencial de ese

material en la economía local. Estos proyectos, que ahora son parte del programa de cooperación técnica del punto cuarto han venido realizándose durante varios años y algunos de ellos han llegado ya a un grado de desarrollo en el que la multiplicidad de usos del bambú ha llegado a ser una estimulante realidad. (Castiblanco-Rodríguez, 2020).

### **2.1.5 Propiedades físicas de la caña guadúa**

El bambú puede tener las características necesarias para ser un buen material de construcción, teniendo ciertos patrones para tener una comparación a la madera y al acero. (Rodríguez, 2017).

En vista de las ventajas que posee el bambú, se hace necesario impulsar el estudio de las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. (Gonzales, 2008)

#### **2.1.5.1 Contenido de humedad**

Es indispensable analizar la humedad en la guadua, ya que su comportamiento mecánico depende de su grado de humedad. Esta característica depende de la época del año, del clima, de la altura y de la edad del tallo.

La contracción del diámetro del bambú “puede ser del 5 hasta el 15 %, cuando se disminuye la humedad del tronco, (del 70% hasta el 20%)” (Cobos-León, 2007). El análisis de esta contracción es relevante si el elemento en guadua será utilizado en hormigón armado.

#### **2.1.5.2 Peso específico**

El peso específico de la gramínea en estudio varía en función de la humedad. “Para cañas secadas al aire (18% de humedad), oscila entre 700 y 850 kg/m<sup>3</sup>. El peso específico depende también de la porción de caña analizada: a la base se aproxima los 0,57 kg/dm<sup>3</sup> y en la cima 0,76 kg/dm<sup>3</sup>.” (Martínez García, 2015)

#### **2.1.5.3 Durabilidad**

La durabilidad natural de la guadua mejora aplicando sustancias preservadoras para protegerlo de ataques de agentes ambientales degradadores como hongos o insectos, sobre todo cuando el bambú se encuentra en contacto con el suelo. (Aguilar, 2019)

#### 2.1.5.4 Propiedades geométricas

La sección transversal de la caña guadua es cilíndrica, con diámetros que pueden variar de 8 a 18 cm y espesores de 2 a 2.5 cm. Constituido por internodos separados a una distancia de 25 a 40 cm que evitan el pandeo del tronco. (Aguilar, 2019)

#### 2.1.6 Propiedades mecánicas de la caña guadúa

La propuesta de normas internacionales para ensayos de bambú, especifican para los ensayos parámetros que a partir del año 1999 se estandarizaron para sacar resultados confiables y que se puedan evaluar de mejor manera las propiedades de la Guadua, debido a que anteriormente se hacían investigaciones, pero sin un manual o una guía que los lleve a dicho estudio. (Castro, 2014)

##### 2.1.6.1 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad se determina en base a la relación entre la carga aplicada a la muestra y su deformación. La NEC-SE-GUADUA recomienda como módulos de elasticidad los indicados en la (tabla 1), al mismo tiempo sugiere que 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 (CL) y de Columnas ( $C_p$ ).

El módulo de elasticidad (E), se debe utilizar para calcular las deflexiones y garantizar serviciabilidad. La selección del módulo de elasticidad, dependerá del criterio del calculista. (Castro, 2014)

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)</b>		
<b>MÓDULO PERCENTIL 5</b>	<b>MÓDULO PERCENTIL 5</b>	<b>MÓDULO MÍNIMO</b>
$E_{0.5}$	$E_{0.05}$	$E_{min}$
<b>12.000</b>	7.500	4.000

*Tabla 1 Módulos de Elasticidad del bambú Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)*

##### 2.1.6.2 Esfuerzos admisibles

Aquí se tiene como finalidad presentar el planteamiento metodológico que se emplean a lo largo de las pruebas mecánicas de laboratorio para determinar entre otras características

de la Guadua Angustifolia, su comportamiento ante diferentes solicitaciones mecánicas y valores de esfuerzos admisibles. A continuación, se muestran los valores de esfuerzos admisibles sugeridos por la (NEC-SE-GUADUA, 2016), los mismos que resultaron de ensayos realizados en probetas de bambú de acuerdo a las especificaciones de normas internacionales (tabla 2).

<b>ESFUERZOS ADMISIBLES</b>				
<b>Fb FLEXIÓN</b>	<b>Ft TRACCIÓN</b>	<b>Fc COMPRESIÓN   </b>	<b>Fp* COMPRESIÓN _ _</b>	<b>Fv CORTE</b>
15	19	14	1.4	1.2

*Tabla 2 Esfuerzos admisibles del bambú Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)*

Donde;

|| es la compresión paralela al eje longitudinal

\_|\_ es la compresión perpendicular al eje longitudinal

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

## **2.1.7 Requisitos generales para el uso del bambú en la construcción**

El bambú empleado como material en la construcción ofrece diversos beneficios como durabilidad, seguridad, diseño, menor tiempo de ejecución; a su vez podemos usarlo para proyectos con visión de un desarrollo sostenible para ayudar a mitigar el impacto ambiental causado por otros materiales de construcción usados actualmente; pero debemos recordar que el éxito en la construcción con bambú dependerá no solo de la protección ante agentes xilófagos, sino también de otros factores que deben considerarse durante todo el proceso de construcción con bambú. (Cajigas-Santos-Távora, 2020)

### **2.1.7.1 Protección contra el fuego**

De acuerdo a la normativa (NSR-10-Capítulo G.12- "Estructuras de Guadua", 2010):

- En ningún caso se debe utilizar estructuras en guadua cuando la temperatura a la que estarán sometidas durante toda su vida útil exceda los 65°C.
- Es recomendable limitar el uso de acabados como barnices, lacas, pinturas oleo solubles y cualquier otra sustancia que acelere el desarrollo del fuego.

### 2.1.7.2 Protección por diseño

La GaK es un material poroso e higroscópico. Al igual que la madera, si la humedad se acumula en su interior afectará sus propiedades físico-mecánicas y será propensa al ataque de hongos y posterior putrefacción. Por este motivo es indispensable proteger a los elementos estructurales de la humedad.

En una edificación la humedad llega principalmente por capilaridad, lluvias o condensación. Por tal motivo, la estructura de GaK debe protegerse como se indica a continuación: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

- Las columnas de GaK no pueden estar en contacto directo con el suelo natural. Deben apoyarse en un sobrecimiento (zócalos, pedestales, pilaretes u otros) debidamente impermeabilizado en la superficie de contacto con los culmos. (figura 6)

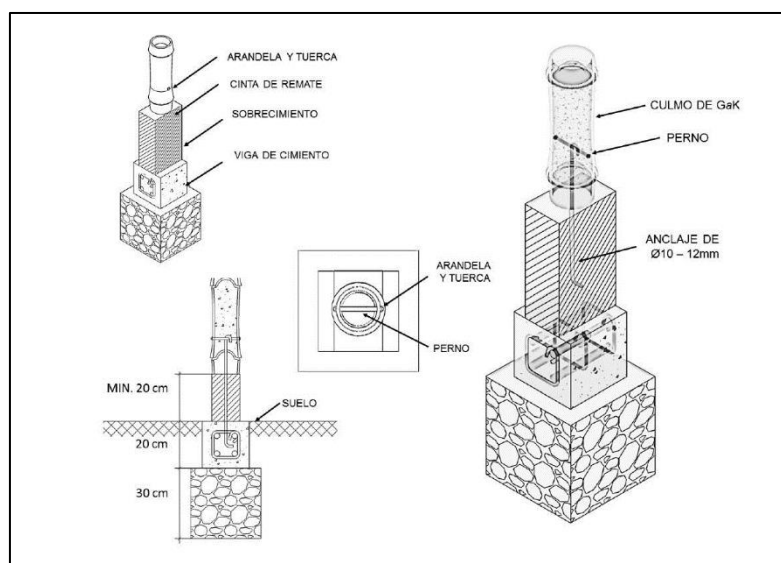


Figura 6 Detalle de apoyo de columnas en sobrecimiento Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

- Por medio del diseño se debe evitar la exposición directa de los elementos estructurales de la GaK a las condiciones climáticas del lugar (lluvia, sol, salinidad, entre otros), para ello, se recomienda usar aleros generosos y canales de recolección de aguas lluvias. En casos donde esto no sea posible, debe considerarse el recubrimiento de cada elemento estructural con sustancias hidrófugas o superficies impermeables.
- Cuando queden aberturas en el armado estructural (entrepisos, cubiertas y demás), es necesario sellar las mismas a través de elementos de cierre que eviten el ingreso de roedores, insectos u otros, que puedan afectar la estructura y la habitabilidad.
- Bajo ninguna circunstancia es admisible que las instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, electrónicas y mecánicas, atraviesen o comprometan los culmos del sistema estructural.

### 2.1.7.3 Cimentaciones

Como se ha mencionado previamente, la guadua es muy vulnerable a verse afectada por humedad en el ambiente, por ende, se debe evitar el contacto de ésta con el suelo para evitar su deterioro. Por lo general se procede a realizar anclajes con varillas sumergidas en concreto, sobre las cuales se conecta el elemento de bambú y su culmo es rellenado con mortero (figura 7). (Ordoñez-Mejía-Bárceñas, 2002)

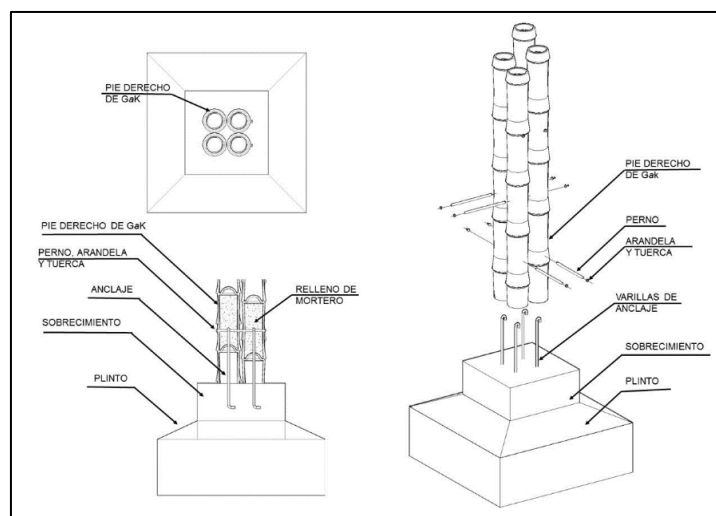


Figura 7 Anclajes sumergidos en concreto Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)



#### 2.1.7.4 Uniones entre elementos de caña guadua

A diferencia del hormigón armado, las uniones entre elementos de bambú son más complicadas de realizarlas debido a la geometría de la guadua y a la necesidad de mano de obra especializada.

Es indispensable que la unión entre dos elementos estructurales se realice de forma correcta para que los esfuerzos sean transmitidos de una manera eficiente, segura y que las deformaciones sean mínimas. (Ordoñez-Mejía-Bárcenas, 2002)

La (NEC-SE-GUADUA, 2016) expresa que las piezas de bambú deben ser cortadas de tal forma que quede un nudo entero en cada extremo o próximo a él, a una distancia máxima  $D=60$  mm del nudo. La mayoría de las uniones parten de tres tipos de cortes o entalladuras:

- *Corte recto*: plano y perpendicular al eje del culmo.
- *Corte boca de pez*: cóncavo transversal al eje del culmo.
- *Corte pico de flauta*: a diversos ángulos respecto al eje del culmo.

Este tipo de detalles en el corte para las uniones boca de pez y pico de flauta, requiere mano de obra calificada para su elaboración, cada una de ellas debe acoplarse a la pieza estructural colindante, y ese es un proceso que llevará tiempo, lo que debe ser considerado en el cronograma de obra. (figura 8)

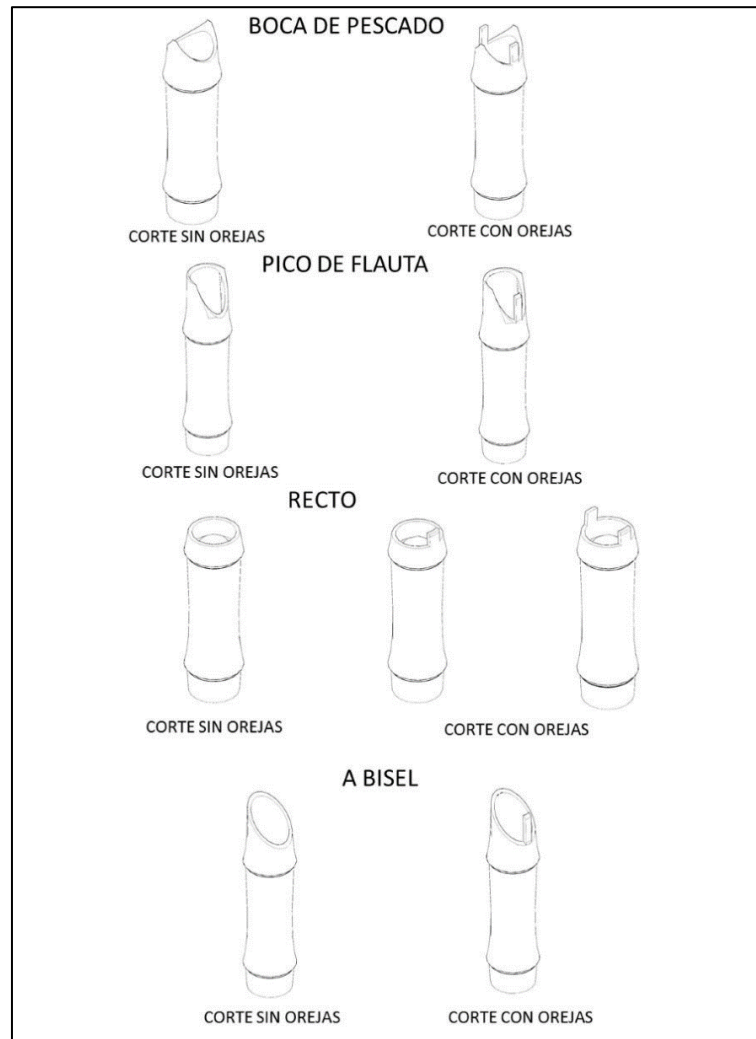


Figura 8 Cortes para uniones Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

La estructura de una edificación realizada con culmos de GaK, demanda diversos tipos de uniones o nodos, las herramientas eficientes y los elementos metálicos: pernos, tuercas, varillas roscadas, pletinas y otros que facilitan su ejecución.

En ningún caso se permite el uso de clavos o elementos que fisuren los culmos de GaK que formen parte de la estructura. (NEC-SE-GUADUA, 2016)

A continuación, en la tabla 3, se indica un comparativo entre los diferentes tipos de uniones existentes realizado por (Ordoñez-Mejía-Bárceñas, 2002) en el Manual mexicano para construcción sustentable con bambú.

<b>Tipo de Unión</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Función</b>
<b>Con Amarre</b>	Son fáciles de realizar	No transmiten todos los esfuerzos	Los amarres no deben quedar flojos.  Utilizar alambre galvanizado.	Para cercas, barandales, pasamanos.  Para construir cubiertas temporales o andamios
<b>Con Pasadores</b>	Rapidez al ensamblar	No aprovecha todo el diámetro del Culmo para transmitir esfuerzos	Las perforaciones deben realizarse cerca del nodo	Para estructuras que requieran rapidez en su construcción.  Estructuras temporales.
<b>Con centro de madera</b>	Mejor transmisión de esfuerzos.  Compatibilidad entre bambú y madera.  Estandarización de las uniones	Se debe contar con el equipo necesario	Utilizar una resina adecuada	Para estructuras tridimensionales.  Para solución de uniones en muebles
<b>Combinación de sistemas</b>	Fácil reemplazo de las piezas	Mayor cantidad de material.	Hacer un buen diseño que facilite el reemplazo de piezas.	Para reforzar o facilitar las uniones.

*Tabla 3 Comparativo entre tipos de uniones en bambú Fuente: (Ordoñez-Mejía-Bárcenas, 2002)*

#### **2.1.7.5 Mantenimiento**

Las edificaciones en bambú, al igual que con materiales convencionales, requieren de revisiones y reparaciones periódicamente para garantizar un correcto comportamiento estructural. (Aguilar, 2019).

La frecuencia del mantenimiento depende del grado de exposición solar, del desgaste por fricción de la película protectora y del nivel de exigencia estructural de los culmos. (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Para garantizar la durabilidad de la construcción con GaK se debe llevar a cabo las siguientes actividades de acuerdo a la NEC-SE-GUADUA:

- Sellar cavidades en los extremos de los culmos.
- Cortar y lijar sobrantes de pernos y protegerlos con anticorrosivos y pintura esmalte.

- Reajustar los pernos de la estructura seis meses después de la construcción.
- Controlar el estado de la estructura a través de la inspección de presencia de afectaciones a causa de: hongos, termitas, humedad, aplastamiento, fisuras, entre otros.
- De ser necesario, reemplazar los elementos estructurales afectados.
- Se debe usar pintura anticorrosiva en todos los elementos metálicos.
- El propietario debe realizar cada año la revisión de los puntos antes mencionados

Cabe mencionar que las reparaciones en este tipo de material se deben por lo general, a las dilataciones que se producen en la guadua a causa de la humedad y temperatura del lugar. (Aguilar, 2019).

Por este motivo la norma colombiana (NSR-10-Capítulo G.12- "Estructuras de Guadua", 2010) en su sección 12.12.4.10, manifiesta los siguientes requisitos:

- Si algún elemento de la estructura presenta rotura, aplastamiento, deformación excesiva o podredumbre se debe dar aviso inmediato al constructor, para que éste haga el reemplazo de la pieza.
- Se deben hacer revisiones periódicas para verificar si el material está siendo atacado por algún agente biológico.
- Verificar la integridad de las instalaciones eléctricas, de suministro de agua y sanitarias. De igual forma en las estructuras donde existan sistemas especiales de protección contra incendios, se debe realizar una revisión periódica para verificar su correcto funcionamiento.

### **2.1.8 Durabilidad del Bambú**

La durabilidad natural del bambú es muy baja y depende de la especie, época y edad de corte y el uso final que se le vaya a dar. La durabilidad varía a lo largo del culmo y del espesor de la pared. Así, la parte basal del culmo es considerada más durable, mientras que

la parte interna de la pared deteriora más rápido que la parte externa. Esto posiblemente esté relacionado con la naturaleza anatómica y química de las células maderables. (Burgos, 2003)

De allí que, la durabilidad natural del bambú es de 1 a 3 años empleado en la construcción en contacto con el suelo y de 4 a 7 años si se le utiliza en interiores (Lantican et al. 1987). Su vida útil aumenta con los tratamientos de preservación, tratado puede durar como mínimo 15 años hasta un máximo de 20 años, aun en condiciones extremas (Tewari, 1981).

La parte inferior del culmo de bambú se considera más duradera, mientras que la parte interior suave de la pared se deteriora más rápido que la parte más dura exterior. Esto está relacionado con la naturaleza anatómica y química de las células leñosas. Aunque algunas de las características del bambú se parecen a las de la madera, sus características de crecimiento y microestructura son diferentes. A diferencia de las variedades de madera como la teca, la estructura del bambú carece de depósitos tóxicos. (Castiblanco-Rodríguez, 2020).

Las grandes cantidades de almidón presentes en el bambú lo hacen muy atractivo para el moho y los hongos, las termitas y los escarabajos en polvo. Causan mucho daño durante el secado, almacenamiento y uso posterior. Las pruebas también han demostrado que el bambú es más propenso a la podredumbre blanda y al ataque de la pudrición blanca que a la podredumbre parda. (BAMBOO, 2019).

Por lo descrito anteriormente podemos decir que: la durabilidad natural de la guadua mejora aplicando sustancias preservadoras para protegerlo de ataques de agentes ambientales degradadores como hongos o insectos, sobre todo cuando el bambú se encuentra en contacto con el suelo. (Aguilar, 2019).

El problema sobre el uso adecuado del bambú “*Guadua angustifolia* Kunth”, como recurso opcional en la construcción de viviendas, se debe al poco interés sobre el estudio adecuado de sus propiedades, como también su durabilidad. (Cajigas-Santos-Távora, 2020)

De acuerdo con Barreto y Gutiérrez (2018), todavía se desconoce en gran medida sus propiedades físicas y mecánicas, su desempeño y funcionamiento estructural, así como también las principales patologías o causas de deterioro que afectan su correcto desempeño como material de construcción.

Echezuría (2018) afirma que, una de sus propiedades importantes del bambú, es aislar los movimientos sísmicos, haciendo de la estructura más flexible y menos rígida, por consiguiente, segura para los que la habitan.

Como resultado de las diferentes investigaciones, Kaminski (2016) afirma que, uno de los problemas más recurrentes que presenta las piezas de bambú como uso estructural, son las patologías que inciden en su progresivo deterioro, ya que el bambú es más susceptible a la descomposición que la madera, por lo que sus paredes delgadas y la falta de toxinas naturales genera un cambio porcentual en la capacidad.

Actualmente se ha investigado nuevos métodos de inspección para elementos de bambú que permita identificar los posibles daños internos que muestren deterioro facilitando la decisión del responsable a la hora de realizar un cambio de pieza en la estructura (Jaramillo y Librelotto, 2019).

### **2.1.9 Tratamientos para incrementar la durabilidad de la caña guadúa**

El tratamiento del bambú es dividido en dos categorías: tratamiento de bambú verde y tratamiento de bambú seco. Además de los métodos establecidos para el tratamiento de madera, también hay algunos métodos tradicionales que son usados en el tratamiento del bambú; entre ellos tenemos: los métodos tradicionales de protección que no incluyen químicos y los métodos de preservación con tratamientos químicos. (Castiblanco-Rodríguez, 2020).

### **2.1.9.1 Métodos tradicionales protección (sin químicos)**

En el bambú, los almidones y los azúcares son uno de los principales alimentos para los insectos y hongos manchadores o cromógenos. Los métodos que se utilizan para reducir el contenido de estos carbohidratos en el bambú son: (Burgos, 2003)

- *Cortar el bambú durante la estación en la cual el contenido de carbohidratos sea más bajo:* el contenido de azúcar en la mayoría de las plantas varía con la estación, siendo menor en la estación más seca.
- *Cortar el bambú a la edad madura:* ya que el contenido de carbohidratos en esta etapa es bajo. Generalmente el bambú madura a los 3 ó 4 años.
- *Curado:* los tallos son cortados en la base, dejándoles las ramas y hojas de tal manera que la transpiración continúe, reduciéndose el contenido de carbohidratos en el tallo.

### **2.1.9.2 Métodos de preservación con químicos**

La protección química asegura una vida más larga para el bambú, se puede usar una gran variedad de químicos, dependiendo de las condiciones del culmo (verde o seco) y del uso final en servicio. Tanto el tratamiento a presión como el sin presión pueden ser usados efectivamente, la clave está en la penetración y distribución de las dosis recomendadas de preservante. (Castiblanco-Rodríguez, 2020).

Para Burgos (2003) existen varios métodos de preservación con químicos que pueden ser usados, la elección de los mismos depende de cada profesional a cargo y de la facilidad para obtener los productos para realizarlo; entre los métodos recomendados están:

- *Desplazamiento de savia:* El bambú redondo o cortado a la mitad o en tiras es sumergido verticalmente unos 25 cm en una solución a concentraciones del 5 al 10% de preservante hidrosoluble, por ejemplo, ácido bórico-bórax, ácido cúprico-cromo, CCA, etc. La solución preservante sube por acción capilar a medida que la savia es desplazada.

- *Proceso de difusión:* Los culmos recién cortados o con altos contenidos de humedad (> 50%) son sumergidos en soluciones de preservantes hidrosolubles por un período de 10 a 20 días para obtener la retención requerida. La absorción es mayor en bambú cortado longitudinalmente que en redondo, como la capa externa es más o menos impermeable y la interna permeable, al perforar en o cerca de los nudos se incrementa la difusión resultando en una mejor penetración y retención.
- *Tratamiento a presión:* Estos son aplicados en algunos países utilizando preservantes hidrosolubles o creosota. Su costo es considerablemente alto y en muchos casos, no económico para un material tan barato como el bambú.
- *Inmersión:* Este tratamiento consiste en sumergir el bambú en una solución preservante por un período que va a depender de la especie, edad, espesor de la pared del culmo y la absorción requerida. Siendo la penetración principalmente por capilaridad y el método requiere de poco equipo y capacitación técnica.

#### **2.1.10 Beneficios de la caña guadua**

En la actualidad existe la necesidad de diseñar edificaciones, sobre todo viviendas de interés social que estén de acuerdo con los principios de sostenibilidad social, ambiental y económica, la cual encamine al desarrollo de nuevas tecnologías y al redescubrimiento de materiales tradicionales (Soler, 2017).

El bambú posee múltiples beneficios para la construcción, entre ellos podemos mencionar:

- Es una planta de rápido crecimiento, puede alcanzar su madurez entre los 4 y 6 años consiguiendo un rendimiento de 3.3 veces mayor que de la madera. Evita la deforestación y la desertificación del suelo, luego de los cortes de los tallos maduros (Soler, 2017).



- El bambú efectúa un rol ecológico importante ya que brinda diferentes servicios ecosistémicos como, por ejemplo: regulación hidrológica de micro cuencas, protección de las riberas de los cursos de agua, preserva el suelo de la erosión y recicla nutrientes, reduce el riesgo de deslizamientos, aloja flora y fauna local, captura y almacena el dióxido de carbono y favorece a la belleza escénica de la región (Añazco y Rojas, 2015).
- Posee extraordinarias características físicas y mecánicas, permitiendo su uso en todo tipo de miembros estructurales. Los nudos que posee la caña, tienen un tabique o septo transversal que, a la vez le otorga mayor rigidez y elasticidad, por lo que impide su ruptura al curvarse. Haciéndola ideal para estructuras sismo resistentes (Encalada, 2016).
- De igual manera, el bambú es sometido a cargas de viento, y por su esbeltez, y la presencia de sus entrenudos, optimizan su rigidez y elasticidad, evitando su ruptura al curvarse (Aguilar, 2019).
- El bambú no contamina, porque no deja residuos que no sean biodegradables (Soler, 2017).
- Este material no tiene corteza o partes que se consideren desperdicios. Es un productor de materia orgánica porque las hojas, ramas y todo lo que queda después de la cosecha se reincorpora al suelo. (Encalada, 2016)
- Su sección circular, generalmente hueca, la hace más liviana, fácil de transportar y almacenar, permitiendo la construcción rápida de estructuras temporales o permanentes. Su manejo es sencillo y no requiere especialista (Encalada, 2016).
- Es un material ecológico, con un bajo precio, ya que en las mismas poblaciones se puede cultivar, contribuyendo al creciente desarrollo sostenible de las poblaciones rurales (Añazco y Rojas, 2015).

- Por su bajo coste, es un material accesible para todas las clases sociales (Soler, 2016).
- Para la construcción de viviendas de interés social la hace excepcional ya es un material que posee flexibilidad y ligereza haciéndola efectiva para construcciones en zonas de riesgo sísmico. La capa externa de la caña es de alta resistencia a tracción, comparable a la del acero. Su alta resistencia a la compresión, es equiparable con el hormigón y su dureza, resistencia y flexibilidad hacen que sea un material eficiente para una infinidad de elementos estructurales, de revestimiento, mobiliarios, de drenajes, etc, (Soler, 2017).
- En la construcción, es más liviano que el acero y más fuerte que el concreto; sismorresistente y más económico que materiales convencionales. (Aguilar, 2019).
- También puede combinarse con otros materiales de construcción tales como: barro, madera, hormigón, celulosa-cemento, zinc, entre otros elementos ecológicos y sintéticos (Encalada, 2016).
- Tiene una gran ventaja social la cual es que aporta a la generación de empleo de las comunidades productoras del producto, así como de mano de obra para la construcción de viviendas. Igualmente contribuye a la reproducción social de la unidad productiva y de quienes la habitan y por último, pero no menos importante el aporte al rescate cultural, ya que “forma parte del patrimonio material (viviendas antiguas) e inmaterial del país (conocimientos ancestrales)”, (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018:18)
- El bambú posee propiedades sismorresistentes por su bajo peso y su alta capacidad de admitir una mayor flexión y absorber energía lo que hace que sea ideal en las construcciones para un país con alta sismicidad como el Ecuador. (Aguilar, 2019)

### 2.1.11 Desventajas de la caña guadua

Como ya hemos visto, la caña guadua debido a su amplia versatilidad y utilidad para el desarrollo de la industria ha sido de mucha ayuda en el área de la construcción, sin embargo, a pesar de ser un material ampliamente útil, tiene ciertas desventajas que deben ser consideradas a la hora de tomar este vegetal como material de trabajo para sus diferentes usos (Coral, 2019)

Entre las desventajas que posee la caña guadua, podemos mencionar:

- Es susceptible al ataque de hongos mientras sea una planta en cultivo como la Estigma Chinesis que ataca solo los tallos nuevos; y, la Cytotrachelus Longipes que es un gusano que ataca al ápice superior de los tallos nuevos. (Ramón, 2006).
- Luego de ser cortados los tallos pueden ser atacados por polillas. (Ramón, 2006).
- La humedad constante la descompone, si no se protege de las precipitaciones, o de la humedad por el contacto del suelo directo (Encalada, 2016)
- No puede ser utilizado en los cimientos, el contacto continuo con el agua causaría putrefacción, afectando su desempeño (Aguilar, 2019)
- En cuanto a forma el tronco del bambú pocas crecen totalmente rectas. La forma cónica que presenta el bambú hace que el diámetro cambie en toda su longitud. Su sección redonda y la tendencia que tiene a la rotura obstaculiza el anclaje de elementos, dificultando el diseño con ellos (Soler, 2017).
- Como los diámetros no son constantes en toda la longitud del tallo además de que los espesores son variables en las paredes de los entrenudos, se debe realizar una selección y colocación minuciosa de los elementos cuando se está edificando (Encalada, 2016).

- La guadua en estado seco puede ser altamente inflamable, por lo cual se recomienda dar el debido tratamiento previo a utilizarla en construcción. (Aguilar, 2019)
- Las uniones de miembros estructurales deben ser fortalecidas cuando se usan los mismos tipos de unión de la madera. Por ello, se recomienda, usar su propia carpintería. Las cañas tienen la tendencia a agrietarse si se usan clavos gruesos (Encalada, 2016).
- El bambú es vulnerable a la agresión de hongos e insectos (Soler, 2017), sin embargo, explica Encalada (2016) la GaK, es “una de las especies más resistentes al ataque de insectos, principalmente del *Dinoderus minutus*- deben tomarse precauciones en su selección, tiempo de Corte y de seccionamiento; su curado y secado deben realizarse inmediatamente después del seccionamiento”, esto se realiza con el objetivo de preservarlo de los ataques de hongos e insectos, asegurando una mayor duración de los elementos de construcción.
- El diseño de uniones “es más difícil de resolver que en la madera, o el concreto, pues el bambú es hueco y redondo y transversalmente no es una sección circular perfecta” (Ordóñez Candelaria, Mejía Saulés, Bárcenas Pazos, & Instituto de Ecología A.C (INECOL), 2002) por lo que se requiere de mano de obra calificada para resolver estas uniones de una forma segura.
- Si la guadua no recibe un tratamiento de secado adecuado, ya sea por métodos naturales o artificiales, puede deformarse y agrietarse. (Aguilar, 2019)

# CAPÍTULO 3

## CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN CAÑA GUADÚA



*“Una vez que sus raíces se solidifican, sus troncos crecen muy rápidamente y hay quienes dicen que es más fuerte que el acero”*

LCDO. ISMAEL CALA

Escritor, productor, conferencista

### **3 CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN CAÑA GUADÚA**

#### **3.1 La caña guadua en la construcción**

Desde la época precolombina la GaK ha sido utilizada como material en la construcción de diferentes estructuras, y hoy en día los testimonios de su durabilidad, son edificaciones aún existentes que fueron construidas hace más de 100 años a lo largo del Eje Cafetero en Colombia, o en ciudades como Guayaquil, Jipijapa y Montecristi en Ecuador; además, en la costa norte del Perú en ciudades como Piura y Tumbes, existe también una larga tradición del uso de la caña guadúa como principal material para la construcción de viviendas. (NEC-SE-GUADUA, 2016).

La caña guadua es un material que se puede utilizar en diferentes tipos de construcciones, muy común en zonas tropicales. Sus ventajas son múltiples y es una buena alternativa al uso de la madera. Es un material rápidamente renovable, natural, ecológico y sostenible. Su recolección no produce deforestación de bosques y absorbe un 30% más de CO<sub>2</sub> que los árboles. Además, se considera el “acero vegetal” por su resistencia a determinados esfuerzos que lo convierten en una buena opción por su buen comportamiento sísmico. Sus aplicaciones en la arquitectura son diversas y sus ventajas también. (Cevallos, 2020)

En la actualidad se han encontrado técnicas que ayudan a mejorar la calidad de las viviendas construidas con cada guadua, a menor costo que otros materiales. La guadua es un material para la construcción y decoración de ambientes, y cada día está ganando adeptos para ser cotizada de manera significativa por los diseñadores de interiores y decoradores que se encuentren actualizados en esta materia. (Cevallos, 2020)

Miles de personas viven en casa de caña guadua, alcanzando en algunas regiones del mundo una importancia gravitante, este es el caso de Bangladesh donde el 73% de sus habitantes ocupan en este tipo de viviendas. Las propiedades antisísmicas, han contribuido a valorizar este material desde el punto de vista estructura. (Álvarez, 2001)

El uso de la guadua como material de construcción ya sea primario, secundario u ocasional es común en las áreas donde éste crece en suficiente cantidad. Su importancia en cualquier región dada, está determinada habitualmente por el nivel económico de la gente común y por el uso de otros materiales más durables. La solidez estructural, adecuada a las exigencias de las condiciones locales, se consigue comúnmente con el bambú, pero por lo común una monotonía general en el diseño y un nivel mediocre de ejecución caracterizan las casas de bambú en muchas regiones. (Romo, 2006)

En ciertas áreas culturales, sin embargo, y especialmente en niveles económicos muy altos, como en las partes cultas del Japón, Java y Malasia, el bambú es empleado arquitectónicamente en formas que son distintivas y básicamente artísticas. Cohen, indirectamente, alude a este reconocimiento de las virtudes especiales del bambú: El poste principal en una casa japonesa, caracteriza la casa en cuanto se considere la calidad y construcción. (Industrialización del bambú en Guatemala, 2023)

Como lo hemos dicho anteriormente; actualmente, la caña guadúa ha recobrado su importancia en el área de la construcción, tal es el caso que se ha posicionado como uno de los materiales de mayor interés investigativo debido a sus características constructivas y económicas. Si bien su utilización data de décadas atrás, el escepticismo social ha relegado su uso a un segundo plano sin embargo a nivel internacional se puede mencionar a Bangladesh como uno de los países con mayor utilización de la guadua para vivienda con un porcentaje del 73 % de viviendas, mientras que a nivel nacional resalta Guayaquil como la ciudad con mayor utilización de este material para la fabricación de viviendas con un porcentaje del 50%. (Armijos y Armijos, 2005)

Para Herrera (2021), a nivel nacional la utilización empírica de este material se desarrolla en diferentes formatos, ya sea en su geometría natural o modificada con el fin de obtener medias cañas, latillas o caña picada. Cada una de estas alternativas responde a un uso y situación geográfica, siendo características de las culturas amazónicas la utilización de la caña guadua en su estado natural; es decir, madera rolliza.

Está claro que, el uso de la caña guadua en los diferentes campos de aplicación evidencian un mayor compromiso social con el medio ambiente, ejemplo de ellos es la organización Bambú Buddy, dedicada a construir casas de bambú para la población de escasos recursos. Así mismo, se rescata la labor del Arquitecto Simón Vélez, quien ha impuesto como ícono de la bio-arquitectura el uso de la caña guadua en sus obras, potenciando la parte funcional, sin dejar de lado la estética. Además, en el diseño de interiores se obtiene una infinidad de productos y elementos decorativos que permiten crear espacios más llamativos e incluso lujosos manejando el material de diversas formas. (Espinel, 2014)

En la realidad nacional existen proyectos vinculados a la construcción con caña guadua como la institución social llamada Hogar de Cristo, fundada originalmente en Chile en 1944 y que trabaja en Guayaquil desde 1971 con el fin de dar esperanza y ofrecer lugares habitables a los más pobres. (Díaz, 2010).

A partir del año 2020, el Gobierno Nacional incorpora a su plan de viviendas, la construcción de viviendas en caña guadua; y es así que el primer proyecto a nivel Nacional se lo construye la Comuna Pile del Cantón Montecristi en la Provincia de Manabí; este proyecto constaba de 27 casas de 66 m<sup>2</sup>. En su intervención al momento de la entrega de las viviendas, el ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, Julio Recalde comentó: “Estas casas son construidas en caña guadua, que es la mejor variedad del bambú. Es una vivienda autosustentable, bioenergética y ecológica; es un modelo a seguir para evitar la contaminación”

### **3.1.1 El bambú en el mundo**

De acuerdo a Yedra, (2014), a nivel mundial existen aproximadamente 1.600 especies de bambú, donde el 64% son nativas del suroeste de Asia, el 33 % de ellas crece en Latinoamérica y el resto en África y Oceanía, a excepción de Europa la cual no se produce. En Norteamérica solo existen 3 especies nativas, cotejadas con las 440 de América Latina, es decir, crece mayormente en zonas tropicales y subtropicales a nivel global. En la figura 9 se puede observar la distribución mundial del bambú.



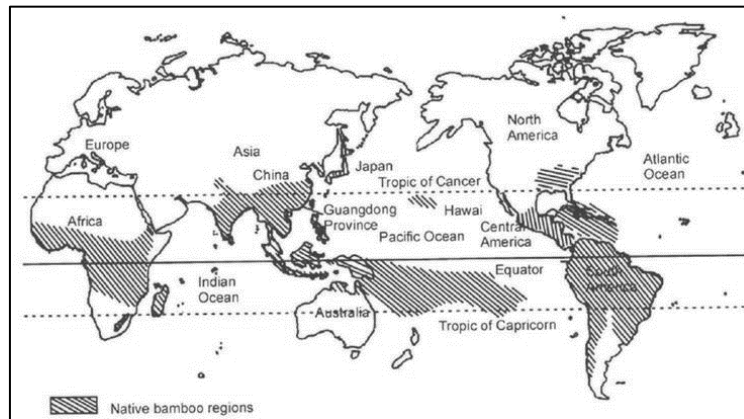


Figura 9 Mapa de la distribución mundial del bambú Fuente: (Echezuría, 2018)

Como se aprecia, Latinoamérica es el territorio más rico en términos de diversidad y número de especies de bambú leñoso, se han estudiado 20 géneros y 429 especies los cuales están distribuidos desde México hasta Chile. La siembra del bambú en una escala comercial en Latinoamérica se circunscribe a la especie *Guadúa angustifolia*, *G. amplexifolia*, además se han introducido al mercado ciertas especies asiáticas como *Bambusa vulgaris*, *B. tuldooides*, *Phyllostachys aurea* y *Dendrocalamus* spp (Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015)

En algunos países como Nepal y la China, el uso de arcilla junto con el bambú y la caña brava se utiliza, no solo para construir viviendas, sino también templos relativamente altos con más de tres a cinco niveles que perduran hasta nuestros días; es bueno destacar que esas construcciones se han desarrollado en zonas con alto peligro sísmico, en las cuales la tradición y el proceso de ensayo y error han permitido mejorar las técnicas constructivas para lograr edificaciones sismo-resistentes con esos materiales. Esto aplica fundamentalmente a países como Japón, Nepal y China entre otras naciones de Asia, que construyen con dichos materiales desde hace varios milenios. (Echezuría, 2018).

En otras zonas como América Latina, las construcciones con los materiales propuestos fueron utilizadas tradicionalmente por las poblaciones indígenas autóctonas y por los españoles durante la colonia. Aunque las técnicas constructivas fueron mejoradas en cierta medida por la influencia europea durante esa época, no se contaba con el conocimiento y las tradiciones de los pueblos con alto peligro sísmico de Asia. (Echezuría, 2018).

Con el paso del tiempo aumentó el uso de cemento, concreto y acero debido al auge industrial de esos productos y la aparente mejora en las condiciones habitacionales al utilizarlos. Así, se fue relegando el uso del bambú, la caña y la arcilla en muchos de los países latinoamericanos, al punto que quedó para zonas muy empobrecidas y sin ninguna mejora desde el punto de vista del desempeño ante sismos. Sin embargo, a nivel mundial el bambú, la caña brava y la arcilla se han seguido utilizando. (Echezuría, 2018).

Similarmente, en muchos países, incluyendo varios latinoamericanos como México, Perú y Ecuador, ha venido creciendo el estudio científico de las propiedades ingenieriles del bambú y la caña brava para su utilización como material ecológicamente sustentable para la construcción. No solamente se utiliza el bambú como elemento estructural para el soporte de las edificaciones sino como potencial sustituto del acero en el concreto reforzado. (Echezuría, 2018).

### **3.1.2 La caña guadua en el Ecuador**

Dentro de la diversidad ecológica, la República del Ecuador alberga un grupo significativo de géneros de bambúes, 45 especies en total, entre ellos se encuentran los géneros Guadúa, Chusquea, Arthrostylidium, Moya, Neurolepis (Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015).

El género Guadúa angustifolia resalta entre los bambúes leñosos, importante por sus fibras naturales y muy fuertes, además por su relevancia social, económica y cultural, también por ser la especie más empleada en el país para edificaciones (Fernández, 2018).

La Guadúa angustifolia es nativa de Ecuador, destaca por sus culmos que llegan hasta 30 metros de alto y 25 centímetros de diámetro. Entre todos los bambúes americanos la Guadúa angustifolia, se caracteriza por sus óptimas propiedades físico-mecánicas y por su empleo comprobado en la industria de la construcción. (Zambrano, 2021)

La guadua suele ocupar las inmediaciones de quebradas y riberas de los ríos. Autores exponen que “la especie presenta pequeñas diferencias, marcadas por su coloración (bicolor

o negra). En el caso ecuatoriano predomina la tonalidad verde, con franjas blancas en los nudos”. (Castro et al, 2018). Su geografía de cultivo es amplia, puede hallarse y producirse en áreas costeras, también en zonas por encima de 1.500 msnm. y se encuentran distribuidas en 16 provincias del país y estas especies son abundantes debido a las condiciones edafoclimáticas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018). En la tabla 4, se puede apreciar que Manabí es la provincia donde existe más presencia del bambú (24.3%) en Ecuador:

<b>Provincia</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>%</b>
El oro	4.37	0,7
Esmeraldas	68.546	11,4
Guayas	43.825	7,3
Los Ríos	80.763	13,5
<b>Manabí</b>	<b>145.529</b>	<b>24,3</b>
Santa Elena	11.872	2,0
Santo Domingo de los Tsáchilas	44.126	7,4
Bolívar	6.754	1,1
Cotopaxi	19.047	3,2
Imbabura	7.702	1,3
Pichincha	26.581	4,4
Morona Santiago	42.806	7,1
Napo	22.245	3,7
Orellana	24.879	4,1
Pastaza	23.467	3,9
Sucumbíos	27.515	4,6
<b>Total</b>	<b>600.025</b>	<b>100%</b>

*Tabla 4 Superficie de las principales zonas con presencia de bambú Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa sectorial del Bambú, 2018)*

El bambú es un recurso que se encuentra de manera cuantiosa en Ecuador como lo muestra el cuadro 1, es usado tradicionalmente desde hace siglos en las regiones costeras del país, tanto para construcciones formales como informales. Por ello, es uno de los materiales de construcción ecológico muy utilizado en la provincia de Manabí. Con este

material se pueden edificar estructuras muy sostenibles y de bajo coste para vivienda formal. Con el debido diseño y ejecución, las estructuras realizadas de bambú, son sismo-resistentes, donde se han evidenciado tras varios terremotos en Latinoamérica (Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2016).

En Ecuador la Caña Guadua tiene un aporte significativo en la economía rural y genera divisas para los procesos industriales y comerciales de productos y subproductos que se exportan; de igual manera esta es considerada como la principal materia prima en la construcción ya que se han elaborado más de 300.000 viviendas de tipo social, también genera un aporte ambiental debido a que contribuye con la protección del suelo y la biodiversidad (Bambusa, 2015)

El Ecuador produce aproximadamente 4 millones de cañas anuales, que se emplean como material de construcción, edificaciones campesinas y uso doméstico. (González y Mendoza, 2016). En Ecuador, el bambú se ubica en un 66.5% en la costa ecuatoriana, el 23.5% de la Amazonía y el 10% en la sierra (figura 10), distribuidas en 16 provincias del país y estas especies son abundantes debido a las condiciones edafoclimáticas del país (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018)

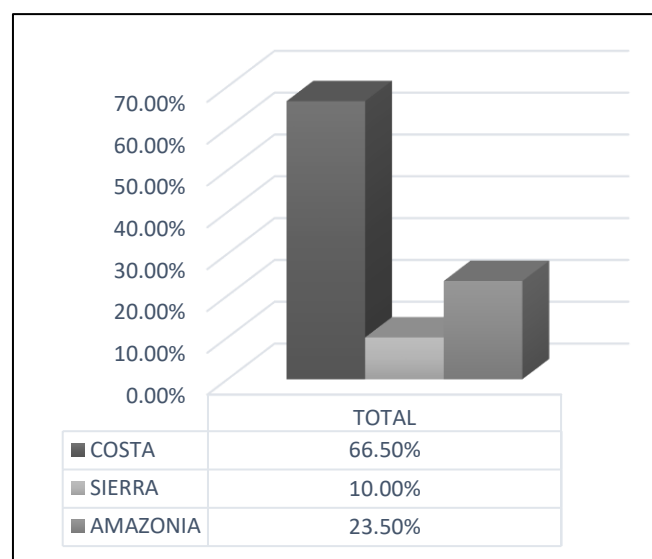


Figura 10 Distribución del bambú en el Ecuador Fuente: (Editado por autor de esta investigación, 2023)

### **3.1.3 La caña guadua en Manabí**

La provincia de Manabí reúne las condiciones ambientales para la proliferación de la caña guadúa, por su clima tropical húmedo y su vegetación de bosques tropicales y mesófilos de montaña, de tal manera que su potencial gradual está calculado en 674.164 has. (Andrade y Fernández, 2014)

Se estima que Manabí en la actualidad cuenta con la mayor extensión de caña guadua con un aproximado de 145.000 mil ha, que no ha sido aprovechadas a su cabalidad, esta provincia fue pionera en la comercialización del producto quedando retrasada y aprovecha por otros mercados como el de Pichincha, Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas mismo que se encuentra uno de los más grandes centros de acopio del país tanto en cosechas, transformación y comercialización.

La Guadua es muy común en las zonas húmedas de la provincia de Manabí (Portoviejo, Santa Ana, 24 de Mayo, Olmedo, Chone, Junín, Pichincha, Puerto López, Paján, un sector de Jipijapa y Manga del Cura), Sin embargo, desde el año 2006 su importancia económica y social está siendo valorada con programas y proyectos implementados por el Gobierno de la Provincia de Manabí. (Moreira, 2010)

En Manabí existen 145.529 hectáreas de bambú con un porcentaje de 24,3% a nivel Nacional. El Ministerio de Agricultura y Ganadería afirma que las principales zonas productoras de bambú se encuentran en la Provincia de Manabí, Cantón Portoviejo, en parroquias como Alhajueta, Abdón Calderón, Chirijos, Crucita, Pueblo Nuevo, Río Chico y San Plácido; tomando a la parroquia Abdón Calderón como zona de estudio se especifica a Bijahual y Miguelillo sitios productores de bambú. El volumen de la caña movilizada por año es de 65 m<sup>3</sup>, que equivalen a 8.986 cañas. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018)

En Manabí, el bambú se ha convertido en el nuevo acero vegetal, por su gran esbeltez y su angosto diámetro de espesor hueco, por su grado de sismo-resistencia y flexibilidad, lo que soporta edificar desde pequeñas a grandes construcciones como galpones (Camino,

2011). Es necesario e imprescindible que el empleo de este material se realice de manera técnica y responsable, combinando lo tradicional con la ciencia y tecnologías modernas (Agencia EFE, 2019)

La caña guadua o caña brava como le llamamos en la Provincia de Manabí, ha sido un recurso muy importante en el desarrollo de nuestros pueblos, ya que desde la época precolombina hasta nuestros días; fue, es y seguirá siendo parte fundamental de nuestra cultura manabita. Es que son muy pocos los recursos naturales que nos dan tantos servicios y alternativas de usos para lograr una vida autosuficiente como lo es la caña guadúa, usos tradicional y culturalmente enraizados en este fértil territorio, tales como; servicios ambientales; conservación de cuencas hídricas, preservadores de lluvia, grandes generadores de oxígeno y retenedores de agua, estabilizadores de pendientes, protectores naturales de riberas de ríos, hábitat de variedades de flora y fauna, climatizadores naturales, gran almacenamiento y fijación de carbono Co<sub>2</sub>. (Camino, 2011)

#### **3.1.4 La caña guadua como materia prima**

La industrialización de la caña guadúa, desde la visión de la sustentabilidad, está enfocada en el eco-diseño. En este sentido, el diseño y construcción proyectan acciones que seleccionan materiales de bajo impacto ambiental, aplican procesos alternativos, optimizan recursos constructivos y una mejora o diferenciación clara de otros de tal manera que se evidencie un desarrollo innovador y creativo.

Si bien es cierto que el procesado de materias primas y la fabricación de los materiales generan un alto coste energético y medioambiental, no es menos cierto que la experiencia ha puesto de relieve que no resulta fácil cambiar el actual sistema de construcción y la utilización irracional de los recursos naturales, donde las prioridades de reciclaje, reutilización y recuperación de materiales, brillan por su ausencia frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales. Por ello, se hace necesario reconsiderar esta preocupante situación de crisis ambiental, buscando la utilización racional de materiales que cumplan sus funciones sin menoscabo del medio ambiente (Arenas, 2000, párr. 10)

La construcción de bambú de culmo completo no se practica extensivamente en todo el mundo, con usos primarios de la construcción tradicional de bambú en Asia, América Latina y África oriental. En Colombia, Trujillo et al. (2013) señaló cinco tipos de bambú Estructuras: construcción tradicional, vivienda social, lujo. Viviendas, edificios de largo recorrido y pasarelas. Adicionalmente, se han construido puentes de vehículos en Colombia y en China. (Stamm, 2002)

En Etiopía, el uso estructural del bambú es parte tradicional en los métodos de construcción y se utiliza en forma de culmo completo y bambú partido con otros materiales. Otros tradicionales Los usos estructurales del bambú de culmo completo incluyen andamios en India, China y Hong Kong. La ventaja de los productos de bambú diseñados es la capacidad de crear secciones estándar para miembros y conexiones, y para reducir la variabilidad dentro de un solo miembro. Bambú en su forma natural es un material ligero que es comparable en fuerza al acero en tensión y al hormigón en compresión. (Ramage, 2016)

La Guadúa *Angustifolia* tiene fibras naturales muy fuertes que la colocan entre las 20 mejores especies de bambúes del mundo. Está demostrado que con ella se pueden desarrollar productos industrializados tales como paneles (aglomerados, laminados, pisos), viviendas y artesanías (Tandazo, 2012, p. 41).

Sobre las características técnicas y físicas sobre la caña guadúa existe información muy actualizada y detallada, una de estas fuentes de información es el documento escrito y validado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, (INEN): la guía práctica del uso del bambú y la caña guadúa, recomendaciones para el uso en la construcción. Nos proporciona insumos para diseñar un sistema constructivo sustentable.

#### **3.1.4.1 Características de la caña guadua en la construcción**

El uso de bambú como material de construcción, ya sea primario, secundario u ocasional es común en las áreas donde el bambú adecuado crece en suficiente cantidad. En la mayoría de los casos, sin embargo, el bambú es combinado con otros materiales de

construcción tales como madera, arcilla, cal, cemento, hierro galvanizado y hojas de palma, de acuerdo con su relativa eficiencia, disponibilidad y costo. El bambú tiene las siguientes características que hacen de él un material conveniente y económico para la construcción tanto de la vivienda como para los andamiajes que facilitan la construcción: (Castiblanco-Rodríguez, 2020)

- Las unidades naturales, varas o cañas de bambú como se las llama, son de medidas y formas que las hacen manuable, almacenables y sistematizables, en forma conveniente y económica.
- Las cañas tienen una estructura física característica que les proporciona alta resistencia con relación a su peso. Son redondas o casi redondas en su sección transversal, ordinariamente huecas y con tabiques transversales rígidos, estratégicamente colocados para evitar la ruptura al curvarse. Dentro de los concentrados en la superficie externa. En esta posición pueden actuar más eficientemente, proporcionándole resistencia mecánica y formando una firme y resistente caparazón.
- La sustancia y la textura de las cañas hace fácil la división a mano en piezas cortas (aserrándolas o cortándolas) o en tiras angostas (hendiéndolas). No se necesitan máquinas costosas, sino solo herramientas simples.
- La superficie natural de muchos bambúes es limpia, dura y lisa, con color atractivo, cuando las cañas han sido convenientemente almacenadas y maduradas.
- Los bambúes tienen poco desperdicio y ninguna corteza que eliminar.

### **3.2 Análisis de la vivienda en caña guadua**

La arquitectura vernácula o también llamada arquitectura sin arquitectos por el arquitecto vienés Bernard Rudofsky, y que también es llamada por otros entendidos del tema como arquitectura indígena o propia de la región, no es más que la respuesta del ser humano a la necesidad de protegerse o guarecerse de la intemperie. (Rivera, et al, 2023)



Según (Ortega y Gasset, 1982) mencionan sobre la arquitectura vernácula lo siguiente. “Aquí tenemos también un arte, la arquitectura, nacida de un modo de mirar, porque de estas mínimas peculiaridades depende a lo mejor el arte de un pueblo, y sus costumbres, y su política, y hasta su manera de entender el cosmos”. Y es que existiendo estas peculiaridades en el cual el hombre construye, lo realiza base a necesidades sin representar movimientos, estilos o tendencias, generando así una cultura identificatoria y que en su construcción se ha denominado arquitectura vernácula.

Rivera et al (2023) explica que: La vivienda tradicional campesina manabita concebida ancestralmente logra reunir diferentes criterios funcionales, formales, estructurales, la necesidad de protegerse, el cultivar, socializar o recrear fueron factores determinantes de la vivienda vernácula la cual concebida como materiales del entorno y bajo técnicas ancestrales indígenas “lograba distinguir y destacar estas comunidades campesinas de la costa.

El factor más relevante de su aspecto técnico es el cambio drástico a inicios del periodo colonial. “el indígena no conocía el clavo, sus edificaciones de caña se unían estructuralmente a través de ensamblajes y los amarres constructivos se realizaban con lianas”. (Camino, 1998).

Pues bajo la conquista española se incorporaron nuevos elementos como instrumentos y herramientas dando una mixtificación de la tipología., involucrándose a los diferentes núcleos urbanos recién desarrollados como una pequeña comunidad y que bajo esa concepción logra determinar el valor vernáculo habitacional destacando en sí la vivienda y el material.

En su concepción como vivienda vernácula específicamente en el sector rural manabita es una vivienda con criterios de crecimiento progresivo, que ante el crecimiento familiar la vivienda se adapta según el número bien necesidades de la familia en sí es una vivienda que bajo sus criterios se va auto construyendo y se proyectan conformación lo requerido y evolución familiar.

El hecho de estar sobre elevada no sólo como factor de protección de riesgo genera una circulación de aire que refresca, bajo el clima característico y manteniendo en su interior un grado de confort óptimo (figura 11). El uso de materiales alternativos como la caña guadúa, maderas, hojas secas, en donde considerando las propiedades físicas-mecánicas de la caña guadúa da resultado una vivienda liviana y que resistente a movimientos telúricos.

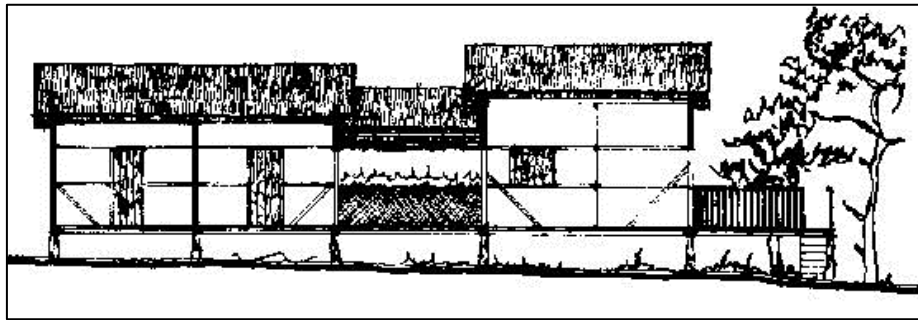


Figura 11 Tipología de vivienda vernácula Manabita Fuente: (Zambrano et al, 2021)

Diferentes son los materiales que logran concebir la estructura base la vivienda vernácula manabita, todos materiales del entorno como diferentes tipos de madera de alta resistencia cómo guayacán, caoba, sándalo, pechiche (entre otras); utilizados como pilotes que se logran ver en planta baja, esta es uno de los materiales más utilizados en este componente. su estructura superior está compuesta por la caña rolliza, adaptándose a diferentes uniones y amarres, y con entresijos de madera o caña picada. Su geometría está determinada por un trazado bidimensional a base de cuadrícula la definición de materiales de estructura y super estructura; así como los revestimientos y acabados busca la momentaneidad de la habitabilidad dado, su sistema estructural es una conformación, agrupación y ensamble de diferentes elementos entre ellos, en donde la definición de su disposición geométrica que permite ampliar o receptar espacios los cuales fueron pensados desde su concepción.

### 3.2.1 Número de viviendas en caña guadua en el Ecuador

Los Censos de Población y Vivienda, realizados en Ecuador en los años 2001 y 2010, traen consigo información referente al tipo de materiales predominantes en las viviendas y son las herramientas que han permitido calcular con certeza el número de viviendas

construidas con caña y, por tanto, en función del número aproximado de miembros de familia, podemos estimar el número de ecuatorianos que viven en casas de caña. (Morán, 2013)

El trabajo de la consultoría de Morán evitó la búsqueda de las viviendas de caña por sus tipologías y para sistematizar la información examinaron los resultados parciales por regiones y por capitales de provincias e integraron los resultados bajo el patrón de “paredes de caña” incluyendo en este, la variante “caña revestida”; para esto prefirieron hacer una integración de resultados en función del concepto de “casas con paredes de caña como material predominante”.

Los siguientes datos muestran los resultados del censo de población y vivienda del 2001 refiriéndose al número de viviendas de bambú por regiones del país. (tabla 5) (figura 12)

<b>CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2001</b>		
<b>REGIONES</b>	<b>N° DE VIVIENDAS DE CAÑA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Costa	221.239	87.05%
Sierra	28.587	11.25%
Oriente/Amazonía	4.262	1.68%
Galápagos	64	0.03%
<b>TOTAL</b>	<b>254.152</b>	<b>100%</b>

*Tabla 5 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2001 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país Fuente: (Morán, 2013)*

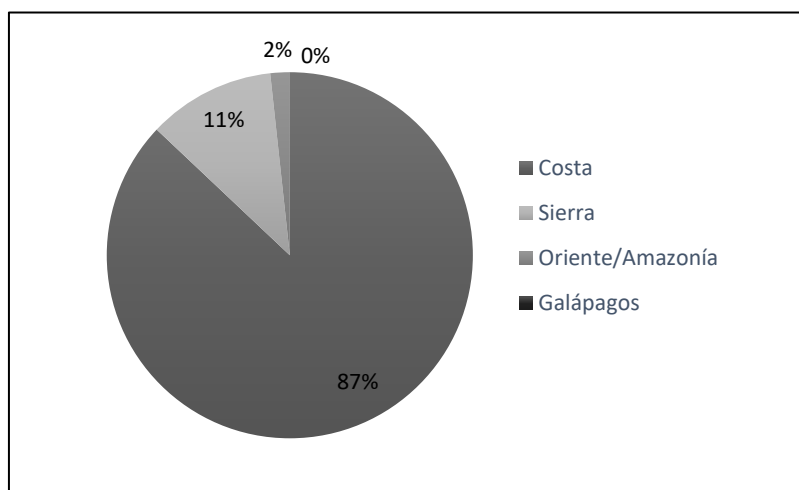


Figura 12 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2001 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país Fuente: (Morán, 2013)

A continuación, se muestran los resultados del censo de población y vivienda del 2010 refiriéndose al número de viviendas de bambú por regiones del país. (tabla 6) (figura 13)

CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2010		
REGIONES	N° DE VIVIENDAS DE CAÑA	PORCENTAJE
Costa	306.883	93.16%
Sierra	18.311	5.56%
Oriente/Amazonía	4.200	1.27%
Galápagos	22	0.01%
<b>TOTAL</b>	<b>329.416</b>	<b>100%</b>

Tabla 6 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2010 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país Fuente: (Morán, 2013)

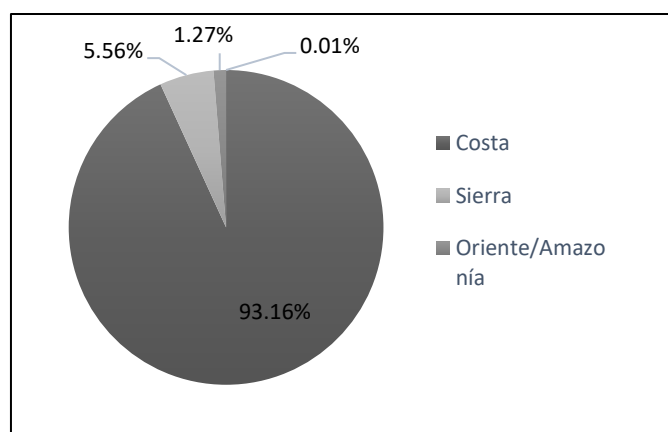


Figura 13 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2010 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país Fuente: (Morán, 2013)

Las tablas y figuras anteriores muestran los resultados en número de casas de caña existentes en cada una de las regiones del país, según los censos del 2001 y del 2010.

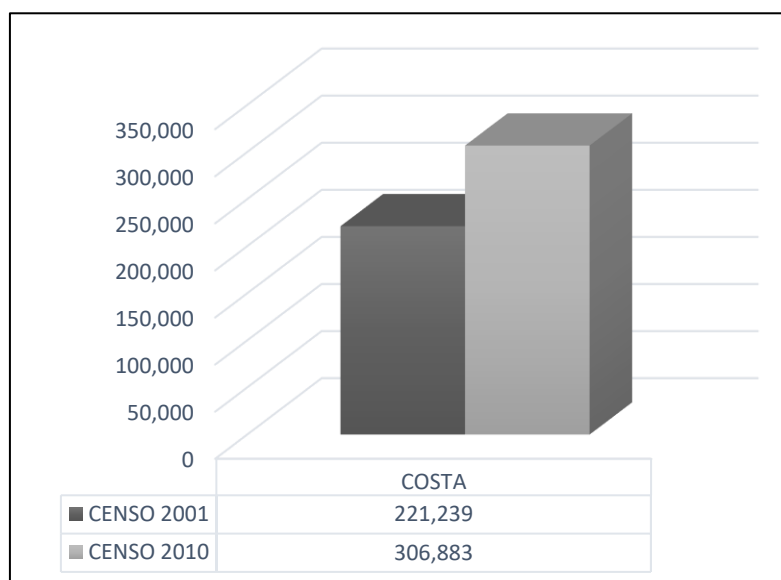
El total de casas de caña en todo el país alcanzó en el 2001 a 254.152 unidades mientras que en el 2010 sumó a 329.416 unidades es decir se presentó un incremento de 75.264 viviendas. (tabla 7)

<b>RESUMEN DEL NUMERO DE VIVIENDAS EN CENSOS 2001 Y 2010</b>			
<b>N° DE VIVIENDAS DE CAÑA</b>		<b>INCREMENTO</b>	<b>PORCENTAJE DE INCREMENTO</b>
<b>CENSO 2001</b>	<b>CENSO 2010</b>		
254.152	329.416	75.264	29.614%

*Tabla 7 Resumen del N°. de viviendas de bambú en censos 201 y 2010 Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)*

### 3.2.2 Número de viviendas en caña guadúa en la Costa ecuatoriana

La región costa, en el periodo ínter censal, aumentó radicalmente el número de viviendas de caña y de 221.239 unidades en el 2001, alcanzó en el 2010 un total de 306.883 unidades es decir aumentó del 87.04% al 93,16 % con respecto a la cantidad de casas de caña en todo el país. (figura 14)



*Figura 14 Casas de caña en la Costa, censos 2001 y 2010 Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)*

Aunque el número de viviendas de caña en el resto de regiones es casi irrelevante, cabe mencionar que las 28.587 unidades registradas en la región Sierra en el 2001 se redujeron a 18.311 en el 2010. (figura 15)

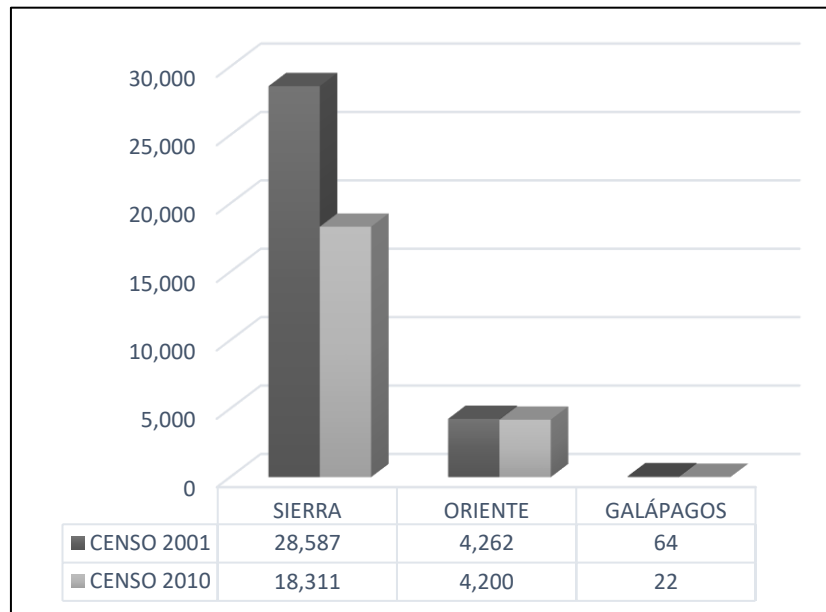


Figura 15 Casas de caña en la Sierra, Oriente y Galápagos, censos 2001 y 2010 Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

A continuación, se muestra el mapa del Ecuador, en donde se indica el número de casas de bambú existentes al 2010 en las seis provincias de la Costa Ecuatoriana. (figura 16)

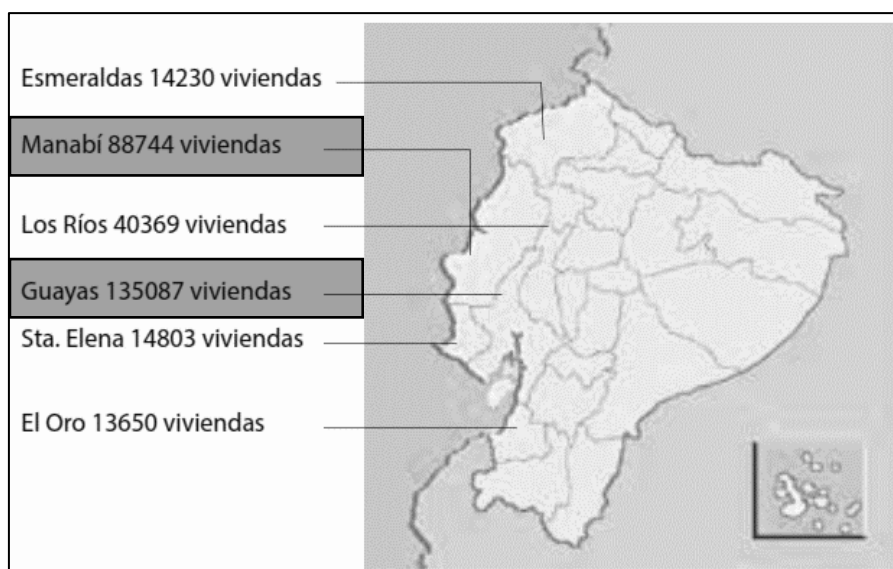


Figura 16 Número de casas de bambú en las provincias de la Costa ecuatoriana Fuente: (Morán, 2013)

### 3.2.3 Número de viviendas en caña guadua en Portoviejo y Guayaquil

A continuación, se analizará el número de viviendas en caña guadua de las capitales de las provincias de Manabí y Guayas; este análisis se lo hace por el siguiente motivo:

- *Guayas*: Localizada en la región litoral del país, al suroeste del mismo. Su capital administrativa es la ciudad de Guayaquil. Es el mayor centro comercial e industrial del Ecuador. Con sus 3,8 millones de habitantes, Guayas es la provincia más poblada del país y contiene el 24,5% de la población de la República, la ciudad de Guayaquil no es sólo la mayor ciudad de la provincia, sino también la mayor ciudad de Ecuador. La provincia toma el nombre del río más caudaloso e importante de su territorio, el río Guayas. (Baños, 2023)
- *Manabí*: Situada al occidente del país. Su capital administrativa y ciudad más poblada es la ciudad de Portoviejo. Ocupa un territorio de unos 19.427 km<sup>2</sup>, siendo la cuarta provincia del país por extensión. Además del territorio continental, pertenecen a la jurisdicción de la provincia la Isla de la Plata y la Isla Salango. En el territorio manabita habitan 1'369.780 personas, según el último censo nacional (2010), siendo la tercera provincia más poblada del país después de Guayas y Pichincha. La Provincia de Manabí está constituida por 22 cantones, con sus respectivas parroquias urbanas y rurales. (Baños, 2023)

En la tabla 8 se muestra la cantidad de viviendas de bambú en Guayaquil y Portoviejo, capitales de las provincias de Guayas y Manabí respectivamente.

CAPITALES DE PROVINCIAS	NÚMERO DE VIVIENDAS DE CAÑA		PORCENTAJE		AUMENTOS Y DISMINUCIONES
	CENSO 2001	CENSO 2010	CENSO 2001	CENSO 2010	
Guayaquil	40.055	60.521	39.80%	60.20%	Aumentó 20.466 casas. Equivalente al 20,4%
Portoviejo	15.792	14.218	52.60%	47.40%	Disminuyó 1.574 casas. Equivalente al 5.20%

Tabla 8 Cantidad de viviendas de bambú en Guayaquil y Portoviejo en censos 2001 y 2010 Fuente: (Morán, 2013)

Como podemos observar, Guayaquil acusa un incremento porcentual del número de casas de caña, de 39.8% al 60.2% es decir 20.4%; mientras que Portoviejo en cambio, denota una disminución porcentual del número de casas de caña, del 52.6% al 43.4% lo que indica que ahora hay un porcentaje menor del 9,2%.

Vemos además que en el 2010 la ciudad que tiene mayor cantidad de viviendas de caña guadua es Guayaquil, con 60.521 casas de caña, lo que permite estimar la cantidad de 302.605 personas que viven no solo en situación de pobreza, sino de riesgo.

En lo referente a la provincia con mayor cantidad de viviendas de caña guadua, podemos decir que la Provincia de Manabí que en el censo del 2001 acusaba 93.550 viviendas de caña, al censo del 2010 ha disminuido a 88.744 unidades, mientras que, la Provincia del Guayas que en 2001 cuantificaba 87.945 unidades ahora contabiliza 135.087 viviendas es decir se ha incrementado notablemente las viviendas de caña en la Provincia del Guayas.

### **3.2.4 Características de la vivienda vernácula manabita**

La arquitectura manabita rural, se basa en mantener un ambiente armónico entre el ser que la habita, los materiales que utiliza y el entorno en el que la edifica.

Manabí es una provincia que conserva sus tradiciones culturales en el ámbito rural ya sea por la presencia de recursos, el sentido común o por la costumbre rutinaria, que forma parte de la propia cultura campesina; se puede decir que, en la mayoría de las viviendas campesinas, que se observan poseen similares características en cuanto a los tipos de espacios.

A pesar de todo se conservaron varias características de las chozas indígenas como el piso elevado sobre puntales y pilares de madera, revestidas de caña guadua y las cubiertas de cañas o cade (hojas de la planta de palma), sin embargo se introdujo en esta vivienda una elemental separación de ambiente con lo que el espacio interior se dividía en dormitorios, cocina y comedor o a veces el dormitorio o el corredor eran bastante espaciosos de 5 a 6



metros de largo, con el objeto de facilitar la colocación y el movimiento de las hamacas utilizadas para el descanso. (Camino, 2014)

### 3.2.4.1 Vivienda vernácula manabita a nivel del suelo

Representa un diseño cuadrado, con un porch exterior como área de reunión familiar o social, y la sala-comedor-cocina relacionados entre sí en forma lineal. Los dormitorios también tienen relación directa entre ellos dos e independientes de las áreas antes mencionadas. Para lograr esta separación entre las zonas de descanso y las zonas sociales y servicios, se adapta funcionalmente una hamaca de descanso y en los dormitorios se coloca caña picada o esterilla en el piso como protección de la humedad, ya que esta tipología por ser a nivel de suelo, los campesinos se ingeniaron esta técnica de usar la caña picada como “baldosa”.

Es importante hacer referencia sobre uno de los mobiliarios íconos y más representativos en estas viviendas vernáculas, como lo es el horno a leña, el mismo que se lo elabora artesanalmente ya sean sus paredes de latillas de caña o madera mismo. En su exterior se adaptaron el área de lavado, tendido de ropa y letrina (Cevallos, 2020). (figura 17)

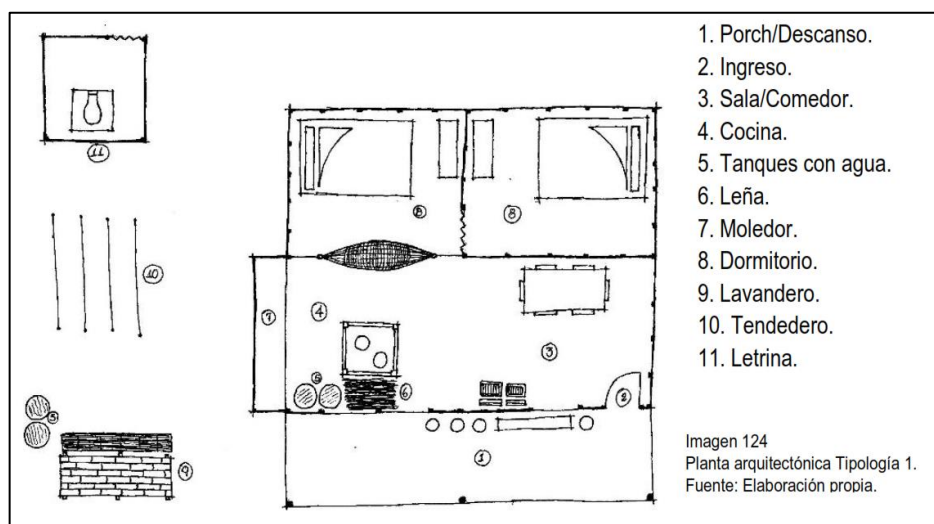


Figura 17 Planta arquitectónica de vivienda manabita al nivel del suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

En lo que concierne a los aspectos constructivos para esta tipología de vivienda se empotra en el suelo natural la cimentación de madera misma donde se ensamblarán los pilares que armarán la estructura y sobre ellos las vigas para luego dar forma al cumbrero, en el que se colocan las tiras de caña o madera y colocar el cade como último paso. (Cevallos, 2020) (figura 18)

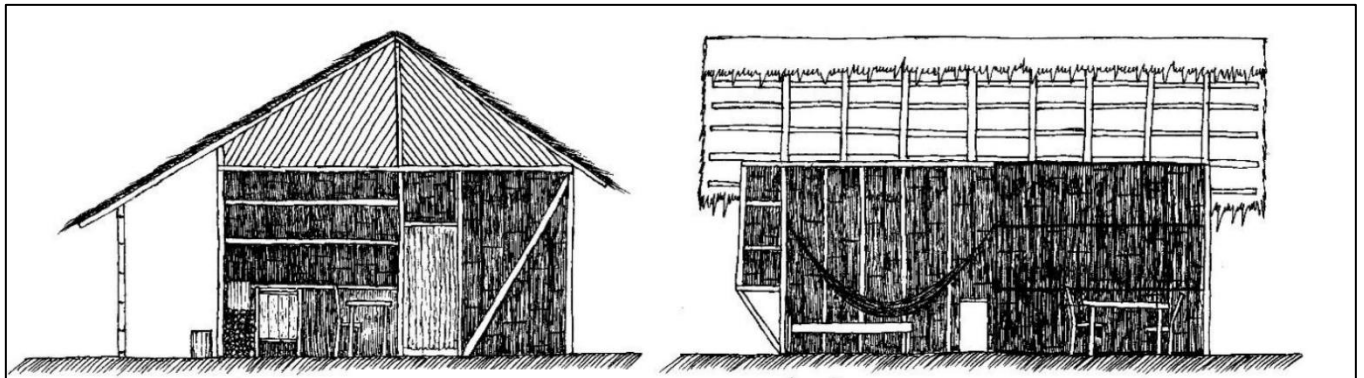


Figura 18 Secciones de vivienda manabita a nivel del suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

El aspecto formal de la tipología en mención presenta una cubierta sencilla, a dos aguas y que, por utilizar el cade como techo, éste necesita buena pendiente para facilitar la corrida del agua lluvia. Las direcciones del agua están dirigidas hacia las fachadas principal y posterior. (Cevallos, 2020) (figura 19)

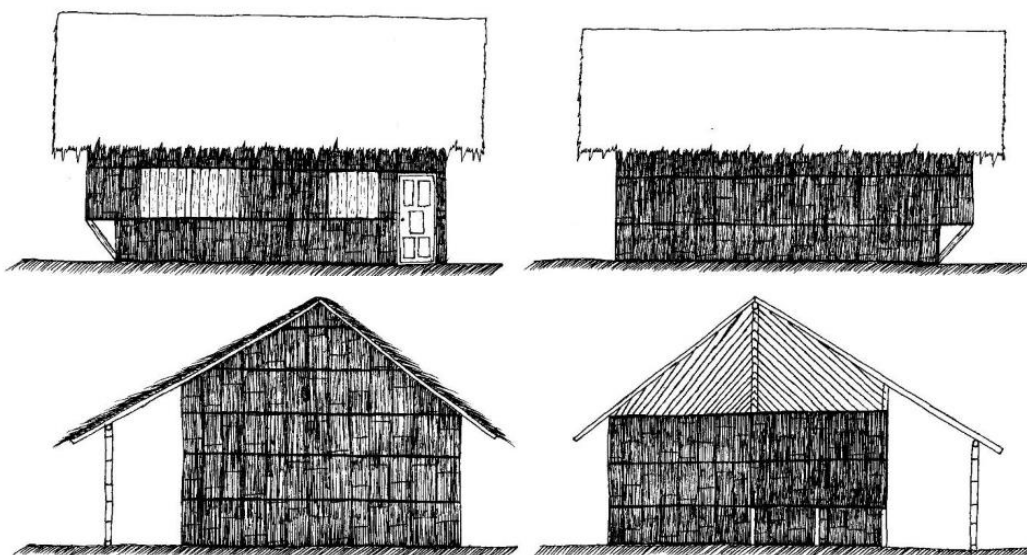


Figura 19 Fachadas de vivienda manabita a nivel del suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

### 3.2.4.2 Vivienda vernácula manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo

Representa un diseño irregular que se va adaptando a la forma del terreno y a la progresividad de ampliación, su elevación se da netamente por fines de seguridad contra animales y de posibles inundaciones en la zona donde se encuentran.

Se accede por medio de una escalera que llega a un balcón o “corredor” que sirve de “estar” familiar; en la parte interior la sala en la mayoría de los casos es la que articula la relación entre los espacios como eje principal; el comedor cuenta siempre con un amplio ventanal para asegura la ventilación e iluminación. Puede estar conectado a la cocina directamente o bien independiente de ella. La cocina cuenta con amplios mesones o “moledores” para la preparación de alimentos y conectada directamente con la azotea. Los dormitorios son amplios, dejando siempre una zona central para circular (Cevallos, 2020). (figura 20)

A diferencia del primer ejemplo de vivienda; esta tipología posee espacios de transición conformados por:

- *El corredor:* que es la primera área que se encuentra llegando a la vivienda desde la fachada principal, dando conexión con la sala y según el diseño puede funcionar también, como un HALL distribuidor.
- *La escalera:* Ubicada siempre sobre la fachada principal y la azotea de manera fija y segura, y en ciertas ocasiones en bodegas de almacenamiento de granos y herramientas de trabajo que por seguridad o evitar el desborde de agua en invierno, éstos deben estar elevados.

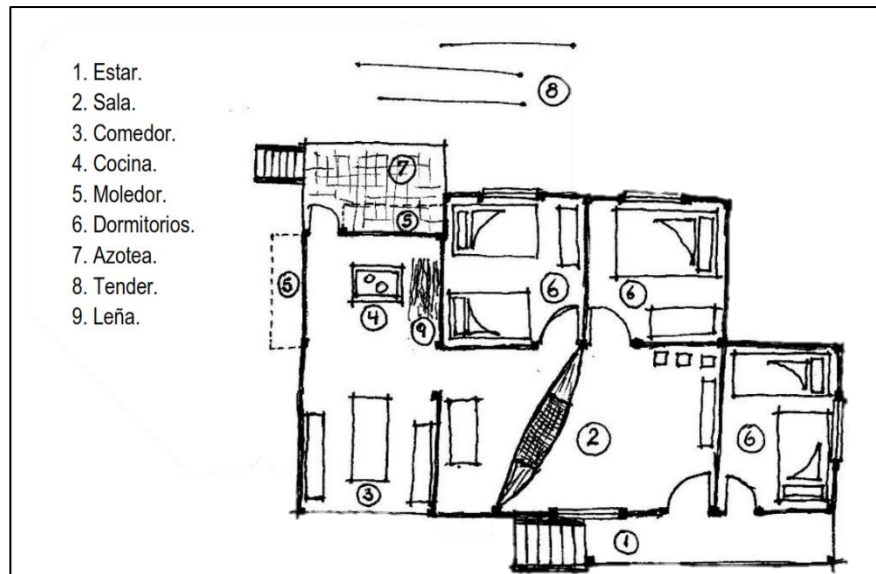


Figura 20 Planta arquitectónica de vivienda manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

En lo que concierne a los aspectos constructivos Cabe señalar que el campesino adapta su vivienda al medio ambiente bajo sus propios criterios, organización, crecimiento progresivo y en general construye su propia vivienda.

En la construcción generalmente se emplea caña picada dispuesta sobre latillas en sentido transversal o perpendicular, todo esto se apoya sobre una estructura de madera o de caña rolliza (entera), su utilización depende de la producción de la región; los cañaverales forman parte del medio ambiente, así como la madera. (Cevallos, 2020) (figura 21)

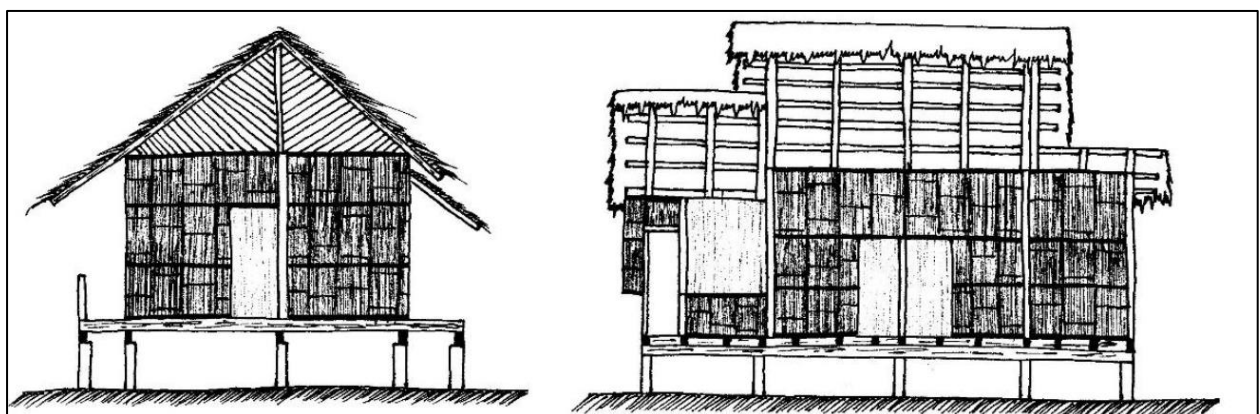


Figura 21 Secciones de vivienda manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

Las fachadas las conforman cañas picadas con “rendijas” que permiten una mayor ventilación en el interior de la vivienda. Las ventanas son aberturas permanentes con

dirección visual al entorno en vista de proteger sus bienes, además que se consigue la suficiente ventilación.

Los materiales utilizados en la construcción de estas viviendas son de tipo orgánico vegetal, con ausencia de superficies lisas. En cuanto a su textura, estrías en la caña y rugosa en la madera con corteza. Podemos anotar que en la arquitectura rural de la costa existe claridad visual, simplicidad, regularidad, verticalidad y elevación palafítica.

Las figuras son simples, sin orientación, los criterios de superposición y yuxtaposición son bien definidos tal como en la organización del espacio, guardando en si un grado de pureza de la forma. (Cevallos, 2020) (figura 22)

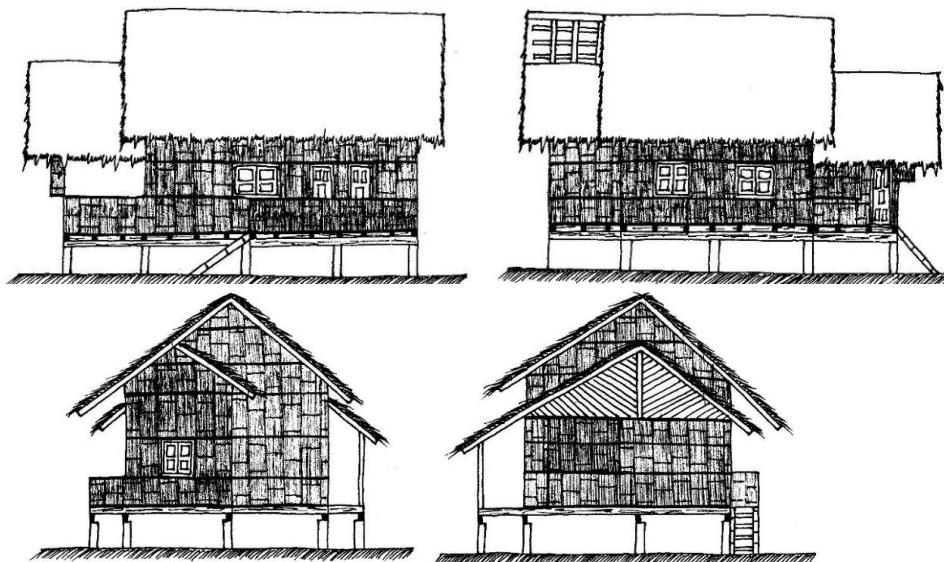


Figura 22 Fachadas de vivienda manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

### 3.2.4.3 Vivienda vernácula manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo

Representa un diseño rectangular que claramente divide sala – comedor – cocinas independientes entre sí, pero entre las dos últimas con una relación más directa. Los dormitorios tienen relación directa el área social (sala) y para cumplir una de las exigencias de nuestros campesinos, que éstos deben estar lejos comedor y cocina.

La planta baja sirve de protección para los animales de corral, aves y para reuniones sociales o familiares. En época de invierno; se la aprovecha para el almacenamiento de

alimento de aves, guardar instrumentos y aislamiento de la humedad (caso de inundación). Cuando estas casas son de pescadores, este espacio sirve para guardar lanchas y aparejos.

La sustitución de materiales o modificaciones; son fáciles de realizar ya que las viviendas son construidas con elementos fáciles de armar y desarmar, además los aumentos se realizan por el crecimiento de la familia y sus necesidades. (Cevallos, 2020). (figura 23)

Esta tipología al igual que la anterior, también posee espacios de transición conformados por:

- *La escalera:* Para esta vivienda la escalera se encuentra ubicada internamente dentro un área llamada ZAGUÁN. La escalera es de madera y cuenta con un primer escalón elevado a entre 15 o 20cm que sirve como descanso. El piso está recubierto con caña picada o esterilla, ya que este zaguán también sirve como almacenamiento de granos como maíz, café o cacao; los mismos que son puestos a secar al sol durante el día.

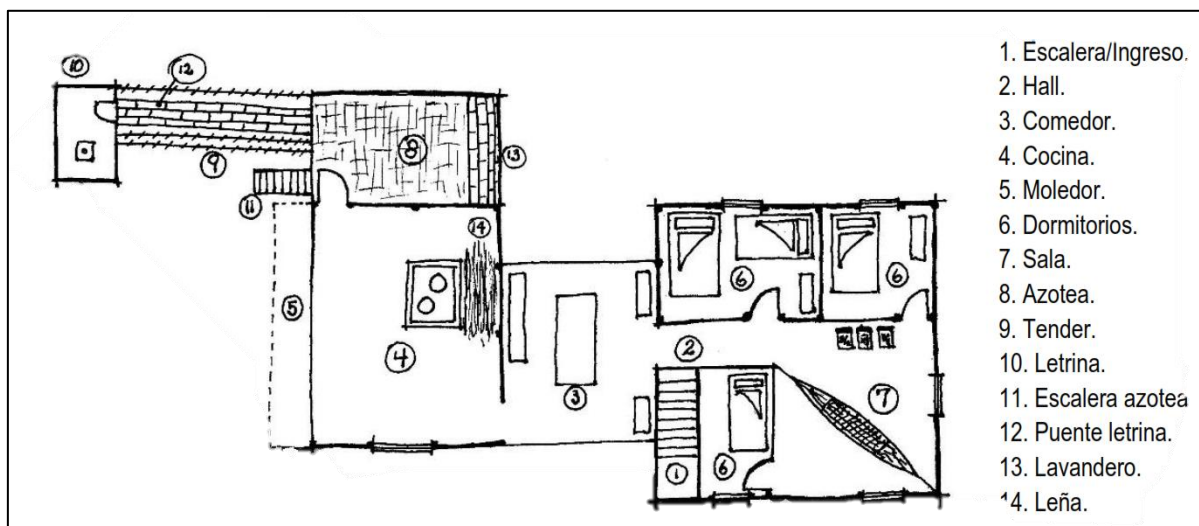


Figura 23 Planta arquitectónica de vivienda manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo  
Fuente: (Cevallos, 2020)

Todo proceso constructivo para este tipo de arquitectura vernácula tiene un proceso similar en su ejecución. Pero en ciertos casos se diferencia en tipología formal y funcional para la casa porque varía es la parte del planteamiento estructural ya que, por ser una

estructura elevada, se debe considerar una madera de mejor calidad. En el caso de este Tipología de Vivienda manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo se utilizó la madera llamada MORAL. (Cevallos, 2020). (figura 24)

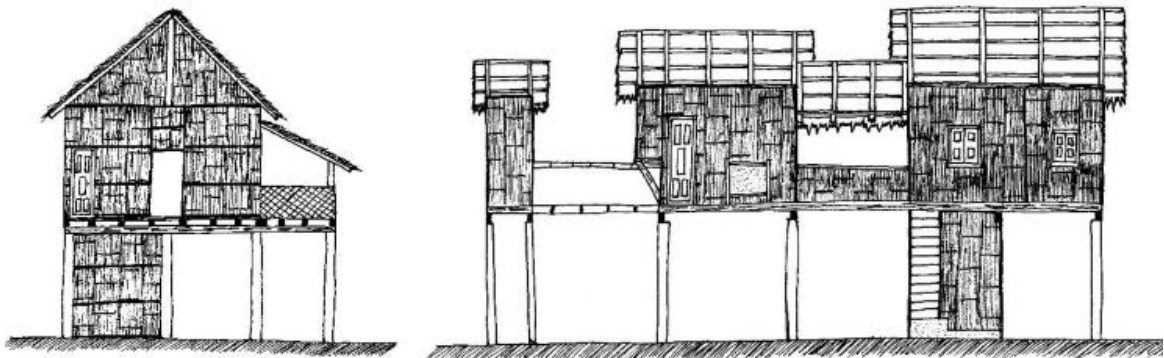


Figura 24 Secciones de vivienda manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

Esta tipología muestra la diferencia en las alturas de la cubierta. La cubierta con mayor altura cubre las áreas de la sala y los dormitorios, la cubierta con altura intermedia cubre el área de la cocina, mientras que la cubierta con menor altura cubre el comedor. Dando así un aspecto llamativo para quienes aprecian la vivienda desde lejos, al observar tres niveles diferentes en su cubierta. (Cevallos, 2020). (figura 25)

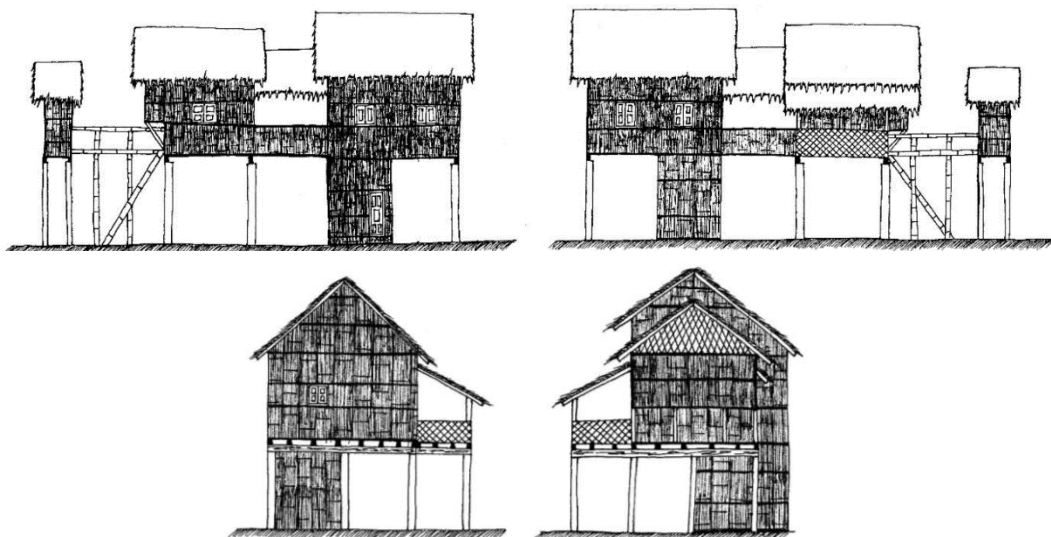


Figura 25 Fachadas de vivienda manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo Fuente: (Cevallos, 2020)

#### 3.2.4.4 Elementos constructivos tipológicos recurrentes en caña guadua

Diferentes son los materiales que logran concebir la estructura base la vivienda vernácula manabita, todos materiales del entorno como diferentes tipos de madera de alta resistencia cómo guayacán, caoba, sándalo, pechiche (entre otras), utilizados como pilotes que se logran ver en planta baja, esta es uno de los materiales más utilizados en este componente. su estructura superior está compuesta por la caña rolliza, adaptándose a diferentes uniones y amarres, y con entresijos de madera o caña picada.

Su geometría está determinada por un trazado bidimensional a base de cuadrícula la definición de materiales de estructura y super estructura; así como los revestimientos y acabados busca la momentaneidad de la habitabilidad dado, su sistema estructural es una conformación, agrupación y ensamble de diferentes elementos entre ellos, en donde la definición de su disposición geométrica que permite ampliar o receptar espacios los cuales fueron pensados desde su concepción. (Rivera et al, 2023).

Para reconocer los elementos constructivos tipológicos de la vivienda manabita en caña guadua, podemos hablar de las generalidades de su proceso constructivo, el cual está compuesto por:

- *Cimentaciones:* Las cimentaciones suelen ser aisladas de piedra (recientemente en hormigón ciclópeo) y sobresalen del suelo para evitar que la madera de la estructura principal se pudra en contacto con la humedad. Al ser edificaciones ligeras, la cimentación no es muy profunda. Hay otra solución de cimentación en la que una plancha de madera va enterrada en el suelo como solera y a ella va unida a caja y espiga, la columna de madera que saldrá del terreno como pilote. (Cevallos, 2020).
- *Estructura Principal:* Estructura de madera sobre pilotes en planta baja. Los pilotes son de madera dura como guayacán, moral, caoba, sándalo, pechiche (entre otras). La estructura superior de laurel o mango de dureza media o caña guadua rolliza (entera). La madera no está tratada, por lo que puede verse



atacada por factores climáticos, hongos, insectos, etc. Los entrepisos son de madera o caña picada. (Cevallos, 2020).

- *Pisos:* El piso es de caña picada, está sobrepuesta a una cuerda de mediacaña, esta cumple la función de las correas estructurales haciendo que el piso de caña picada sea estable para la circulación, aunque también en las viviendas vernáculas un tanto cercanas al sector urbano sí utilizaron diferentes tablones de madera entre ellas se destaca el guayacán. La concepción con piso de caña picada o madera y que respecto a sus propiedades físico-mecánicas mantiene en el interior de la vivienda de caña guadúa un ambiente fresco. (Rivera et al, 2023).
- *Muros/Paredes:* Su envolvente está determinada con material base de la caña guadúa, en la cual a través de un proceso de picado ancestral con machete se genera una plancha que sirven para revestir la vivienda vernácula, considerando lo establecido por La arquitectura vernácula en el medio rural y urbano de Manabí en donde establece que. “Las paredes son de caña picada y delgada para impedir que la humedad se retenga por mucho tiempo y la ventilación de la vivienda debe permitir la circulación del aire por completo, para así eliminar de los ambientes el aire con gran concentración de humedad”. (Sandoval, Machuca, y Cedeño, 2014).

Estos paneles de caña picada se generan, pueden estar recubiertos o no en función de la zona climática, de manera que permiten el paso del aire o conservan el calor interior. El enquinchado, o acción de enquinchar, se realizaba tradicionalmente mediante mezcla de tierra, paja y excrementos de ganado, por lo general respecto a la provincia de Manabí en donde su clima es templado no se suele recubrir bajo otro sistema, salvo en lugares un tanto en alturas como construcciones en montañas, en donde la noche puede ser bastante fría. (Cevallos, 2020).

- *Cubiertas:* Las cubiertas suelen ser a dos aguas, aunque también hay a cuatro; su estructura en si llega a estar compuesta en su totalidad con de caña guadúa rolliza y latillas o de madera (mango o laurel de dureza media). Siendo definidas como cubiertas vegetales ante su respectiva composición. Las cubiertas vegetales se construyen artesanalmente realizándola con vegetación seca o paja, carrizo u hojas de palma (cade) y colocándola en capas que eviten la infiltración del agua lluvia. Cada vez más tejados vegetales son sustituidos por chapas metálicas. (Cevallos, 2020).

Las cubiertas a diferentes aguas o caídas, en su conformación se le realizan diferentes tipos de amarres y acoples formando así una estructura en el cual el pendolón como elemento puntual se conforma con sus diferentes elementos y definiéndose con diferentes corres así como correas para finalmente ser revestidas con cade de hojas de palmas secas, estas cubiertas vegetales se construyen artesanalmente realizando una cubierta con vegetación seca como paja, carrizo u hojas de palma y que se va colocando en diferentes capas con el objetivo de evitar infiltración del agua lluvia. Así mismo estas cubiertas generan un confort eficiente, un factor importante en su concepción es altura, que genera en sí una cámara de aire que beneficia mejorando así también un confort interior. (Rivera et al, 2023).

# CAPÍTULO 4

## ANÁLISIS DE LA NORMATIVA PARA CAÑA GUADÚA



*Bambú:*

*“El acero vegetal para las construcciones  
del siglo XXI”*

## **4 ANÁLISIS DE LA NORMATIVA PARA CAÑA GUADUA**

### **4.1 Norma técnica colombiana: Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth. (NTC-5525)**

En esta norma se especifican 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. (NTC-5525)

Para evaluar la resistencia de guadua a la compresión con muestras inmunizadas y sin inmunizar después de un periodo a diferentes ambientes que afectan el comportamiento de la misma ante cargas axiales, se determina utilizando esta misma norma.

A continuación, detallaremos cada uno de los elementos que esta norma posee y que nos servirá para luego realizar el proceso de experimentación:

#### **4.1.1 Procedimientos Generales**

##### **4.1.1.1 Medición y peso:**

Antes de cada ensayo, se deben medir las dimensiones de cada probeta con una exactitud de:

- 10 mm para la longitud del culmo,
- 1 mm para la longitud o altura de la probeta, paralela al eje del culmo,
- 1 mm para el diámetro del culmo; en cada sección transversal, el diámetro se debe tomar dos veces, en direcciones perpendiculares entre sí;

- 0,1 mm para el espesor de la pared; en cada sección transversal, el espesor de la pared se debe tomar cuatro veces en los mismos sitios en que se midió el diámetro (dos veces).

La probeta se debe pesar con una exactitud de:

- 10 g por culmo;
- 1 g por probeta de más de 100 g, y
- 0,1 g por probeta de menos de 100 g.

#### **4.1.1.2 Temperatura y humedad:**

Para evitar cambios significativos en las propiedades de resistencia, todas las probetas se deben ensayar dentro de un rango de temperatura de  $27\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  y de humedad relativa del aire de  $70\% \pm 5\%$ .

NOTA: Este aspecto permite la comparación de resultados y la replicabilidad de ensayos. Sin embargo, si el propósito de los ensayos es tomar los resultados para uso local en la misma región, o si el laboratorio no puede cumplir las condiciones especificadas anteriormente, las probetas se pueden ensayar a la humedad relativa del aire y la temperatura ambiente. Se deben registrar los valores exactos de la humedad relativa del aire y de la temperatura ambiente y se deben mencionar en el informe del ensayo. En lo posible se recomienda realizar los ensayos en días sin cambios bruscos de temperatura.

#### **4.1.1.3 Velocidad de aplicación de la carga:**

La velocidad de aplicación de la carga de la máquina de ensayo no debe tener una variación superior a  $\pm 20\%$  con respecto a la velocidad especificada para un ensayo determinado. La carga se debe aplicar continuamente, sin interrupción, a la velocidad requerida durante el ensayo. La velocidad de recorrido del cabezal móvil de la máquina de ensayo debe ser la velocidad libre o sin carga del cabezal, en la máquina con funcionamiento mecánico, y la velocidad del cabezal con carga, para máquinas de ensayo de tipo de carga hidráulica.

#### **4.1.1.4 Calibración.**

Todos los dispositivos y equipos de ensayo utilizados para obtener datos se deben calibrar a intervalos suficientes para garantizar la exactitud de los resultados.

#### **4.1.2 Toma de muestras y almacenamiento de las probetas**

Para la *Guadua angustifolia* se debe:

- *En caso de ensayo de las propiedades con propósitos comerciales:* tomar un número representativo de muestras de diferentes localidades, con diferentes condiciones de sitio teniendo en cuenta toda la distribución geográfica de la especie.
- *En caso de investigación científica:* tomar muestras de las localidades determinadas según el propósito de la investigación y mencionadas en el informe de diseño del ensayo.

Para cada localidad, se deben documentar los detalles de cada rodal y culmo y las muestras deben ir debidamente identificadas y rotuladas

#### **4.1.3 Selección.**

Los culmos de *Guadua angustifolia* se deben seleccionar de diferentes rodales en pie, por una persona calificada que pueda identificar la especie y comprender las diferentes implicaciones involucradas en el trozado y en el ensayo. Siempre que sea necesario y conveniente, el responsable del ensayo debe inspeccionar la localidad antes del corte. Para el caso de la investigación científica, los culmos seleccionados para el ensayo deben estar sanos y libres de todo defecto y deben representar el promedio de los culmos del rodal o de la localidad. Para ensayos comerciales, los culmos deben representar la población total que se va a utilizar con propósitos de construcción, incluso si toda la población tiene algunos inconvenientes.

Los culmos quebrados, deteriorados o descoloridos se deben desechar.

El número de culmos requeridos para los ensayos se debe tomar, en forma aleatoria, de los diferentes rodales y parcelas. Para los ensayos comerciales, estos deben tener el mismo estado de maduración.

Inmediatamente después de la selección, el culmo en pie se puede marcar, preferiblemente con una "T", a la altura del pecho y se debe informar al responsable del ensayo sobre la localidad, de manera que se pueda ubicar fácilmente para futuras instrucciones.

#### **4.1.4 Corte, rotulado y trozado**

Antes del corte, se debe marcar un anillo a la altura de un metro desde el suelo, con pintura blanca o negra, y se deben registrar los siguientes datos:

- Nombre (botánico y local).
- Nombre de la localidad.
- Cantidad de rodales y culmos seleccionados.
- Estado de madurez de los culmos.
- Detalles acerca de marcas y defectos en los culmos.
- Número de entrenudos entre el suelo y el anillo de pintura.
- Fecha de corte y despacho.
- Nombre y firma del responsable del corte, rotulado y trozado.

De igual modo, antes del corte, cada culmo se debe identificar a una distancia aproximada de 0,25 m por encima del anillo de pintura; si se usan los dígitos 6 ó 9, se deben subrayar. Los culmos se deben cortar de acuerdo con la NTC 5300 y la normatividad ambiental local, conservando el anillo de pintura sobre el culmo cortado. Una vez derribado el culmo, se deben marcar las partes que serán usadas para los ensayos. Las partes que se van a usar se deben marcar con un anillo en el extremo inferior y la identificación de los culmos se debe repetir en cada una de las partes. También se debe añadir identificación con relación a la posición del segmento en el culmo, "inferior", "medio" o "superior", cada uno

constituyendo 1/3 de la porción utilizable del culmo. Se debe registrar la altura, en metros, de estos segmentos a partir del nivel donde el culmo fue cortado. Solo entonces se debe proceder a trozar el culmo en partes.

#### **4.1.5 Despacho**

Es recomendable que el material se despache tan pronto como sea posible, preferiblemente en un lapso de dos semanas después del corte. En los casos en que no sea posible enviar el material inmediatamente, éste se debe almacenar en un lugar a la sombra, protegido de la lluvia y sin contacto con el suelo. Si existe riesgo de agrietamiento, los extremos se pueden recubrir con alquitrán de hulla, cera de parafina, barniz o cualquier otro recubrimiento apropiado.

Si el propósito de los ensayos es comercial, los especímenes se deben ensayar en condiciones de aire seco. En el caso de investigación científica, los ensayos se pueden hacer en Especímenes húmedos (verdes), en cuyo caso éstos se deben despachar inmediatamente. Debido a que, en muchos países, la Guadua es muy susceptible al ataque de agentes destructivos puede ser necesario un tratamiento profiláctico para mantenerla intacta durante el despacho, tránsito y almacenamiento. El despachador debe volver a revisar todos los detalles del envío particular y firmar y fechar tal envío. Los detalles se deben adjuntar a los documentos del envío.

#### **4.1.6 Recepción y almacenamiento de los culmos de guadua**

En el momento en que el responsable de la prueba recibe el material, debe revisar las particularidades de la identificación de los diferentes culmos y debe conservar un registro apropiado.

Los culmos de guadua se deben almacenar durante un periodo lo más corto que sea posible, de modo tal que no se produzca deterioro.



#### **4.1.7 Rotulado y trozado en probetas**

Se deben cortar probetas para los diferentes ensayos y se deben rotular adecuadamente (número del proyecto, número del envío, cantidad de culmos, etc.) para la completa identificación de cada probeta. La secuencia de ensayos debe ser de tal forma que elimine, en la medida de lo posible, los cambios debidos al almacenamiento y a las condiciones climáticas que pueden afectar la comparación de los resultados. La cantidad de probetas para cada ensayo no debe ser inferior a doce.

#### **4.1.8 Informe del ensayo**

El informe del ensayo debe incluir la siguiente información:

- Nombre y dirección del laboratorio, fecha del ensayo, y nombre del responsable del ensayo.
- Referencia a esta NTC y a las normas nacionales aplicables;
- Detalles de los especímenes de ensayo, como se menciona en el numeral 5.3. de la norma que se estudia.
- Temperatura y humedad del aire en el laboratorio.
- Equipo utilizado y toda información que pueda influir en el uso de los resultados del ensayo.
- Resultados del ensayo, incluyendo los valores del contenido de humedad y la densidad, las dimensiones antes del ensayo, los módulos y/o valores de resistencia, el modo de falla y toda otra información adicional que pueda influir en el uso de los resultados del ensayo (por ejemplo, posición a lo largo del culmo).
- Detalles sobre el tratamiento estadístico de los resultados del ensayo, incluyendo los métodos empleados y los resultados obtenidos; la exactitud de un valor medio debe ser la mitad de la desviación estándar y la exactitud de una desviación estándar debe ser la mitad de su propia desviación estándar.
- Datos sobre el ajuste a un contenido de humedad de 12 %, si aplica.

#### **4.1.9 Contenido de humedad:**

##### **4.1.9.1 Objeto y campo de aplicación:**

Esta sección especifica un método para determinar el contenido de humedad de la *Guadua angustifolia* para los ensayos físicos y mecánicos.

##### **4.1.9.2 Principio**

Determinación, mediante el pesaje, de la pérdida de masa de la probeta de ensayo durante el secado hasta una masa constante. Cálculo de la pérdida de masa como un porcentaje de la masa de la probeta de ensayo después del secado.

##### **4.1.9.3 Equipo**

- *Balanza:* Con una exactitud de 0.01 g.
- *Equipo con capacidad para secar la guadua:* Hasta obtener una condición absolutamente seca, por ejemplo, un horno eléctrico.
- *Equipo para garantizar la retención de humedad en la probeta:* Por ejemplo, frascos con cuellos de vidrio esmerilado y tapones que garanticen un sello hermético.

##### **4.1.9.4 Preparación de las probetas**

Las probetas para la determinación del contenido de humedad se deben preparar inmediatamente después de cada ensayo mecánico. La cantidad de probetas debe ser igual a la cantidad de probetas para los ensayos mecánicos y físicos. La forma de la probeta debe ser prismática, con anchura aproximada de 25 mm y altura de 25 mm y con espesor igual al espesor de la pared. Las muestras se deben tomar cerca del lugar de la falla y almacenar en condiciones que garanticen que el contenido de humedad no cambie.

##### **4.1.9.5 Procedimiento**

- Las probetas se deben pesar con una exactitud de 0,01 g y luego se deben secar en un horno temperatura de  $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .

- Después de 24 h, se debe registrar la masa a intervalos regulares no inferiores a 2 h. Se debe tener mucho cuidado para evitar todo cambio en el contenido de humedad durante el periodo entre el retiro del horno y las determinaciones posteriores de la masa.
- El secado se debe considerar terminado cuando la diferencia entre las determinaciones sucesivas de la masa no excede 0,01 g.

#### **4.1.9.6 Cálculo y expresión de los resultados**

El contenido de humedad (CH) de cada probeta se debe calcular como la pérdida de masa, expresada como porcentaje de la masa seca en horno, usando la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} \times 100$$

Donde;            m= masa de la probeta antes de ingresar al horno

                          m<sub>o</sub> = masa de la probeta después de salir del horno

Cada una con una exactitud de 0,01 g. El CH se debe calcular con una exactitud de un décimo de porcentaje. Este CH se debe tomar como representativo del CH de la probeta ensayada como un todo. La media aritmética de los resultados obtenidos a partir de probetas individuales se debe registrar como el valor medio del contenido de humedad de las probetas ensayadas.

#### **4.1.9.7 Informe del ensayo**

Los resultados se deben mencionar en el informe del ensayo (véase el numeral 4.1.8)

#### **4.1.10 Densidad:**

##### **4.1.10.1 Objeto y campo de aplicación:**

Esta sección especifica un método para determinar la densidad (masa / volumen) de la guadua para los ensayos físicos y mecánicos. Para la comparación exacta entre los valores reportados, la formula masa / volumen es la más apropiada en donde se utiliza la masa

anhidra y el volumen húmedo (verde) los cuales no varían con respecto a las condiciones climáticas. El símbolo es  $p$

Si la densidad se va a registrar con el contenido de humedad de la probeta, la masa se toma como la masa anhidra y sólo se toma el volumen con el contenido de humedad de la probeta. El símbolo es  $p_0$ .

#### **4.1.10.2 Principio**

Determinación de la masa de la probeta mediante pesaje y de su volumen mediante la medición de sus dimensiones o con cualquier otro método. Cálculo de la masa por unidad de volumen de Guadua.

#### **4.1.10.3 Equipo**

- *Instrumento de medición:* Con capacidad para determinar las dimensiones de las probetas con una exactitud de 0,1 mm
- *Balanza:* Con una exactitud de 0.01 g.
- *Equipo:* Para la determinación del contenido de humedad, según lo indicado en el numeral 4.1.9.3. de este documento.

#### **4.1.10.4 Preparación de las probetas**

Las probetas se deben preparar según lo indicado en el numeral 4.1.9.4. de este documento. Para la determinación de la masa por unidad de volumen, también se permite preparar la muestra de ensayo a partir de una sección transversal total de las probetas, siempre y cuando el volumen se pueda medir con facilidad

#### **4.1.10.5 Procedimiento**

- Mida las dimensiones de las probetas con exactitud de 0,1 mm y calcule el volumen o determínelo con un método adecuado (por ejemplo, mediante inmersión), con una exactitud de  $10 \text{ mm}^3$ . Realice este procedimiento en condición húmeda (verde) o con el contenido de humedad durante el ensayo

mecánico, según se requiera. En el último caso, determine el contenido de humedad según el numeral 4.1.9. de este documento.

- Seque las probetas hasta obtener una masa constante (véase el numeral 4.1.9.5. de este documento), pero hágalo gradualmente para minimizar la deformación y el fisurado.
- Realice las operaciones de pesaje inmediatamente después del secado
- Determine la masa de las probetas con una exactitud de 0,01 g.

#### **4.1.10.6 Cálculo y expresión de los resultados**

La densidad (masa, seca en horno, por unidad de volumen) de cada probeta se obtiene con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{m}{V} \times 10^6$$

Donde; P= densidad en Kg/m<sup>3</sup>

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

V = volumen húmedo (verde) de la probeta, en mm<sup>3</sup>

Expresar los resultados en kg/m. La densidad po de cada probeta en la misma condición que durante el ensayo, está determinada por la misma fórmula, con m anhidra y V en la condición durante el ensayo. Calcule, con una exactitud de 10 kg/m<sup>3</sup>, la media aritmética de los resultados obtenidos para las probetas individuales y registre este valor como el promedio de la densidad de las probetas ensayadas.

#### **4.1.10.7 Informe del ensayo**

El informe del ensayo se debe hacer de acuerdo con el numeral 4.1.8. de este documento.

#### **4.1.11 Contracción:**

##### **4.1.11.1 Objeto y campo de aplicación:**

Esta sección especifica un método para determinar la contracción de culmos completos de guadua.

##### **4.1.11.1 Principio**

Determinación de la contracción de un entrenudo (sin incluir los nudos), midiendo el diámetro externo, el espesor de la pared y la altura, antes y después del secado.

##### **4.1.11.2 Equipo**

- *Micrómetro:* Para la medición, como se indica en el numeral 4.1.1.1. de este documento.
- *Equipo con capacidad para secar la guadua:* Hasta obtener una condición absolutamente seca, por ejemplo, un horno eléctrico.

##### **4.1.11.3 Preparación de las probetas**

Las probetas, con una altura de 100 mm, se deben preparar a partir de secciones, que no incluyan nudos, tomadas de culmos completos de guadua. En el caso de ensayos de compresión, corte y tensión, las muestras para el ensayo de contracción se deben tomar lo más cerca posible de las muestras tomadas para compresión, corte y tensión. En el caso de ensayos de flexión, se deben tomar lo más cerca posible del sitio de falla. En cada caso, deben estar libres de grietas iniciales. Si los ensayos de contracción se hacen independientemente de otros ensayos, las muestras de ensayo se deben tomar de la sección más inferior del culmo.

##### **4.1.11.4 Procedimiento**

- La contracción se debe medir en el diámetro externo  $D$ , en el espesor de la pared  $t$  y en la longitud  $L$  de la probeta.
- Se deben hacer marcas adecuadas en la probeta para facilitar que todas las observaciones se realicen cada vez del mismo lugar. En cada probeta, se deben

medir 4 diámetros, 4 espesores de pared (dos en cada extremo) y 2 longitudes. Se debe permitir que la probeta se seque lentamente en condiciones de humedad gradualmente decreciente y temperatura creciente. Las masas y las dimensiones se deben registrar con regularidad hasta que las dimensiones sean constantes o se termine un ciclo completo de secado.

- Por último, las probetas se deben poner en un horno con temperatura aproximada de  $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , de tal forma que se sequen completamente (como se indica en el numeral 4.1.9.5. de este documento), después de lo cual, se deben tomar las dimensiones por última vez.

#### **4.1.11.5 Cálculo y expresión de los resultados**

La contracción desde la condición inicial húmeda hasta la condición final seca, expresada como porcentaje ajustado a una cifra decimal, se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$\frac{I - F}{I} \times 100$$

Donde; I = lectura inicial

F = lectura final

Cada lectura es el valor promedio del diámetro, el espesor de la pared o la longitud, con una exactitud como la indicada en el numeral 4.1.1.1. de este documento.

#### **4.1.11.6 Informe del ensayo**

El informe del ensayo se debe hacer de acuerdo con el numeral 4.1.8. Debe contener las dimensiones iniciales y finales, así como el contenido de humedad, una descripción de los defectos desarrollados en la probeta durante la contracción y los resultados de los cálculos.

## 4.1.12 Compresión

### 4.1.12.1 Objeto y campo de aplicación:

Esta sección especifica un método para los ensayos de compresión axial en probetas de culmos de *Guadua angustifolia* Kunth:

### 4.1.12.2 Principio

Determinación de:

- El esfuerzo último de compresión de las probetas provenientes de los culmos de *Guadua angustifolia*;
- El módulo nominal de elasticidad.

### 4.1.12.3 Equipo

Los ensayos se deben realizar en una máquina adecuada para ellos. Al menos una pletina de la máquina debe tener un apoyo hemisférico para obtener una distribución uniforme de la carga en los extremos de la probeta, como se ilustra en la figura 26. Entre las dos pletinas de acero de la máquina y los dos extremos de la muestra se debe colocar una capa intermedia para reducir a un mínimo la fricción.

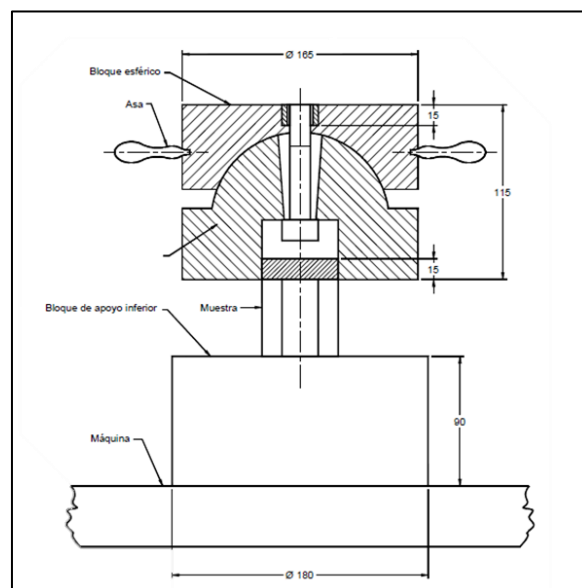


Figura 26 Máquina de compresión Fuente: (Norma Técnica Colombiana 5525, 2007)



## **Preparación de las probetas**

- Las probetas se deben tomar de las partes inferior, media y superior de cada culmo. Estas probetas se deben marcar con las letras I, M y S respectivamente.
- Los ensayos de compresión axial se deben llevar a cabo en probetas sin nudos y cuya longitud sea igual al diámetro externo; no obstante, si éste es de 20 mm o menos, la altura debe ser el doble del diámetro externo. Estas limitaciones son válidas en el caso de ensayos con propósitos comerciales; en el caso de los ensayos para investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.
- Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo perfectamente recto con la longitud de ésta; deben ser planos, con una desviación máxima de 0,2 mm.
- Para determinar el módulo de elasticidad E, se debe usar alguno de los siguientes instrumentos de medición: deformímetros eléctricos, mecánicos, electromecánicos, de imagen digital, mínimo dos por probeta, cada uno de ellos en el lado opuesto de la probeta.

### **4.1.12.4 Procedimiento**

- La probeta se debe colocar de tal forma que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplica inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1 kN, para acomodar la probeta.
- La carga se debe aplicar continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s.
- Cuando sea necesario se deben realizar lecturas de deformación la cantidad necesaria de veces para poder hacer un diagrama lo más exacto posible de la deformación frente a la carga, a partir de la cual se determina el valor de E.
- Se debe registrar la lectura final de la carga máxima a la cual falla la probeta.

#### 4.1.12.5 Cálculo y expresión de los resultados.

- *Esfuerzo último:* El esfuerzo último de compresión se debe determinar con la siguiente fórmula:

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

Donde; A= área de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>

$\delta_{ult}$  = es el esfuerzo último de compresión. MPa o (N/mm<sup>2</sup>), redondeado con aproximación de 0.5MPa

F<sub>ult</sub>= es la carga máxima a la cual falla la probeta. En N

- *Módulo de elasticidad E:* El módulo de elasticidad E se debe calcular a partir del valor medio de las lecturas de los deformímetros como una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, en un rango entre el 10 % y el 60 % de F<sub>ult</sub>
- *Esfuerzo último promedio:* El esfuerzo último promedio de la muestra de ensayo se debe calcular con aproximación de 0,5 MPa como la media aritmética de los resultados de ensayo de las probetas.

#### 4.1.12.6 Informe del ensayo.

El informe del ensayo se debe hacer según el numeral 4.1.8. de este documento. El contenido de humedad y la densidad se deben determinar según las secciones 4.1.9 y 4.1.10 respectivamente.

#### 4.1.13 Flexión:

##### 4.1.13.1 Objeto y campo de aplicación:

Esta sección especifica un método para los ensayos de flexión en los culmos de guadua.

##### 4.1.13.2 Principio

Determinación de:

- La capacidad de flexión de los culmos usando un ensayo de flexión de cuatro puntos, tal como se describe en el numeral 4.1.13.5. de este documento.
- La curva de carga frente a la deflexión vertical
- El módulo de elasticidad nominal del culmo.

#### 4.1.13.3 Equipo

- *Máquina de ensayo:* Con capacidad para medir la carga con exactitud de 1 % de la escala utilizada y la deflexión con exactitud de mm
- *Montaje para flexionar el culmo:* Aplicando una carga en la distancia media entre los centros de las monturas del dispositivo de carga. El ensayo debe ser de flexión de cuatro puntos. La carga se debe dividir en dos mitades mediante una viga apropiada. Para evitar el aplastamiento del culmo, las mitades de las cargas y las fuerzas de reacción en los soportes se deben aplicar en los nudos mediante los dispositivos apropiados. En los soportes, se debe permitir que el culmo de guadua rote libremente. (figura 27)

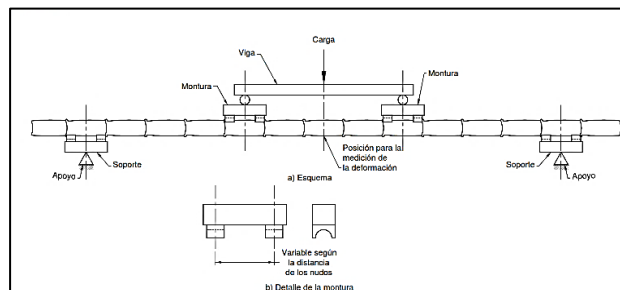


Figura 27 Esquema del ensayo de flexión Fuente: (Norma Técnica Colombiana 5525, 2007)

#### 4.1.13.4 Preparación de los culmos de ensayo

Los culmos de ensayo no deben tener defectos visibles. Para lograr una falla en flexión, el espacio libre debe ser al menos  $30 \times D$ , donde  $D$  es el diámetro externo como se indicó en el numeral 4.1.1.1.

La longitud total del culmo debe ser la longitud entre apoyos más una longitud adicional que garantice al menos un entrenudo después del apoyo en cada extremo.

#### 4.1.13.5 Procedimiento

- Determine el valor medio del diámetro externo D y del espesor de la pared t, según lo indicado en el numeral 4.2.1. Calcule el momento de inercia:

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

NOTA: Este valor de IB se usa para predecir el comportamiento durante el ensayo.

- Coloque el culmo en su lugar en la máquina de ensayo, apoyado sobre los dos soportes en los dos apoyos, permitiendo que la probeta encuentre su propia posición. Enseguida ubique las dos monturas y la viga (que divide la carga) en la parte superior del culmo y permita nuevamente que el culmo encuentre su posición, alinee visualmente el culmo, los soportes, las monturas, la carga y los apoyos en un plano vertical.
- La aplicación de la carga al culmo se debe hacer uniformemente a velocidad constante. La velocidad de ensayo (preferiblemente con movimiento constante del cabezal de carga de la máquina o con incremento constante de carga) debe ser de 0,5 mm/s. La carga máxima se debe determinar con la exactitud indicada en el numeral 4.1.13.3. de este documento (máquina de ensayo). Observe las grietas y describa la forma de la falla. Diagrame la deflexión con relación a la carga.
- Después del ensayo determine nuevamente el diámetro externo D y el espesor de la pared t, lo más cerca posible de los puntos de carga. El promedio de los valores de diámetro y de los espesores de pared se debe usar para calcular el momento de inercia  $I_{B1}$ , con la fórmula del numeral 4.1.13.5.
- Determine el contenido de humedad de acuerdo con el numeral 4.1.9. utilizando una probeta proveniente de un punto cercano a la falla.

#### 4.1.13.6 Cálculo y expresión de los resultados

- La resistencia última,  $\sigma_{ult}$ , en MPa (o N/mm<sup>2</sup>), en la flexión estática con el contenido de humedad en el momento del ensayo está determinado por la siguiente fórmula:

$$\delta_{ult} = F \times L \times \frac{D}{6} \times I_B$$

Donde; F = carga máxima aplicada, en N (la carga total aplicada en los dos puntos de carga)

L = es la luz en mm, (o espacio de separación)

D = es el diámetro externo, en mm, tal como se indica en el numeral 4.1.13.5. de este documento.

$I_B$  = es momento de inercia en mm<sup>4</sup>, tal como se indica en el numeral 4.1.13.5. de este documento.

Expresar los resultados con una exactitud de 1 MPa (o N/mm<sup>2</sup>).

- El módulo de elasticidad (módulo de Young) está determinado por la pendiente de la parte lineal del diagrama de deformación frente a la carga.

El módulo de elasticidad E, en MPa, se calcula usando la siguiente fórmula:

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

Donde; F, L,  $I_B$  = son iguales a la fórmula de resistencia última

$\delta$  = deflexión en el punto medio de la luz en mm

Realice un diagrama de la deflexión frente a la carga.

- Si hay suficientes datos (acerca de la relación entre las propiedades mecánicas y el contenido de humedad), la resistencia última en la flexión estática se debe ajustar hasta 12 % del contenido de humedad, con una exactitud de 1 MPa.
- La resistencia última media de la muestra y su desviación estándar se debe calcular, con una exactitud de 1 MPa, a partir de los resultados de los culmos individuales de la muestra.

#### **4.1.13.7 Informe del ensayo**

El informe del ensayo se debe hacer según el numeral 4.1.8. El informe también debe incluir la siguiente información:

- Los resultados del ensayo tal y como se calcularon en el numeral 4.1.13.6. de este documento.
- Las dimensiones de los culmos y la luz
- Los diagramas de deflexión frente a la carga
- Los valores para  $\delta_{ult}$  y E para cada culmo.

El contenido de humedad y la densidad se deben determinar según las secciones 4.1.9 y 4.1.10 respectivamente.

#### **4.1.14 Corte.**

##### **4.1.14.1 Objeto y campo de aplicación:**

Esta sección especifica un método para los ensayos de corte paralelo a las fibras en probetas de culmos de *Guadua angustifolia*.

##### **4.1.14.2 Principio**

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

#### 4.1.14.3 Equipo

- Los ensayos se deben realizar en una máquina de compresión tal como se indicó en el numeral 4.1.12. sin las capas intermedias descritas en el numeral 5.1.12.3. En su lugar, la probeta se debe apoyar en el extremo inferior, sobre dos cuartas partes de su superficie, opuestas entre sí; y se debe aplicar la carga en el extremo superior, sobre las dos cuartas partes que no están apoyadas (figura 28). Esta forma de apoyar y aplicar la carga a la probeta produce cuatro áreas de corte.

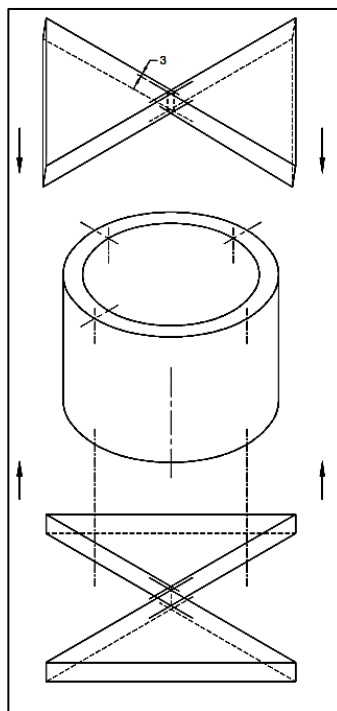


Figura 28 Ensayo de corte Fuente: (Norma Técnica Colombiana 5525, 2007)

#### 4.1.14.4 Preparación de las probetas

Las muestras se deben tomar de las partes inferior, media y superior de cada culmo. Estas muestras se deben marcar con las letras I, M y S respectivamente

El 50 % de las probetas para los ensayos de corte paralelos a la fibra deben tener nudo y el 50 % restante no deben tener nudo. La longitud de la probeta debe ser igual a su diámetro. Estas limitaciones son válidas en caso de ensayos con propósitos comerciales; en caso de investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo recto con la longitud de ésta. Las superficies deben ser planas.

El espesor de pared  $t$  y la altura  $L$  de la probeta se deben tomar en las cuatro áreas de corte.

#### 4.1.14.5 Procedimiento

- La probeta se debe colocar de manera tal que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la misma. La probeta también debe estar centrada con relación a los cuartos de soporte y de carga. Inicialmente se aplica una carga pequeña, no superior a 1 kN, para acomodar la probeta.
- La carga se debe aplicar continuamente durante la prueba para lograr que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s.
- Se debe registrar la lectura final de la carga máxima en la cual falló la probeta, así como la cantidad de áreas que fallaron.

#### 4.1.14.6 Cálculo y expresión de los resultados

- *La resistencia última de corte* se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$t_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(txL)}$$

Donde;  $t_{ult}$ = resistencia última al corte. En MPa con aproximación por exceso o defecto de una cifra decimal

$F_{ult}$ = es el valor máximo de la carga aplicada a la cual falla la probeta. En N

$\sum(txL)$ = es la suma de los cuatro productos de  $t$  y  $L$ .



#### **4.1.14.7 Informe del ensayo**

El informe del ensayo se debe hacer según el numeral 4.1.8. de este documento; el contenido de humedad y la densidad se deben determinar según los numerales 4.1.9 y 4.1.10

#### **4.1.15 Tensión.**

##### **4.1.15.1 Objeto y campo de aplicación:**

Esta sección especifica un método para los ensayos de tensión paralela a las fibras en una sección longitudinal tomada de culmos de guadua.

##### **4.1.15.2 Principio**

Determinación de la resistencia última a la tensión, paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta.

##### **4.1.15.3 Equipo**

- Los sujetadores de la máquina de ensayo deben asegurar que la carga se aplique a lo largo del eje longitudinal de la probeta y deben evitar la torsión longitudinal de ésta. Los sujetadores deben sostener la probeta perpendicular a las fibras y en dirección radial.
- La carga se debe aplicar continuamente durante todo el ensayo a una velocidad de movimiento del cabezal móvil de 0,01 mm/s. La carga se debe medir con exactitud del 1 % de la escala utilizada.
- Las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta se deben medir con una exactitud de 0,1 mm

##### **4.1.15.4 Preparación de las probetas**

Las muestras se deben tomar de las partes inferior, media y superior de cada culmo. Estas muestras se deben marcar con las letras I, M y S respectivamente

Los ensayos de tensión paralela a las fibras se deben hacer en probetas con un nudo, que debe estar en la porción de ensayo. Esta limitación es válida en caso de ensayos con

propósitos comerciales; en caso de investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

La dirección general de las fibras debe ser paralela al eje longitudinal de la porción de ensayo de la probeta. La porción de ensayo debe tener una sección transversal rectangular cuyas dimensiones sean iguales al espesor de la pared o menor en la dirección radial; y de 10 mm a 20 mm en la dirección tangencial. La longitud de la porción de ensayo debe estar entre 50 mm y 100 mm (figura 29)

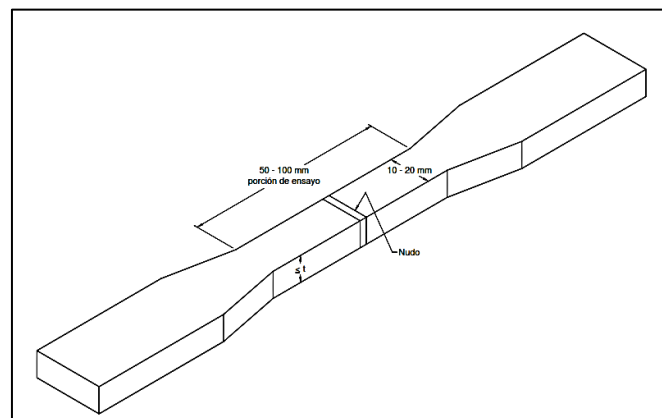


Figura 29 Ejemplo de probeta para ensayo de tensión Fuente: (Norma Técnica Colombiana 5525, 2007)

Los extremos de las probetas deben tener una forma tal que garantice que la falla se produce en la porción de ensayo y que minimice la concentración del esfuerzo en el área de transición. Se permite usar probetas con extremos laminados.

Para determinar el módulo de elasticidad E, se debe usar alguno de los siguientes instrumentos de medición: deformímetros eléctricos, mecánicos, electromecánicos, de imagen digital, mínimo dos por probeta, cada uno de ellos en el lado opuesto de la probeta.

#### 4.1.15.5 Procedimiento

- Mida las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta con una exactitud de 0,1 mm, en tres lugares de la porción de ensayo, y calcule el valor medio.
- Asegure los extremos de la probeta entre los sujetadores de la máquina de ensayo, a una distancia segura desde la porción de ensayo. Aplique la carga a

velocidad constante. Lea la carga máxima. Deseche los resultados obtenidos en probetas cuya falla se produzca fuera de la porción de ensayo. Después de la prueba, determine el contenido de humedad.

- Cuando sea necesario se deben realizar lecturas de deformación la cantidad necesaria de veces para poder hacer un diagrama lo más exacto posible de la deformación frente a la carga, a partir de la cual se calcula el valor de E.

#### 4.1.15.6 Cálculo y expresión de los resultados

- *La resistencia máxima de tensión* se debe determinar con la siguiente fórmula:

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

Donde;  $\delta_{ult}$  = es el esfuerzo último de compresión. MPa o (N/mm<sup>2</sup>), con aproximación de un Mpa entero

$F_{ult}$  = es el valor de aplicada en la cual falla la probeta.

En N

A = es el área media de la sección transversal de la porción de ensayo, expresada en mm<sup>2</sup>

- El módulo de elasticidad E se debe calcular a partir del valor medio de las lecturas de los deformímetros como una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, en un rango entre el 10 % y el 60 % de  $F_{ult}$ .

#### 4.1.15.7 Informe del ensayo

El informe del ensayo se debe elaborar según el numeral 4.1.8; el contenido de humedad y la densidad se deben determinar según los numerales 4.1.9 y 4.1.10

Como pudimos observar, esta norma está organizada de modo tal que proporciona los requisitos específicos para los ensayos normalizados que se han de realizar para determinar

las propiedades de la Guadua angustifolia como material de ingeniería o de construcción. El manual para el personal de laboratorio, ISO / TR 22157-2, es complementario de esta norma.

#### **4.2 Norma Ecuatoriana de la construcción para estructuras de guadua (GAK). NEC-SE-GUADUA**

Esta norma está dirigida al diseño estructural de edificaciones con Guadua angustifolia Kunth (GaK) y otros bambúes de similares características físico – mecánicas, de hasta dos niveles o pisos, para el diseño de vivienda, equipamientos en general y estructuras de soporte a infraestructuras, con cargas vivas máximas repartidas de hasta 2,0 kN/m<sup>2</sup>.

Las recomendaciones mínimas establecidas en esta norma pueden usarse tanto para proyectos de estructuras diseñadas íntegramente en Guadua como para estructuras mixtas.

Los requisitos aquí expuestos son de índole general y están dirigidos a todos los profesionales de la ingeniería, arquitectura o profesiones afines, siempre y cuando se sigan correctamente los requerimientos presentados en esta norma.

Para construcciones de vivienda de hasta dos pisos en bahareque encementado, no se requiere de diseño estructural, siempre y cuando se apliquen los requerimientos expuestos en el documento reconocido NEC-DR-BE. (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Esta norma está dividida en tres secciones esenciales para el trabajo en caña guadua angustifolia kunth (GaK); las cuales son:

- *Requisitos de calidad para guadúa estructural:* La primera parte de esta sección, desde el punto 3.1 hasta el punto 3.8 está dirigida a los productores, proveedores y expendedores del material, ya que se detallan los cuidados que deben tenerse con la GaK, desde la plantación hasta la comercialización (identificación, selección, corte, avinagrado, apeo, corte de ramas, transporte, limpieza, preservación, secado y almacenamiento) para garantizar su calidad. La segunda parte de esta sección, el punto 3.9, está dirigida a los profesionales

encargados del diseño y construcción con GaK, ya que se indican las características generales que deben cumplir los culmos antes de ser utilizados como material de construcción.

- *Bases para el diseño estructural:* El diseño de estructuras de GaK debe tener en cuenta las características de los materiales complementarios tales como pernos, conectores, adhesivos, soportes y tableros, según las recomendaciones de los fabricantes. Se deben tomar en cuenta todas las medidas apropiadas de protección de estos materiales contra la humedad, la corrosión o cualquier agente que degrade su integridad estructural. Algunos de los valores descritos en la presente norma han sido tomados de documentos académicos y otros estudios.
- *Diseño y construcción con GaK:* El objetivo de esta sección es establecer los requisitos mínimos para garantizar el buen desempeño de una estructura de GaK. Cada material de construcción tiene sus especificaciones de aplicación y uso, en el caso de la GaK, existen fundamentos de diseño que deben ser considerados para cada uno de los proyectos. En esta sección se establece dichos principios y algunas aplicaciones constructivas. Las pautas de diseño arquitectónico propuestas deben tener en cuenta las especificidades del material y asegurar estabilidad, seguridad y durabilidad de la edificación. En caso de ser usado un proceso constructivo con GaK diferente a los mostrados en esta norma, este debe ser sustentado con los cálculos técnicos y resultados de laboratorio respectivos, y estar a cargo de un profesional responsable de la obra. Todas las labores relativas a la preparación del material, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento de estructuras de GaK, deben regirse por las prácticas establecidas y aceptadas por la ingeniería y la arquitectura

A continuación, se detallará cada uno de los elementos que pertenecen a la sección de “base para el diseño estructural” que esta norma posee debido a que es la que nos dará los requisitos mínimos para garantizar el buen desempeño de la estructura.

Recuerdo además que se está tomando como referencia la Norma Ecuatoriana de la Construcción en Guadua (NEC-SE-GUADUA) en su totalidad o en partes y que esto nos servirá para luego realizar el proceso de experimentación:

#### 4.2.1 Requisitos de diseño

Una estructura en GaK debe ser diseñada y construida considerando los siguientes requisitos:

- Todos los elementos de GaK de una estructura deben ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de las cargas de servicio consignadas en los capítulos de la NEC y estipuladas en la tabla 9.

<b>COMBINACIONES DE CARGAS PARA EL DISEÑO</b>	
<b>1</b>	D
<b>2</b>	D + L
<b>3</b>	D + 0.75 L + 0.525 Ex
<b>4</b>	D + 0.75 L - 0.525 Ex
<b>5</b>	D + 0.75 L + 0.525 Ey
<b>6</b>	D + 0.75 L - 0.525 Ey
<b>7</b>	D + 0.7 Ex
<b>8</b>	D - 0.7 Ex
<b>9</b>	D + 0.7 Ey
<b>10</b>	D - 0.7 Ey
<b>11</b>	D + 0.75 L + 0.525 EQx
<b>12</b>	D + 0.75 L - 0.525 EQx
<b>13</b>	D + 0.75 L + 0.525 EQy
<b>14</b>	D + 0.75 L - 0.525 EQy
<b>15</b>	D + 0.7 EQx
<b>16</b>	D - 0.7 EQx
<b>17</b>	D + 0.7 EQy
<b>18</b>	D - 0.7 EQy

Tabla 9 Combinaciones de cargas para el diseño Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Donde; D = carga muerta

L = carga viva

Ex = carga estática de sismo en sentido X

Ey = carga estática de sismo en sentido Y

EQx = carga del espectro de aceleraciones en sentido X

EQy = carga del espectro de aceleraciones en sentido Y

- Toda construcción de GaK debe tener un sistema estructural que cumpla los requisitos de resistencia sísmica especificados en la sección 3.2 del capítulo NEC-SE-VIVIENDA, ajustándose a uno de los siguientes tipos de sistemas estructurales:

- Pórticos con diagonales en un sistema Entramado o en un sistema de Poste y Viga, utilizando un coeficiente de reducción R igual a 2 y una limitación al número de pisos igual a 2.
- Muro de corte portante de bahareque o quincha estipulado en la sección 6.7.3 del capítulo NEC-SE-VIVIENDA tomando las consideraciones de la Tabla 3 de la sección mencionada.
- Sistema de armaduras para cubiertas, el cual no debe ser muy pesado con relación al resto de la estructura.
- 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 de estructuras de GaK debe basarse en los principios de la mecánica estructural y su estructura debe cumplir con los requisitos establecidos en el capítulo NEC-SE-DS correspondiente a la determinación de cargas laterales de diseño sismorresistente. Además,

deben cumplirse los requisitos particulares que se encuentran relacionados en el presente capítulo de Estructuras de Guadúa.

- Los elementos se considerarán homogéneos, pero no deben considerarse lineales para el cálculo de los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas. Para esto debe considerarse como parámetro geométrico característico una imperfección vertical natural de 1.298% de excentricidad natural respecto a la longitud del culmo.
- El coeficiente de capacidad de disipación de energía básico para estructuras de GaK, cuyo sistema de resistencia sísmica sea el de pórticos con diagonales, será de  $R_0 = 2.0$ . En caso de 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  $R_0 = 1.5$ .

#### **4.2.2 Requisitos de calidad para las estructuras en GaK**

Para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura en GaK durante toda su vida útil se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La construcción de la edificación debe realizarse por personal capacitado y bajo la dirección de un profesional que conozca los lineamientos normativos correspondientes y los principios constructivos con GaK.
- Los materiales y productos que sean usados en la construcción deben emplearse como se especifica en este documento y siguiendo las especificaciones de uso dadas por los proveedores de la materia prima y fabricantes.
- Las estructuras de GaK por estar fabricadas con un material de origen natural deben tener un adecuado mantenimiento preventivo, que garantice que los elementos a usar no sean atacados por insectos u hongos durante su vida útil.
- La estructura debe tener durante toda su vida útil el mismo uso para el que fue diseñada.



- Cuando la estructura de GaK se utilice como cubierta de piscinas de natación en donde se utiliza cloro, se debe establecer en el diseño y la construcción que no se producirá ataque del cloro a la GaK y que se han tomado todas las precauciones para evitar un deterioro de los culmos y una disminución de su resistencia estructural por esta causa.
- Para la determinación del diámetro y del espesor real de la pared del culmo se debe seguir los siguientes procedimientos:
  - *Diámetro:* Medir en cada segmento del culmo el diámetro en ambos extremos y en dos direcciones perpendiculares entre sí. El diámetro real corresponde al promedio de las cuatro mediciones.
  - *Espesor:* Tomar cuatro mediciones en cada sección transversal del culmo, y medir, además, el espesor en los mismos sitios en que se midió el diámetro. El espesor real corresponde al promedio de las ocho mediciones.
- En ningún caso se debe utilizar estructuras de GaK cuando la temperatura a la cual van a estar sometidas exceda los 65 grados centígrados.

#### **4.2.3 Método de diseño estructural**

El buen desempeño de las construcciones depende de que en su planeamiento estructural se sigan los criterios apropiados, así:

- Todos los elementos deben ser diseñados por el método de los esfuerzos admisibles empleando las cargas especificadas en el capítulo NEC-SE-CG, así como las cargas sísmicas especificadas en el capítulo NEC-SE-DS.
- 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, en este caso habrá transmisión solo en el elemento continuo.

#### 4.2.3.1 Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad

Todo elemento de GaK que cumpla con los requisitos de calidad para la guadua estructural, debe utilizar para efectos de cálculo los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad consignados en la Tabla 10 y la Tabla 12 respectivamente, obtenidos en base a lo que se estipula a continuación en el literal 4.2.3.2 referente a esfuerzos admisibles.

<b>Fb Flexión</b>	<b>Ft Tracción</b>	<b>Fc Compresión   </b>	<b>Fp* Compresión _ _</b>	<b>Fv Corte</b>
<b>15</b>	19	14	1.4	1.2

Tabla 10 Esfuerzos admisibles  $F_i$  (MPa), CH=12% Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Donde; || = compresión paralela al eje longitudinal

\_|\_ = compresión perpendicular al eje longitudinal

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

En la Tabla 11 se encuentran los esfuerzos últimos de resistencia a la falla de la GaK ante las diferentes sollicitaciones de carga.

<b>Fb Flexión</b>	<b>Ft Tracción</b>	<b>Fc Compresión   </b>	<b>Fv Corte</b>
<b>45</b>	117	37	7

Tabla 11 Esfuerzos últimos  $F_u$  (MPa), CH=12% Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Donde; || = compresión paralela al eje longitudinal

<b>Módulo percentil 5 <math>E_{0.5}</math></b>	<b>Módulo percentil 5 <math>E_{0.05}</math></b>	<b>Módulo mínimo <math>E_{min}</math></b>
<b>12.000</b>	7.500	4.000

Tabla 12 Módulos de elasticidad,  $E_i$  (MPa), CH=12% Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

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 se debe utilizar para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean críticas o requieran un nivel de seguridad superior al promedio. En todo caso, la selección del módulo de elasticidad indicado dependerá del criterio del ingeniero calculista.

#### 4.2.3.2 Esfuerzos admisibles

Los valores de esfuerzos admisibles se determinan a partir del valor característico.

Los valores experimentales utilizados en el diseño deben estar apropiadamente relacionados en la memoria de cálculo estructural que se radique para solicitar la licencia de construcción, indicando: nombre del laboratorio, fecha de realización de los ensayos, descripción de los equipos utilizados en las pruebas, número de pruebas realizadas y nombre con firma de responsabilidad del profesional que dirigió los ensayos.

Similar a la sección 5.3.4 del capítulo NEC-SE-MD, se deben definir factores de reducción de resistencia (tabla 13) que varían de acuerdo al tipo de sollicitación de carga. Una vez determinado el valor característico para cada sollicitación, se procede con el cálculo de los esfuerzos admisibles.

Factor	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión ⊥	Corte
<b>FC</b>	-	0.5	-	-	0.6
<b>Fs</b>	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
<b>FDC</b>	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

*Tabla 13 Factores de reducción de resistencia Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)*

#### 4.2.3.3 Coeficiente de modificación.

En base en los valores de esfuerzos admisibles de la tabla 10 y los módulos de elasticidad de la tabla 12, afectados por los coeficientes de modificación a que haya lugar por razón del tamaño, nudos, grietas, contenido de humedad, duración de carga, esbeltez y cualquier otra condición modificatoria, se determinan las sollicitaciones admisibles de todo miembro estructural, según las prescripciones de los numerales siguientes:

- *Por duración de la carga ( $C_D$ ):* Se considera que la duración normal de una carga son diez años, cuando un elemento estructural está sometido a duraciones de carga diferentes, se debe multiplicar los valores de la Tabla 11 por los valores de la Tabla 14.

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión 	Compresión ⊥	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.9	0.9	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.0	0.9	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.9	1.15	Construcción
Siete días	1.25	1.25	1.25	0.9	1.25	
Diez minutos	1.60	1.60	1.6	0.9	1.60	Viento y Sismo
Impacto	2.00	2.00	2.0	0.9	2.00	Impacto

Tabla 14 Coeficientes de modificación por duración de carga Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Los incrementos anteriores no son acumulables. Cuando hay combinación de cargas, el dimensionamiento de los elementos debe hacerse para la condición más desfavorable.

- *Por contenido de humedad ( $C_m$ ):* La GaK 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 la Tabla 10 y la Tabla 12 fueron calculados para un contenido de humedad de la GaK de  $CH=12\%$ .

Si las condiciones medioambientales en el sitio de construcción hacen variar el contenido de humedad de la GaK por encima del 12%, se deben ajustar los valores de la Tablas 10 y la Tabla 12, multiplicándolos por los valores de la Tabla 15.

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	Fb	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70

<b>Tracción</b>	Ft	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
<b>Compresión</b> 	Fc	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
<b>Compresión</b> ⊥	Fp	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
<b>Corte</b>	Fy	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
<b>Módulo de elasticidad</b>	E0.5								
	E0.05	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	Emin								

Tabla 15 Coeficientes de modificación por contenido de humedad Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Una vez ha sido cosechada, la GaK tiende a secarse hasta alcanzar un contenido de humedad igual a la humedad de equilibrio del lugar en donde se encuentra.

Si el secado es mecánico y se logra bajar el contenido de humedad de la GaK por debajo del 12%, ésta podrá ganar humedad si el sitio final de la edificación tiene una humedad relativa del ambiente muy alta acompañada de una temperatura baja.

- *Por temperatura:* Cuando los elementos estructurales de GaK estén sometidos a altas temperaturas, los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las tablas 11, 12 y 10 respectivamente, deben ser multiplicados por los valores de la tabla 16, para la condición de temperatura a la cual estén expuestos.

Esfuerzos	Condiciones de servicio	Ct			
		T ≤ 37C	37C ≤ T ≤ 52C	52C ≤ T ≤ 65C	
<b>Flexión</b>	<b>Fb</b>	Húmedo		0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
<b>Tracción</b>	<b>Ft</b>	Húmedo	1.0	0.85	0.80
		Seco		0.90	
	<b>Fc</b>	Húmedo		0.65	0.40

<b>Compresión paralela</b>		Seco	0.80	0.60
<b>Compresión perpendicular</b>	<b>Fp</b>	Húmedo	0.80	0.50
		Seco	0.90	0.70
<b>Corte</b>	<b>Fy</b>	Húmedo	0.65	0.40
		Seco	0.80	0.60
<b>Módulo de elasticidad</b>	<b>E</b>	Húmedo	0.80	0.80
		Seco	0.90	

Tabla 16 Coeficientes de modificación por temperatura (Ct) Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

- *Por acción conjunta (Cr)*: Los esfuerzos admisibles podrán incrementarse en un 10% cuando exista una acción de conjunto garantizada de cuatro o más elementos de igual rigidez, como en el caso de viguetas y pies derechos en entramados ( $Cr=1.1$ ), siempre y cuando la separación entre elementos no sea superior a 0.6 m.

#### 4.2.4 Diseño de elementos sometidos a flexión

El diseño de elementos a flexión en GaK rolliza seguirá los mismos procedimientos básicos usados en el diseño de vigas de otros materiales estructurales, además, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debido a que la GaK presenta una relación MOR/MOE muy alta, lo que la convierte en un material muy flexible, el análisis a flexión estará regido por el control de deflexión admisible, salvo en algunas excepciones; no obstante, siempre se debe comprobar la resistencia a la flexión, corte y aplastamiento.
- En el diseño de elementos de GaK sometidos a flexión se deben verificar los efectos descritos a continuación, mismos que en ningún caso pueden sobrepasar los esfuerzos admisibles modificados para cada sollicitación.
- Deflexiones.
- Flexión, incluyendo estabilidad lateral en vigas compuestas.
- Cortante paralelo a la fibra.
- Aplastamiento (compresión perpendicular a la fibra).

- Se debe garantizar que los apoyos de un elemento de GaK rolliza sometido a flexión no fallen por aplastamiento (compresión perpendicular), en la medida de lo posible estos deben terminar en nudos, si esto no ocurre o los nudos no proveen la suficiente resistencia, se deben rellenar los entrenudos o canutos de los apoyos con mortero de cemento.
- Cuando exista una carga concentrada sobre un elemento, ésta debe estar aplicada sobre un nudo; en todo caso se deben tomar las medidas necesarias para evitar una falla por corte paralelo a la fibra, y/o aplastamiento en el punto de aplicación. En estos casos se recomienda rellenar los entrenudos o canutos adyacentes a la carga con mortero de cemento.
- Cuando en la construcción de vigas se utiliza más de un culmo (vigas de sección compuesta), estos deben estar unidos entre sí con pernos o varilla roscada y cintas metálicas (zunchos), que garanticen el trabajo en conjunto. Estos conectores deben diseñarse para resistir las fuerzas que se generan en la unión.

#### **4.2.4.1 Perforaciones**

En lo posible, se debe evitar realizar perforaciones en las vigas; de requerirse, estas deben encontrarse consignadas en los planos y cumplir con las siguientes limitaciones:

- No son permitidas perforaciones a la altura del eje neutro en secciones donde se tengan cargas puntuales o cerca de los apoyos.
- En casos diferentes al anterior, las perforaciones deben localizarse a la altura del eje neutro y en ningún caso serán permitidas en la zona de tensión de los elementos.
- El tamaño máximo de la perforación será de 32 mm.
- En los apoyos y los puntos de aplicación de cargas puntuales serán permitidas las perforaciones, siempre y cuando estas sean realizadas para rellenar los entrenudos con mortero de cemento.

#### 4.2.4.2 Área neta

El área de la sección transversal constituida por un solo culmo, será calculada con la fórmula:

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

Donde; A = Área neta de la sección transversal de la guadua,  
mm<sup>2</sup>

D<sub>e</sub> = Diámetro exterior de la guadua, mm

t = Espesor de la pared de la guadua, mm

En el proceso de construcción de la estructura se deben respetar los parámetros de diseño en especial los referentes al diámetro exterior y el espesor mínimo de pared, los elementos utilizados en obra deben tener mínimo las mismas medidas del diseño en su parte superior (parte más estrecha de la GaK).

#### 4.2.4.3 Luz de diseño

La luz de diseño considerada para vigas con apoyo simple, o en voladizo, será la luz libre entre caras de soporte más la mitad de la longitud del apoyo en cada extremo. En el caso de vigas continuas la luz de diseño considerada será la distancia centro a centro de apoyos.

#### 4.2.4.4 Deflexiones

La GaK presenta una relación MOR/MOE muy alta, lo que obliga a que el diseño de elementos a flexión este regido por las deflexiones admisibles. En esta sección se establece los requisitos y limitaciones de las deflexiones admisibles, obtención de la sección requerida y deflexiones inmediatas y diferidas.

- Las deflexiones en elementos de GaK se deben calcular de acuerdo a las fórmulas de la teoría elástica tradicional, se debe considerar la deflexión



producida por la flexión y si el caso de análisis lo amerita se debe realizar una corrección del módulo de elasticidad  $E_{0.05}$  por cortante.

- Para el cálculo de la deflexión en vigas simplemente apoyadas se utilizarán las fórmulas contempladas en la Tabla 17.

Condición de carga	Deflexión
<b>Carga concentrada en el centro de la longitud</b>	$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$
<b>Carga uniformemente distribuida</b>	$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI}$

Tabla 17 Fórmulas para el cálculo de deflexiones Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

- Para otras condiciones de carga se debe utilizar fórmulas de la teoría de la elasticidad.
- Las deflexiones admisibles estarán limitadas a los valores de la tabla 18

Condición de servicio	Cargas vivas (I/k)	Viento o Granizo (I/k)	Cargas totales (I/k) Nota 2
<b>Elementos de Techo / Cubiertas</b>			
<b>Cubiertas inclinadas</b>			
<b>Cielos rasos de pañete o yeso</b>	I/360	I/360	I/240
<b>Otros cielos rasos</b>	I/240	I/240	I/180
<b>Sin cielo raso</b>	I/240	I/240	I/180
<b>Techos planos</b>	Nota 1	Nota 1	I/300
<b>Techos industriales</b>	-	-	I/200
<b>Entrepisos</b>			
<b>Elementos de entrapiso</b>	I/360	-	I/240
<b>Entrepisos rígidos</b>	-	-	I/360
<b>Muros exteriores</b>			
<b>Con acabados frágiles</b>	-	I/240	-
<b>Con acabados flexibles</b>	-	I/120	-

Tabla 18 Deflexiones admisibles  $\delta$  (mm). \*Nota 3 Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Notas:

- Dependiendo del tipo de cielo raso.
- Por evaluación de cargas totales, a largo plazo estas no deben invertir pendientes de drenaje en techos.

- Considerando únicamente la deflexión inicial, considerada en el literal ultimo de esta sección.
- Las deflexiones de vigas, viguetas, entablados y pies derechos, se calcularán con el módulo de elasticidad del percentil E 0.05, o el módulo de elasticidad mínimo,  $E_{min}$ , en todo caso la selección del módulo dependerá del criterio del ingeniero estructural.
- En referencia al efecto del cortante, para los elementos con relación de  $I/De = 15$ , se debe realizar una corrección por cortante ( $C_c$ ), en la Tabla 19 se relacionan los valores de  $C_c$  para el módulo de elasticidad E 0.05.

<b>I/De</b>	<b>C<sub>c</sub></b>
<b>5</b>	0.70
<b>7</b>	0.75
<b>9</b>	0.81
<b>11</b>	0.86
<b>13</b>	0.91
<b>15</b>	0.93

Tabla 19 Valores de  $C_c$  Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Nota: La GaK tiene una relación de  $E/G = 28$ .

- Respecto a las cargas para cálculo de sección y deflexiones, para efecto de calcular la sección transversal mínima requerida y solo para ese caso, se debe igualar la deflexión calculada con las cargas de la tabla 20, con la deflexión admisible de la tabla 20 y determinar el momento de inercia I requerido.

Igualmente, en la tabla 20 se presentan las combinaciones de carga para el cálculo de las deflexiones inmediatas y diferidas a 30 años.

<b>Condición</b>	<b>CH≤19% t≤37oC Clima constante</b>	<b>CH≥19% t≤37oC Clima variable</b>
<b>Cálculo de sección (w)</b>	2.0 D + L	2.0 D + L

<b>Deflexiones inmediatas (W-i)</b>	D+L	D+L
<b>Deflexiones diferidas (W-f)</b>	2.8 D + 1.3 L	3.8 D + 1.4 L

Tabla 20 Cargas w par cálculo de sección y deflexiones Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

#### 4.2.4.5 Flexión

Los esfuerzos máximos de tensión y compresión producidos por flexión serán calculados para la sección de máximo momento. Estos esfuerzos no deben exceder al máximo esfuerzo admisible por flexión  $F_b$  de la Tabla 11, establecida para los culmos de GaK, modificado por los coeficientes de duración de carga y redistribución de carga, según el caso.

Los coeficientes de modificación particulares para flexión son los que se indican a continuación:

- *Estabilidad lateral y coeficiente de modificación ( $C_L$ ):* En vigas o viguetas conformadas por un solo culmo de GaK, el coeficiente de modificación que se debe considerar será  $C_L = 1$ , además, se debe tener en cuenta que:
  - Cuando una viga está conformada por dos o más culmos (viga de sección compuesta), se debe verificar si esta requiere o no de soporte lateral en la zona comprimida. (figura 30)
  - El coeficiente de modificación por estabilidad lateral ( $C_L$ ), tiene en cuenta la reducción de la capacidad de carga de un elemento sometido a flexión por causa de la inestabilidad lateral o pandeo, que sucede cuando la zona a compresión de una viga se comporta como una columna.
  - Cuando una viga de sección compuesta esta soportada en toda la longitud de la zona a compresión y además está restringida en los apoyos a la rotación, el coeficiente de modificación por estabilidad lateral será  $C_L = 1$ .
  - En el caso de vigas de sección compuesta (dos o más culmos de GaK), cuya relación alto (d) ancho (b) sea mayor que 1 ( $d/b > 1$ ), deben incluirse soportes laterales para prevenir el pandeo o la rotación.

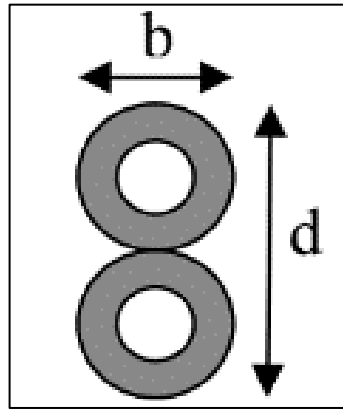


Figura 30 Ejemplo de sección compuesta Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

- **Estabilidad lateral de vigas compuesta:** Para vigas de sección compuesta por dos o más culmos de GaK se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión ( $F_b$ ), por el valor de  $C_L$  de la Tabla 21.

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

Tabla 21 Coeficientes  $C_L$  para diferentes relaciones  $d/b$  Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

- **Estabilidad lateral:** En vigas compuestas por más de un culmo de GaK y cuya altura sea mayor que su ancho, debe investigarse la necesidad de proveer soporte lateral a la zona comprimida del elemento, según las siguientes recomendaciones:
  - Si  $d/b = 2$ ; no se requerirá soporte lateral.
  - Si  $d/b = 3$ ; se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos.
  - Si  $d/b = 4$ ; se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y del borde en compresión mediante correas o viguetas.

- Si  $d/b = 5$ ; se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y proveer soporte continuo del borde en compresión mediante un entablado.
- *Momento resistente*: El esfuerzo a flexión actuante ( $f_b$ ) sobre cualquier sección de GaK rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo a flexión admisible ( $F'_b$ ) modificado por los coeficientes  $b$  correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b$$

Donde;  $f_b$  = Esfuerzo a flexión actuante, en MPa

$M$  = Momento actuante sobre el elemento en N mm

$F'_b$  = Esfuerzo admisible modificado, en MPa

$S$  = Módulo de sección en  $\text{mm}^3$

El módulo de sección  $S$ , para un culmo de GaK se expresa con la siguiente fórmula:

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

Donde;  $S$  = Módulo de sección en  $\text{mm}^3$

$D_e$  = Diámetro promedio exterior del culmo en mm

$t$  = Espesor promedio de la pared del culmo en mm

Cuando se empleen varios culmos para conformar un elemento a flexión, la inercia del conjunto se calcula como la suma de las inercias individuales de cada uno de los culmos, con la fórmula:

$$I = \sum I_i$$

Donde;  $I$  = Inercia de la sección compuesta, en  $\text{mm}^4$

$I_i$  = Inercia individual de cada culmo referida a su propio centroide, en  $\text{mm}^4$

#### 4.2.4.6 Cortante

Los esfuerzos máximos de corte serán calculados a una distancia del apoyo igual a la altura ( $h$ ) del elemento. Para lo cual, se debe considerar lo siguiente: Los coeficientes de modificación particulares para flexión son los que se indican a continuación:

Para vigas conformadas por un solo culmo de GaK, dicha altura será igual al diámetro exterior ( $D_e$ ) de la misma, a excepción de los voladizos, donde el esfuerzo máximo de corte será calculado en la cara del apoyo.

Para vigas conformadas por dos culmos de GaK, la altura ( $h$ ) corresponde a la altura real del elemento.

El máximo esfuerzo cortante debe ser determinado teniendo en cuenta la distribución no uniforme de los esfuerzos en la sección, y debe ser inferior al máximo esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras  $F'v$ , establecido para los culmos de GaK rolliza (Tabla 10), modificado por los coeficientes a los que corresponda.

- *Esfuerzo cortante paralelo a las fibras:* El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuantes ( $f'v$ ) sobre cualquier sección de GaK rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo cortante paralelo a las fibras admisibles ( $F'v$ ), modificado por los coeficientes que correspondan
- *Conectores en vigas de sección compuesta:* Cuando se construyen vigas con dos o más culmos de GaK, se debe garantizar su estabilidad por medio de conectores transversales, que garanticen el trabajo en conjunto.

El espaciamiento de dichos conectores debe estar justificado en el diseño estructural.

Todos los canutos por los que atraviese un conector en vigas de sección compuesta, deben estar rellenos de mortero de cemento, como se muestra en la figura 31.

Además, el primer conector se debe ubicar a una distancia igual a 50 mm, medidos desde la cara del apoyo.

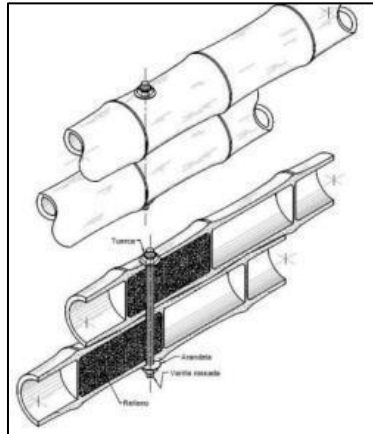


Figura 31 Detalle de conectores secciones compuestas Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

#### 4.2.4.7 Aplastamiento

Los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras ( $f_p$ ), deben verificarse especialmente en los apoyos y lugares en los que haya cargas concentradas en áreas pequeñas.

El esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras actuante no debe exceder al esfuerzo admisible de compresión perpendicular modificado por los coeficientes que correspondan.

Todos los canutos que estén sometidos a esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra, deben estar rellenos de mortero de cemento, en el caso en que esto no se cumpla el valor del esfuerzo admisible ( $F'p$ ) se debe reducir a la cuarta parte ( $F'p/4$ ).

#### 4.2.5 Diseño de elementos solicitados por fuerza axial

Los elementos que serán diseñados por fuerza axial son aquellos solicitados en la misma dirección que el eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal.

#### 4.2.5.1 Elementos solicitados a tensión axial

El esfuerzo de tensión axial actuante ( $f_t$ ) para cualquier sección de GaK rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo admisible a tensión axial ( $F_t$ ), modificado por los coeficientes de modificación correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F_t$$

Donde;  $f_t$  = Esfuerzo a tensión actuante, en MPa

$T$  = Fuerza de tensión axial aplicada, en N

$F_t$  = Esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

$A_n$  = Área neta del elemento, en mm<sup>2</sup>

Todos los elementos que están solicitados por tensión axial y momento flector deben ser diseñados de acuerdo con lo estipulado en la sección 5.2.6

#### 4.2.5.2 Tensión perpendicular a la fibra

En lo posible se deben evitar los diseños, en los cuales los elementos estructurales de GaK estén sometidos a esfuerzos de tensión perpendicular a la fibra, debido a su baja resistencia en esta sollicitación, no obstante, si se presentan estos esfuerzos, se debe garantizar la resistencia del elemento proporcionando el refuerzo que sea necesario en la zona comprometida, a través de zunchos metálicos o platinas.

#### 4.2.5.3 Elementos solicitados a compresión axial

Para el diseño de los elementos solicitados a compresión axial, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- *Longitud efectiva:* La longitud efectiva es la longitud teórica de una columna equivalente con articulaciones en sus extremos. La longitud efectiva de una columna puede calcularse con la siguiente fórmula:



$$l_e = l_u k$$

Donde;  $l_u$  = Longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm

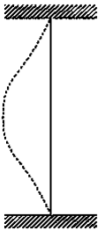


$k$  = Coeficiente de longitud efectiva, según las restricciones en los apoyos, Ver Tabla 22

$l_e$  = Longitud efectiva, en mm

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

Tabla 22 Coeficiente de longitud efectiva (\*) Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

\* Cuando se justifique apropiadamente, se pueden utilizar valores de k de la tabla 23

CONDICIONES DE LOS APOYOS	GRÁFICOS	$K_{e1}$	$K_{e2}$
Empotrados en ambos extremos ( 1 )		0.50	0.65
Impedido de desplazarse en ambos extremos y uno de ellos impedido de rotar ( 2 )		0.70	0.85
Articulado en ambos extremos ( 3 )		1.00	1.00

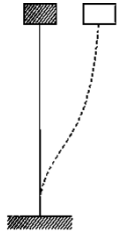
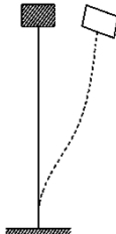
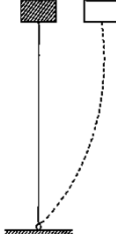

Empotrado en un extremo y el otro impedido de rotar, pero libre de desplazamiento ( 4 )		1.00	1.20
Empotrado en un extremo y el otro parcialmente libre de rotar y libre de desplazamiento ( 5 )		1.50	1.50
Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar, pero libre de desplazamiento ( 6 )		2.00	2.40
Empotrado en un extremo y el otro libre de rotar y libre de desplazamiento ( 7 )		2.00	2.10

Tabla 23 Coeficiente de longitud efectiva de columna  $k_e$  Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

Donde;  $k_{e1}$  = Teórico

$k_{e2}$  = Recomendado cuando las condiciones ideales son apropiadas

- **Esbeltez:** En columnas constituidas por un culmo, la medida de esbeltez está dada por la fórmula:

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

Donde;  $\lambda$  = Relación esbeltez del elemento

$l_e$  = Longitud efectiva del elemento, en mm

$r$  = Radio de giro de la sección, en mm

El radio de giro de la sección constituido por un culmo, será calculado con la fórmula:

$$r = \frac{\sqrt{(D_e^2 + (D_e - 2t)^2)}}{4}$$

Donde;  $D_e$ = Diámetro externo promedio de la sección de GaK rolliza, en mm

$t$  = Espesor promedio de la sección de GaK rolliza, en mm

$r$  = Radio de giro de la sección

- *Elementos constituidos por dos o más culmos:* En el diseño de elementos solicitados a compresión constituidos por dos o más culmos, la medida de esbeltez será calculada usando la Ecuación de esbeltez, con el radio de giro  $r$  calculado con la siguiente expresión:

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

Donde;  $I$  = Inercia de la sección

$A$  = Área neta de la sección transversal de guadúa

$r$  = Radio de giro de la sección

Cuando se empleen varios culmos para conformar un elemento a compresión, la inercia del conjunto se calcula como la suma de las inercias individuales de cada uno de los culmos, utilizando la Ecuación la suma de las inercias individuales de cada uno de los culmos.

- *Clasificación de columnas:* Según su relación de esbeltez, las columnas de GaK rolliza pueden estar clasificadas en cortas, intermedias o largas. (tabla 24)

<b>Columna</b>	<b>Esbeltez</b>
<b>Corta</b>	$\lambda < 30$
<b>Intermedia</b>	$30 < \lambda < C_k$
<b>Larga</b>	$C_k < \lambda < 150$

Tabla 24. Clasificación de columnas por esbeltez Fuente: (NEC-SE-GUADUA, 2016)

La esbeltez  $C_k$  es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas, y está dada por la siguiente formula:

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

Donde;  $F'_c$  = Esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en MPa

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

Bajo ninguna circunstancia es aceptable trabajar con elementos de columna que tengan esbeltez mayor de 150

- *Esfuerzos máximos:* Para el cálculo de los esfuerzos máximos, se debe tener las siguientes consideraciones:
- *Columna corta ( $\lambda < 30$ ):* el esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante ( $f_c$ ) sobre cualquier sección de GaK rolliza en columnas cortas, no debe exceder el valor del esfuerzo de compresión paralela a las fibras admisibles ( $F'_c$ ) modificado por los factores correspondientes.
- *Columnas intermedias ( $30 < \lambda < C_k$ ):* el esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante ( $f_c$ ) sobre cualquier sección de GaK rolliza en columnas intermedias, no debe exceder el valor del esfuerzo de compresión paralela a las fibras admisibles ( $F'_c$ ) modificado por los factores correspondientes.

- *Columnas largas* ( $C_k < \lambda < 150$ ): el esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante ( $f_c$ ) sobre cualquier sección de GaK rolliza en columnas largas, no debe exceder el valor del esfuerzo de compresión paralela a las fibras admisibles ( $F'_c$ ) modificado por los factores correspondientes.

No se permiten columnas con esbeltez superior a 150.

Todos los elementos que además de estar solicitados por compresión axial, se encuentran solicitados por momento flector, deben ser diseñados de acuerdo a lo que se detalla en la sección 5.2.6.

#### **4.2.6 Diseño de elementos solicitados por flexión y carga axial**

Para el diseño de los elementos solicitados por flexión y carga axial, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

##### **4.2.6.1 Elementos solicitados a flexión con tensión axial**

Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a las fuerzas de tensión axial y flexión, deben ser diseñados para cumplir la siguiente fórmula:

$$\frac{f_t}{f'_t} + \frac{f_b}{f'_b} \leq 1.0$$

Donde;  $F_t$  = Esfuerzo a tensión actuante, en MPa

$F'_t$  = Esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes que correspondan, en MPa

$F_b$  = Esfuerzo a flexión actuante, en MPa

$F'_b$  = Esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa

##### **4.2.6.2 Elementos solicitados a flexo-compresión**

Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a las fuerzas de compresión y flexión deben ser diseñados para cumplir la siguiente fórmula:

$$\frac{f_c}{f'_c} + \frac{k_m f_b}{f'_b} \leq 1.0$$

Donde;  $F_c$  = Esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa

$F'_c$  = Esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible, modificado, en MPa

$F_b$  = Esfuerzo a flexión actuante, en MPa

$F'_b$  = Esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa

$K_m$  = Coeficiente de magnificación de momentos, calculado con la Ecuación siguiente:

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{er})}$$

Donde;  $N_a$  = Carga de compresión actuante, en N

$N_{er}$  = Carga crítica de Euler, calculada con la Ecuación siguiente:

$$N_{er} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{l_e^2}$$

Donde;  $N_{er}$  = Carga crítica de Euler, en N

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

$I$  = Momento de inercia de la sección, en mm<sup>4</sup>

$l_e$  = Longitud efectiva del elemento, en mm

## **4.2.7 Muros de corte, carga lateral, sismo o viento**

### **4.2.7.1 Elementos solicitados a flexo-compresión**

El conjunto de diafragmas y muros de corte debe diseñarse para resistir el 100 % de las cargas laterales aplicadas, tales como acciones de viento o sismo y excepcionalmente empuje de suelos o materiales almacenados.

Los diafragmas y muros de corte deben ser suficientemente rígidos para:

- Limitar los desplazamientos laterales, evitando posibles daños a otros elementos no estructurales.
- Reducir la amplitud de las vibraciones en muros y pisos a límites aceptables.
- Proporcionar arriostramiento a otros elementos para impedir su pandeo lateral o lateral torsional.

Además, se debe considerar lo siguiente:

- Las uniones de los diafragmas y muros de corte, entre sí y con otros elementos, deben ser adecuadas para transmitir y resistir las fuerzas cortantes de sismo o vientos.
- Deben ponerse especial atención en los anclajes de los muros de corte a la cimentación, cada panel independiente debe estar conectado a la cimentación por lo menos en dos puntos, y la separación entre ellas no debe ser mayor que 2 m.
- Los muros cuya relación de altura a la longitud en planta, sea mayor que 2, no deben considerarse como resistencia.
- Bajo condiciones normales de servicio, como podrían ser sobrecargas de viento habitual o de sismos pequeños a moderados, deberá verificarse que las deformaciones de los muros no exceden de  $h/1200$  (siendo "h" igual a la altura del muro).

- Cada muro de corte considerado por separado, debe ser capaz de resistir la carga lateral proporcional correspondiente a la generada por la masa que se apoya sobre él, a menos que se haga un análisis detallado de la distribución de fuerzas cortantes considerando la flexibilidad de los diafragmas horizontales.
- La fuerza cortante actuante debida a la acción del viento o sismo, se determinará a partir de lo que especifica el capítulo NEC-SE-CG y el capítulo NEC-SE-DS para ambos tipos de carga o mediante procedimientos más elaborados compatibles con la buena práctica de la ingeniería.
- Para calcular la fuerza cortante actuante por sismo o viento en edificaciones de hasta dos pisos de altura, se puede utilizar lo dispuesto en el capítulo NEC-SE-DS.
- Los muros de corte de una edificación deben estar dispuestos en dos direcciones ortogonales, con espaciamientos menores de 4 m en cada dirección. La distribución de estos elementos debe ser más o menos uniforme, con rigideces aproximadamente proporcionales a sus áreas de influencia.
- Si los espaciamientos de los muros son mayores que 4 m y la flexibilidad en planta de los diagramas (entrepisos, techos, etc.) es tal que, no garantice un comportamiento en conjunto, este procedimiento no es aplicable.
- Para el cálculo de la resistencia de los muros de corte, el profesional responsable puede tomar como referencia la sección 5.1.3 del capítulo NEC-SE-MD para realizar el dimensionamiento de este tipo de elemento estructural.

#### **4.2.8 Diseño de uniones**

La resistencia de las uniones dependerá del tipo de unión y de los elementos utilizados. Los valores admisibles se determinarán en base a los resultados de cinco ensayos como mínimo, con los materiales y el diseño a utilizar en la obra, considerando un factor de seguridad de 3.



Se dan como referencia detalles de algunas uniones y valores admisibles para algunos de los casos estudiados.

Como hemos evidenciado en la norma que se describió, estos parámetros nos servirán en la experimentación para realizar los cálculos de las estructuras en bambú, tomando en cuenta también lo que se estableció con anterioridad en el capítulo de construcción de viviendas en caña guadua.

# CAPÍTULO 5

## ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS POST-TERREMOTO 2016



*“El bambú es una solución constructiva que responde a las exigencias del contexto: zona sísmica, baja capacidad portante del suelo, urgencia de la construcción y bajos recursos económicos.”*

ING. SEBASTIÁN KAMINSKI

ingeniero estructural senior en Arup  
Tecnología avanzada e investigación

## 5 ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS POST TERREMOTO 2016

### 5.1 Generalidades de las zonas Sísmicas de Ecuador y Portoviejo

Ecuador es un país con una sismotectónica particular al encontrarse ubicado dentro del cinturón de fuego del Pacífico, lugar donde se libera el 90% de la energía sísmica del planeta que frente a sus costas la Placa Oceánica de Nazca subducta de forma oblicua bajo la Placa Continental Sudamericana, definiendo principalmente tres tipos de sismos: interplaca o tipo thrust, superficiales o corticales e intraplaca de profundidad intermedia. Además, su relieve orográfico determina un potencial riesgo volcánico. (Lara et al 2018)

El Cinturón de Fuego del Pacífico (figura 32) es una larga cadena tectónica de 40 mil kilómetros con forma de herradura que mantiene una constante actividad sísmica y volcánica. En esta zona que comprende los países americanos bañados por el océano Pacífico, además de varios asiáticos para bajar por el océano Índico ocurre el 90 por ciento de la actividad sísmica del planeta. (Diario el Universo 2022)

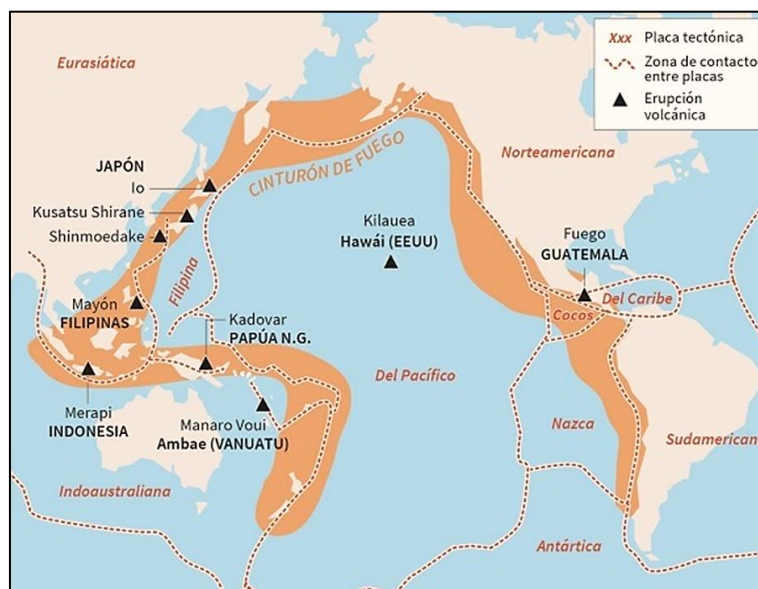


Figura 32 Cinturón de fuego del Pacífico Fuente: (Diario el Universo, 2022)

Esta extensa cadena tectónica abarca cuatro territorios de manera principal: América del Norte, América del Centro, América del Sur, Asia y Oceanía.

- *Norteamérica*: se extiende por la costa oeste de México, los Estados Unidos y Canadá, continúa hasta Alaska y se une con Asia en el norte del Pacífico.
- *Centroamérica*: toca los territorios de Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala y Belice.
- *Sudamérica*: Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, casi todo Chile y algunas partes de Argentina.
- *Asia*: abarca la costa este de Rusia y continúa por otros países asiáticos como Japón, Filipinas, Taiwán, Indonesia, Singapur y Malasia.
- *Oceanía*: las Islas Salomón, Tuvalu, Samoa y Nueva Zelanda.

De acuerdo con la NEC (2015), todo el territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta, con excepción del nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y del litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta, tal como lo podemos observar en la figura 33.

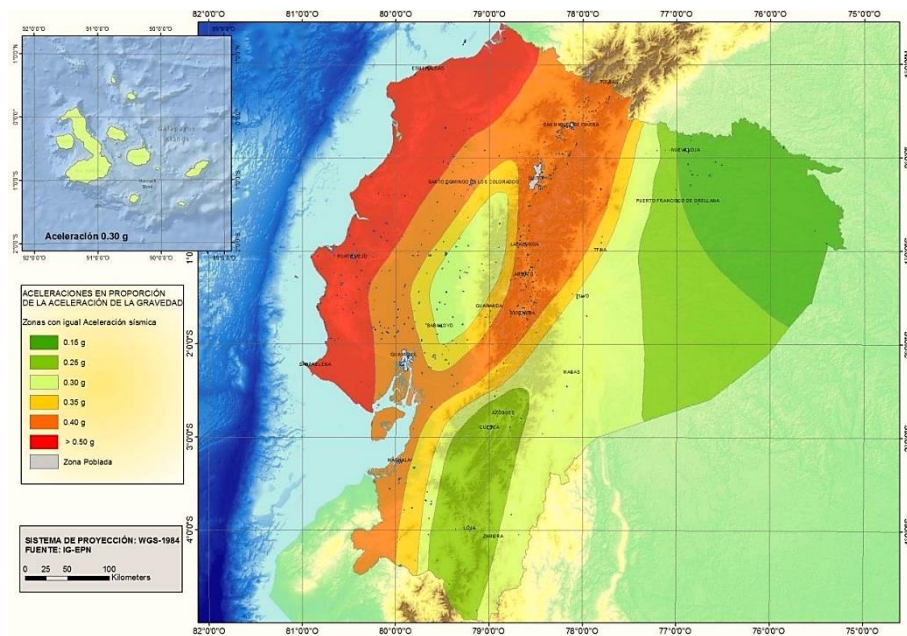


Figura 33 Zonas sísmicas de Ecuador para propósitos de diseño Fuente: (NEC, 2015)

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que

incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. (NEC, 2015) (tabla 24)

ZONA SÍSMICA	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

*Tabla 24 Valores factor Z en función de la zona sísmica adoptada Fuente: (NEC, 2015)*

La región Costa, está caracterizada por una complejidad morfo-estructural atribuida a la tectónica activa interplaca. La misma que se asocia hacia el sur a una estructura sismogénica de “fallas megasplay”, relacionado a la apertura de la corteza continental, capaz de generar sismos mayores a 7 en magnitud. En la parte Central, evidencia tasas moderadas a altas en mm/año, de un levantamiento tectónico en las terrazas marinas Plio-cuaternarias, generadas por la subducción de la Cordillera de Carnegie. Y hacia la parte Norte, la subsidencia de la Cuenca Esmeraldas genera sismos delineados en el sector Galera, al sur de la provincia de Esmeraldas. (Chunga, 2011; Yepes et al, 2016)

Durante el último siglo aproximadamente, han existido seis grandes terremotos asociados con la subducción, principalmente en la zona sismogénica interplaca ocurridos en los años de: (figura 34)

- 1906: Localizado en Esmeraldas. Magnitud de 8.8 Mw. La mayoría de los daños se produjeron por un tsunami que arrasó el pueblo.
- 1942: Localizado en Guayaquil. Magnitud de 7.8 Mw. El terremoto golpeó las regiones costeras de Ecuador, causando daños principalmente en ciudades como Guayaquil, Portoviejo y Guaranda, particularmente en edificios de hormigón armado. Más de 300 personas perdieron la vida y el daño total costó aproximadamente US \$ 2,5 millones (tasa de 1942) como resultado del terremoto. (Chunga, et al 2005)
- 1958: Localizado cerca de las costas de Esmeraldas. Magnitud de 7.8 Mw. Los daños más graves se presentaron en Esmeraldas (Ecuador), donde se reportó

el colapso del 30% de las construcciones y el agrietamiento de numerosos edificios. Además, el movimiento sísmico produjo un tsunami que arrasó parte de la población y aumentó los daños causados por el sismo. Allí murieron 15 personas y 45 quedaron heridas (NOAA, 2011)

- **1979:** Localizado en Tumaco, frontera Ecuador-Colombia. Magnitud de 8.1 Mw. Este sismo originó un poderoso tsunami que afectó las costas de los departamentos de Nariño y Cauca, especialmente la zona comprendida entre Guapi y San Juan de la Costa. Según observaciones de testigos, fueron tres violentas olas con una altura mayor a 3 m, las cuales arrastraron a su paso personas, animales, viviendas y enseres. (Servicio Geológico Colombiano; 2018)
- **1998:** Localizado en Bahía de Caráquez. Magnitud de 7.1 Mw. Se localizó frente a la ciudad de Bahía de Caráquez, provocando ingentes pérdidas económicas, en especial al sector turístico, ya que hubo una importante reducción del flujo turístico a la zona, así como pérdidas debido al desplome y daños estructurales de algunos edificios ubicados en la ciudad. Este terremoto ocasionó severas consecuencias en la provincia de Manabí, gran destrucción de edificios en Bahía de Caráquez, y daños graves en Canoa, San Vicente y otras localidades cercanas. En otras ciudades de Manabí los daños fueron de menor proporción. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2011)
- **2016:** Localizado en Pedernales. Magnitud de 7.8 Mw. Ciudades como Portoviejo, Manta, Chone, Montecristi, Bahía de Caráquez, Rocafuerte, Calceta, Puerto López, Pedernales y Jaramijó resultaron afectadas. En Manta, el segundo puerto más importante del país, se registró el colapso de varias edificaciones, incluida la torre de control del Aeropuerto Internacional Eloy Alfaro, así como la pérdida de vidas humanas y largas horas sin electricidad y agua potable. La ciudad de Portoviejo, capital provincial, también evidenció un

número significativo de pérdidas humanas como resultado del colapso de al menos 684 infraestructuras civiles (Diario el Universo)

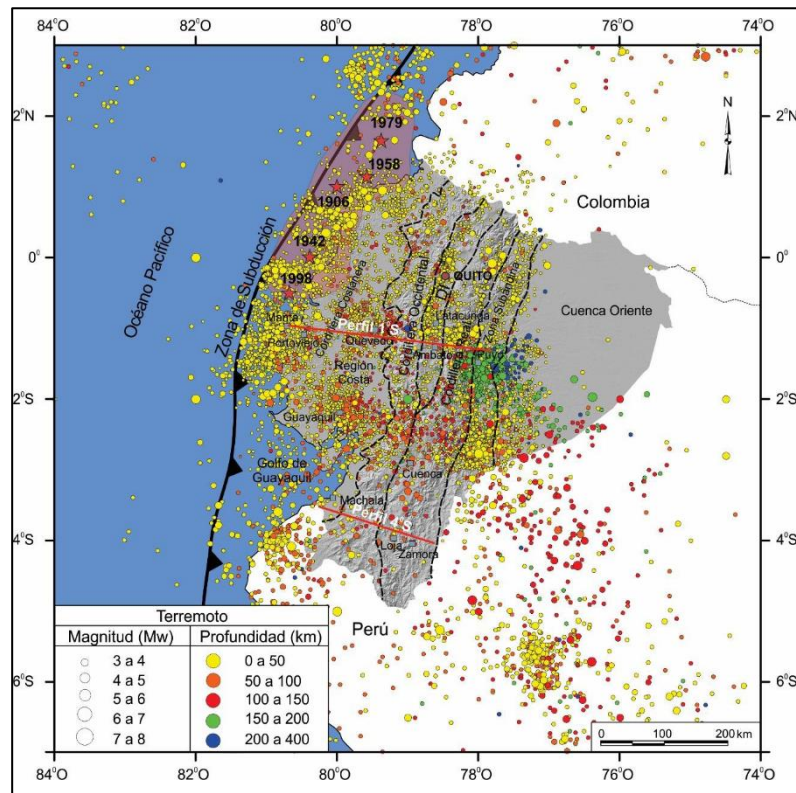


Figura 34 Eventos sísmicos entre 1906 y 2016 en el Ecuador Fuente: (Yepes, 2016)

Estos sismos, han tenido de fallas que se extienden más de los 100 Km de ruptura, lo que la convierte a la región del litoral en una zona de alto riesgo sísmico con valores altos de aceleración. (Alvarado, 2017)

El Instituto Geofísico (2016) en su informe sísmico especia N°13 sobre el informe técnico del sismo de Pedernales expresa lo siguiente:

El sismo registrado el sábado 16 de abril a las 18h58 (tiempo local), de magnitud 7.8 (Mw magnitud momento), cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales (Manabí), a 20 km de profundidad, fue resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca (placa oceánica) que se sumerge bajo la Sudamericana (placa continental). A este proceso se le conoce como subducción, y es el mismo fenómeno que originó los sismos del 31 enero 1906 (Mw 8.8), que es el más grande registrado en

Ecuador y el sexto más grande a escala mundial; el del 14 mayo 1942 (Mw 7.8); 19 enero de 1958 (Mw 7.8) y del 12 diciembre de 1979 (Mw 8.1).

La ubicación de las réplicas, que hasta el momento se han registrado, está en relación a la magnitud del sismo principal de 7.8. En la figura 35, se muestra la localización de 230 réplicas localizadas por la red Sísmica Nacional, con tamaños que varían entre 3.5 a 6.1 de magnitud.

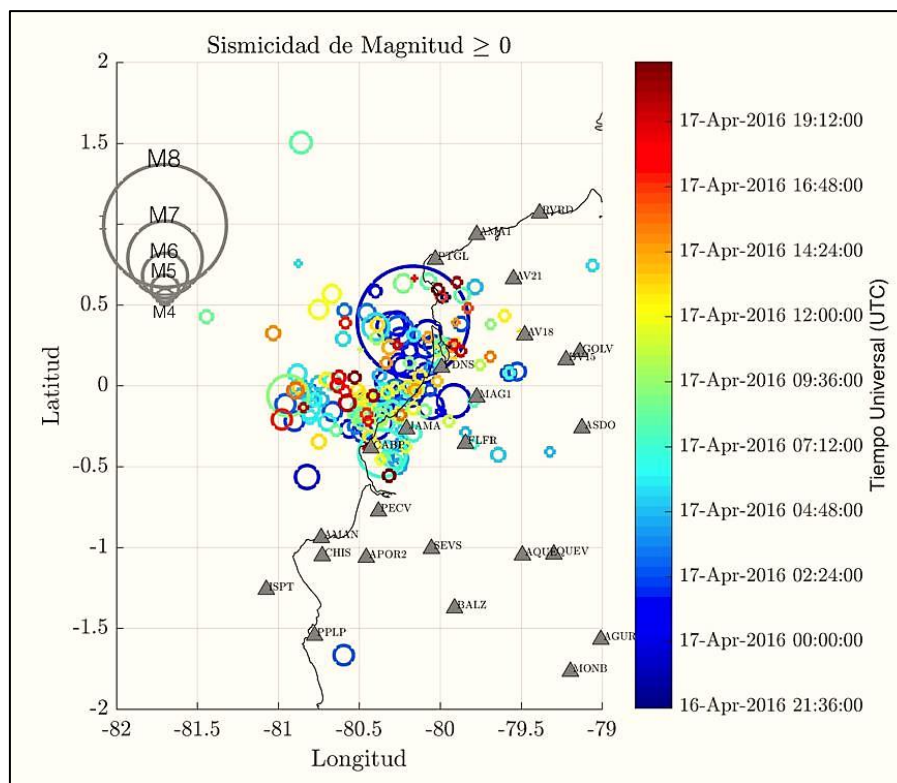


Figura 35 Distribución de réplicas y sismo principal Fuente: (Instituto Geofísico, 2016)

En la figura 36, se presenta la distribución espacial de las zonas con el mayor número de réplicas. Se nota que la mayoría de éstas se ubican cerca de Puerto Cabuyal en la Provincia de Manabí.



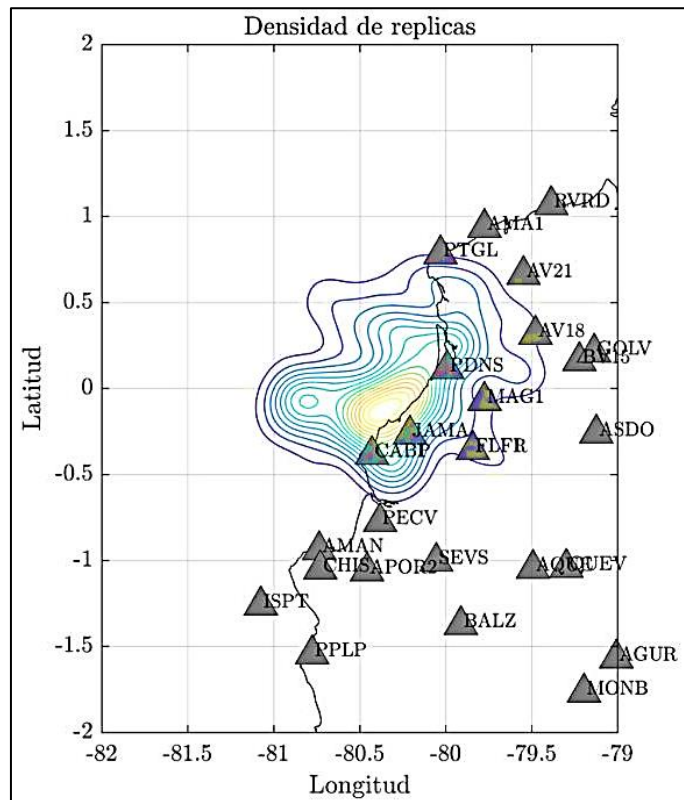


Figura 36 Ubicación de la zona con mayor cantidad de réplicas Fuente: (Instituto Geofísico, 2016)

Los datos indican que la mayoría de las réplicas son superficiales (< 20 km en profundidad), con la más grande correspondiente a un sismo de 6.1 (Mw) ocurrida hoy a las 2h13 (TL) y fue sentida incluso en Guayaquil. Como es muy común en casos de sismos grandes, la tasa de generación de réplicas disminuye con el paso de tiempo. Esto significa que la amenaza asociada con ellas también disminuye paulatinamente. Aparte de las réplicas que se han producido luego del sismo de las 18h58, este evento tuvo un sismo premonitor que ocurrió a las 18h47 de magnitud 5.0.

La presencia de réplicas es un fenómeno natural que se asocia al ajuste de las rocas de la corteza, en la zona en donde ocurrió el sismo, por lo tanto, también tiene relación con el tamaño de la ruptura y cuando el sismo es más grande el período de ajuste es más largo. En este sentido se espera que el tiempo de ocurrencia de réplicas dure por algunos días y semanas.

este evento es un sismo importante, no solo por los daños provocados, sino, porque constituye el sismo más grande desde 1979 en el país, con una magnitud similar a la

de los sismos de 1942 y 1958. El número de réplicas tiende a disminuir, aunque todavía no se puede descartar que se presenten sismos con magnitudes mayores a 5.0. La orientación del plano de falla inclinado suavemente al Este Sureste coincide con la orientación de la zona de subducción. Los datos de GPS permitieron encontrar zonas de acumulación de esfuerzo que coincide en este caso con la zona del contacto entre las placas Nazca y Sudamericana.

Según la figura 37, el sismo del 16 A presentó los siguientes PGA: Pedernales epicentro del sismo 1.413g, sobrepasó la aceleración de la gravedad considerada en nuestra norma, y en Portoviejo el PGA fue de 0.42g, el cual se encuentra dentro del rango para la zona VI - actividad sísmica muy alta (mayor o igual a 0.5g) (Aguiar y Mieles 2016)

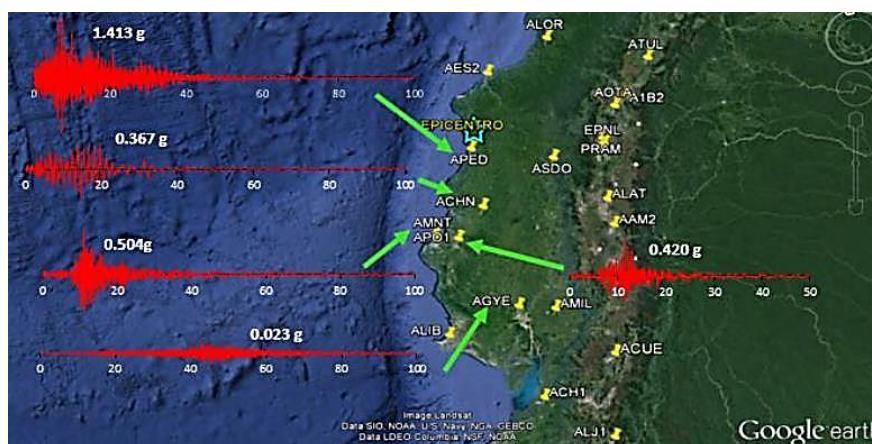


Figura 37 Acelerogramas obtenidos del terremoto 2016 Fuente: (RENAC-IGPN, 2016)

La ciudad de Portoviejo ha sido proclive a diversas amenazas como sismos de gran intensidad al estar situada en un área de alta actividad tectónica, evidenciada por la presencia de fallas corticales y por la zona de subducción, siendo una de las zonas mas activas de los márgenes convergentes en el mundo. (Yépez et al, 2016).

La Ciudad se caracteriza por presentar una predominancia de depósitos del Holoceno principalmente de ambiente fluvial, al mismo tiempo por su geomorfología y ubicación, es propensa a inundaciones causadas por el desbordamiento del río Portoviejo, lo que genera

la saturación del suelo, en especial en épocas donde se desarrolla el Fenómeno del Niño. (Alvarado, 2017).

Actualmente en la Ciudad de Portoviejo existe un incremento poblacional y una gran demanda de ocupación del territorio para la ampliación urbana, lo que crea un aumento de la vulnerabilidad ante diversas amenazas relacionadas con los suelos. (Alvarado, 2017).

En este contexto, la Ciudad de Portoviejo en la actualidad ya cuenta con un mapa de microzonas sísmicas. El estudio de microzonificación sísmica de Portoviejo se resume en subcapítulos como lo son “Características de los sedimentos”, “Selección de microzonas”, “Respuesta esperada de sitio”. La elaboración del mapa de microzonificación sísmica recoge los factores de amplificación de las ondas sísmicas al ser modificadas por el suelo (EPN, 2017).

Dicho mapa de microzonificación sísmica es el producto conjunto del desarrollo de las investigaciones geológicas, geotécnicas y geofísicas del subsuelo. Se documenta con el detallado de la información del subsuelo, que conjuntamente con los ensayos del cálculo de la respuesta sísmica en superficie, han permitido la definición de microzonas sísmicas con diferencias características en los espectros de respuesta (Pilay & Solano, 2019).

Con la información integrada del subsuelo y el análisis de la variación de la respuesta en superficie se elaboraron los perfiles de suelo utilizados en el cálculo de la respuesta sísmica en superficie. La figura 38 muestra en detalle las microzonas para la zona urbana del cantón; se puede notar que exceptuando las zonas cercanas al río Portoviejo, la ciudad se encuentra edificada sobre microzonas M4 y M5. (Alcívar et al, 2021)

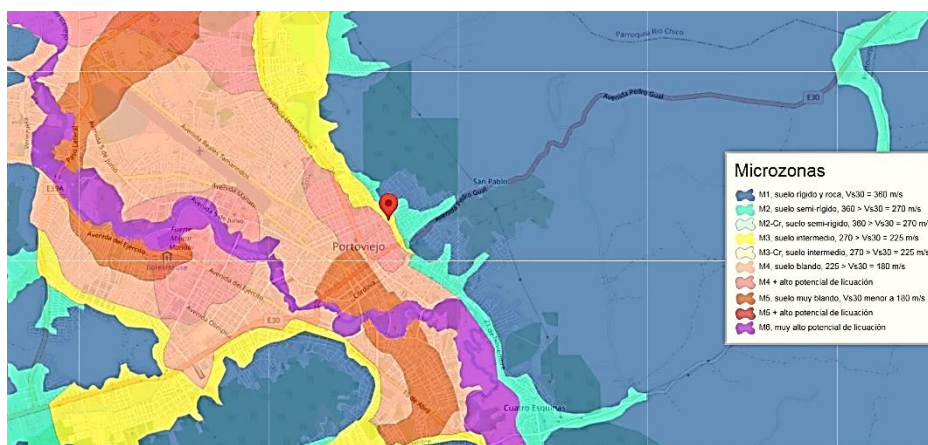


Figura 38 Microzonas sísmicas zona urbana del Cantón Portoviejo Fuente: (Alcívar et al, 2021)

En el marco del proyecto de “Microzonificación sísmica de la ciudad de Portoviejo”, se analizó la presencia de laderas inestables provocadas por el terremoto del 16 de abril del 2016. Para determinar la amenaza de desplazamientos inducido por sismos, se aplicó la metodología de Newmark (1982) en términos de aceleración crítica e intensidad de áreas.

El estudio de microzonificación sísmica presenta espectros de diseño para periodos de retornos de 50, 475, y 2475 años. (Alcívar et al, 2021)

A continuación, se muestran los parámetros variables de los espectros de diseño para PMR=475 años (tabla 25)

MICROZONA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN
<b>M1</b>	Suelo rígido-roca	360 m/s < Vs 30
<b>M2</b>	Suelo semi rígido	270 m/s < Vs 30 ≤ 360 m
<b>M3</b>	Suelo intermedio	225 m/s < Vs 30 ≤ 270 m
<b>M4</b>	Suelo Blando	180 m/s < Vs 30 ≤ 225 m
<b>M5</b>	Suelo muy blando.	Vs 30 ≤ 360 m

Tabla 25 Parámetros variables de los espectros de diseño para PMR=475 años Fuente: (Alcívar et al, 2021)

Como podemos observar, en la tabla anterior no aparece la microzona M6 debido a que esta es una zona crítica ya que se la define como un sector con un elevado potencial de

licuación que genera degradación del terreno. Las microzonas M4 y M5 se identifican como zonas con alto y moderado potencial de licuación.

De acuerdo al estudio de microzonificación sísmica del Cantón Portoviejo, del Gobierno Autónomo descentralizado Municipal del cantón Portoviejo (2017) existen varias fichas que determinan la descripción de cada una de las microzonas, de las cuales tenemos las siguientes características:

- *Microzona M1:* La microzona 1 se ubica en las zonas de afloramiento de lutitas en las laderas del Cantón Portoviejo fuera del límite urbano en zona de reserva (no está prevista para construcciones). En ella se diferencian los sectores: a) M1-RD (roca dura) para  $V_{s30} \geq 760$  m/s; b) M1-RM (roca meteorizada) con  $760 > V_{s30} \geq 560$  m/s; y c) M1-SR (suelo rígido) con  $560 > V_{s30} \geq 360$  m/s. Además, dentro de M1-RD se distinguen sub-sectores con diferentes efectos topográficos denominadas T0, T1 y T2, según su ubicación en la ladera. En la eventualidad que se excepcionalmente se requiera alguna construcción, debe verificarse el valor de  $V_{s30}$  (mediante investigación del sitio: perforaciones geotécnicas, mediciones geofísicas) y la condición topográfica (pendiente de las laderas). Debe revisarse el peligro de deslizamiento según la información contenida en el estudio de microzonificación sísmica.
- *Microzona M2:* La microzona 2-P se ubica en los márgenes de las cuencas sedimentarias de los ríos Portoviejo y Chico; ocupa las quebradas secundarias del sistema fluvial y rampas laterales entre las lutitas y los sedimentos cuaternarios. Corresponde a suelo semirrígido con  $V_{s30}$  entre 270 y 360 m/s.
- *Microzona M3:* La microzona 3-P se ubica en el centro del sistema fluvial del Río Chico en la parte oriental y en la quebrada secundaria hacia Pueblo Nuevo, así como en la parte sur de la cuenca del Río Portoviejo. En la cuenca del Río Chico, esta microzona llega hasta Alajuela y está presente en Río Chico y Abdón Calderón. Corresponde a suelo intermedio con  $V_{s30}$  entre 225 y 270 m/s.

- *Microzona M4:* La microzona 4 se ubica en las zonas bajas en la parte central de la cuenca del Río Chico y en el sur de la cuenca del Río Portoviejo. En las cabeceras parroquiales de Río Chico y Abdón Calderón estos suelos se ubican en la parte más baja. Corresponde a suelo blando con Vs30 entre 180 y 225 m/s. Se ubica en *zona de alto potencial* de licuación; se recomiendan controles especiales para mitigar los efectos que constan de: 1) estudios de suelos para verificar el potencial de licuación; 2) consideración de los efectos de licuación en el sistema de fundación mediante losas de fundación, columnas de gravas o fundaciones profundas; 3) trabajos de mejoramiento del suelo. Se ubica en *zona de moderado potencial* de licuación; se recomiendan controles especiales para mitigar los efectos que constan de: 1) estudios de suelos para verificar el potencial de licuación; 2) consideración de los efectos de licuación en el sistema de fundación mediante losas de fundación, columnas de gravas o fundaciones profundas; 3) trabajos de mejoramiento del suelo.
- *Microzona M5:* La microzona 5 se ubica en los espacios bajos cercanos al río en el oeste de la cuenca y sigue a la avenida Bypass hasta Mejía. Al sur y este del hospital existe otra parte de la microzona 5 que se conecta por el río Portoviejo hacia el noroeste hasta el centro de la ciudad. La microzona 5 se ubica en la planicie de inundación del Río Portoviejo. Corresponde a suelo muy blando con Vs30 menor de 180 m/s. Se ubica en *zona de moderado potencial* de licuación; se recomiendan controles especiales para mitigar los efectos que constan de: 1) estudios de suelos para verificar el potencial de licuación; 2) consideración de los efectos de licuación en el sistema de fundación mediante losas de fundación, columnas de gravas o fundaciones profundas; 3) trabajos de mejoramiento del suelo. Se ubica en *zona de alto potencial* de licuación; se recomiendan controles especiales para mitigar los efectos que constan de: 1) estudios de suelos para verificar el potencial de licuación; 2) consideración de los efectos de licuación en el sistema de fundación mediante losas de fundación,

columnas de gravas o fundaciones profundas; 3) trabajos de mejoramiento del suelo.

- **Microzona M6:** La microzona 6 se ubica en las riberas del río, donde existe muy alto potencial de licuación con peligro de deformación lateral del terreno. Cubre suelos blandos y muy blandos con  $V_{s30}$  menor de 225 m/s. Se recomienda evitar las construcciones en esta microzona, salvo que se cimiente con pilotes profundos.

En lo referente a la conocida como “zona cero” en el centro de Portoviejo está asentada sobre suelos muy blandos, categorizados dentro del mapa de microzonificación sísmica con la categoría M5, como se puede apreciar en la figura 39. Estas características forman en conjunto una zona de alta vulnerabilidad para desarrollar fenómenos en los suelos, como licuefacción, asentamientos, expansividad, entre otros. Estos fenómenos pueden ser simultáneos o posteriores a la amenaza principal, como sismos o inundaciones.

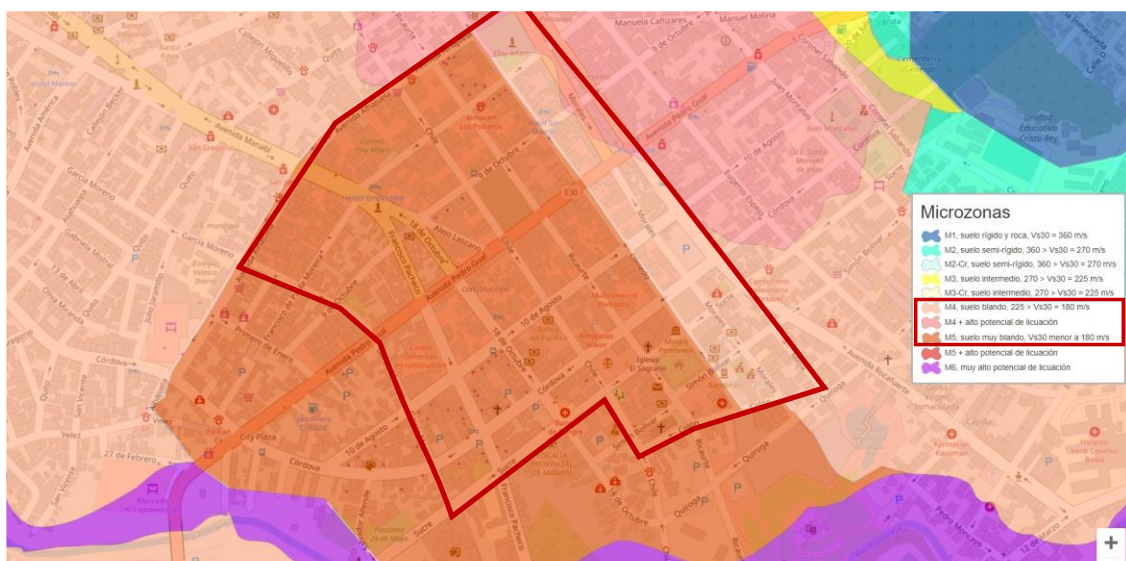


Figura 39 Microzonas sísmicas de la zona cero Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Autores señalan que, indistintamente de que existen edificaciones dentro de una misma tipología estructural, estas experimentan mayor o menor daño a pesar de estar ubicadas en la misma zona, algo que aconteció en la zona cero de la ciudad de Portoviejo. Si al grado de daño que sufre una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características, se

le denomina vulnerabilidad, por ende, se puede clasificar a una edificación como “más vulnerable” o “menos vulnerable”. (Yépez, Barbat y Canas, 1995)

El grado o daño que puede sufrir una estructura puede ser de dos tipos: daño estructural o daño no estructural, entendiéndose el primero como el daño que se produce en elementos que forman parte del sistema resistente de la edificación y en el segundo se pueden agrupar los daños arquitectónicos y a los sistemas mecánicos, eléctricos y sanitarios entre otros. (Yépez, Barbat y Canas, 1995)

La vulnerabilidad es una característica intrínseca de las estructuras, dependiente de la forma como hayan sido diseñadas pero independiente de la peligrosidad sísmica del sitio donde estén ubicadas. Se puede afirmar que cada tipo de estructura tiene su propia función de vulnerabilidad y que el método para la determinación de dicha función varía en la misma forma en que el comportamiento estructural del elemento en riesgo sea distinto. (Caicedo, Barbat, Canas y Aguiar, 1994)

El 16 de abril del año 2016 según el Comité de Reconstrucción y Reactivación (2017); señala que, a finales de diciembre 2016, se llegó a inspeccionar 70.311 edificaciones, de las cuales 20.510 viviendas se consideraron como habitables o seguras; 27.486 fueron consideradas recuperables y 22.315 catalogadas inseguras.

Tanto por el número de eventos como por el número de víctimas, son los países en vías de desarrollo como el Ecuador los que se ven más gravemente afectados. Esto se debe a dos factores fundamentales de acuerdo a Bonachea (2006):

- *Localización*: esos países, en conjunto, abarcan una extensión mucho mayor y, además, se encuentran en muchos casos en zonas de intensa actividad geodinámica.
- *Desarrollo económico, social, político y cultural*: es frecuente que en estos países no existan, o no se apliquen, normas o políticas de ordenación territorial que tengan en cuenta los riesgos naturales; también suele ser limitado el grado



de preparación de la población o la organización de planes de prevención y corrección de riesgos.

En el proceso de estudio del grado de vulnerabilidad hay que recordar que, todo sistema constructivo es susceptible de ser afectado por un sismo. En la actualidad existe diversidad de literatura sobre el estudio de la vulnerabilidad de algunos elementos en riesgos como líneas de conducción de energía, red de distribución de aguas, puentes, edificaciones, entre otros (Caicedo, Barbat, Canas y Aguiar, 1994)

Un buen diseño estructural sismo-resistente es clave para la impedir el colapso de la estructura, cumpliendo con un nivel de prevención de colapso (sismos extremos), y proteger la vida de sus ocupantes ante un sismo, cumpliendo con un nivel de seguridad de vida (sismo de diseño), lamentablemente en Ecuador la aplicación de criterios de diseños sismo-resistente no se han aplicado de manera correcta. (Menéndez et al, 2023)

Safina (2003) expresa que los códigos de diseño sísmico son básicamente estrategias para reducir el nivel de riesgo de las edificaciones y otras instalaciones calificadas de importancia vital para atender situaciones de emergencias debido a un evento sísmico.

Con la creación y aplicación de las normas y códigos existentes, se pretendía mitigar los daños y preservar la vida ante un evento sísmico de gran magnitud. No obstante, la existencia de estas normas no asegura su aplicación. La vulnerabilidad de las edificaciones y de la vida está presente, en edificaciones construidas sin normas o sin control técnico por parte de autoridades municipales o instituciones gremiales de la rama, lo cual quedó evidenciado el 16 A. (Menéndez et al 2023)

Dentro de las nuevas tendencias de la Ingeniería Sísmica, reconocen la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de los edificios en entornos urbanos, ya que los edificios ante la ocurrencia de fuertes sismos son los responsables de evitar verdaderas catástrofes y que hasta la fecha continúa dejando grandes pérdidas económicas y víctimas mortales. (Bonett 2003)

## **5.2 Comportamiento de las viviendas de hormigón armado en el terremoto**

El Centro de Portoviejo antes del sismo del 16 de abril de 2016 se dedicaba a actividades de negocios con una intensa actividad comercial y de servicios, era el centro de negocios al que acudían de varios cantones aledaños a la ciudad para abastecer de productos de consumo a la ciudad y además comprar diferentes productos. Un censo del centro de Portoviejo en el 2015 reveló que era poco habitado, con pisos altos de vacíos y que sus edificios estaban ocupados por oficinas, comercios, bodegas, consultorios, entidades del sector público y empresas privadas. (Aguiar y Mieles, 2016)

La construcción de edificios de hormigón armado en Portoviejo se consolidó en la nueva zona comercial en los años 80 del siglo pasado, diseñadas con normas antiguas, calculados si acaso para cargas verticales; en varios casos agregando pisos adicionales y sin una adecuada dirección técnica, empleando hormigón de baja calidad. (Aguiar y Mieles, 2016)

En la ciudad de Portoviejo, varias edificaciones llegaron al colapso debido a las modificaciones en la configuración estructural, ya que estas suelen ser el inicio que provoca este tipo de efecto o patología, en la mayoría de casos registrados esto sucede por iniciativa de las personas, en base a esto, López (2017), a través de la información recopilada en la considerada zona cero evidencia que “se realizaron cambios en fachadas con materiales poco livianos e incluso se aumentaron pisos que no estaban en el concepto original del edificio sometiendo las estructuras a cargas superiores a la que fue diseñada”

### **5.2.1 Daños en las estructuras de hormigón armado.**

Tomando información de la investigación de Aguiar (2016), en el presente apartado se colocarán los resultados de la evaluación de varios edificios de la zona cero que tuvieron colapso total, evidenciando que todos presentaban patologías estructurales advertidas en diversos trabajos como responsables de colapsos de estructuras en sismos pasados. (Aguiar, 2010).

Alrededor de 40 edificios de la zona cero de Portoviejo, colapsaron durante el terremoto y otros quedaron en pie, pero serán derrocados o a lo mejor ya fueron botados por el Municipio previo informe del Ministerio de la Vivienda (MIDUVI) y con consentimiento de los propietarios del edificio.

La mayor parte de las construcciones caídas estaban ubicados en esquinas de calles (edificios abiertos), con poca rigidez por las aberturas de ventanas, suelos saturados, con depósitos aluviales o cercanos al margen del río Portoviejo.

Entre los daños que se observaron en las estructuras de hormigón armado están los siguientes:

- *Columna Corta*: El daño con mayor proporción observado es el de columna corta, producido por mampostería que se construyen integradas a la columna, las cuales se crean generalmente por una disposición inapropiada de las paredes o por consideraciones erróneas tomadas durante el cálculo estructural. Este tipo de columnas presenta primero falla frágil por cortante antes que falla dúctil por flexo compresión. Para que las estructuras no colapsen durante un terremoto éstas deben ser capaces de absorber y disipar la energía entrante mediante elementos estructurales que tengan ductilidad. (figura 40)



*Figura 40 Daños por columna corta registrado en Portoviejo Fuente: (Aguar, 2016)*

- *Columna débil viga fuerte*: Varios de los edificios de la zona cero tuvieron patologías como de columna débil viga fuerte mencionadas en el apéndice 5.6.2 de la NEC como condición de inestabilidad (NEC-SERE, 2015). Si la viga es

más fuerte que la columna, fallará primero el elemento vertical y con ello se pone en peligro la seguridad estructural. En una buena parte de estructuras diseñadas hace más de 40 años se construía de esta manera y los edificios de la zona cero de Portoviejo no fueron la excepción. En una visita efectuada por los autores de la investigación en mención al edificio antes de la demolición, se encontró en el nivel 5, (figura 41) un mal detallamiento del acero, por el traslape de todo el refuerzo longitudinal de las columnas de todo el nivel 5 en la zona del nudo de unión viga-columna, lo que hace presumir que durante la etapa constructiva se pusieron las varillas hasta ese nivel, sin cuidar el detalle y traslapar solo la mitad del acero en la mitad de la columna y no en nudo. Además, los estribos en la zona del nudo eran de 10 mm cada 15 cm, con un solo núcleo de confinamiento en una columna de 60x60 cm.

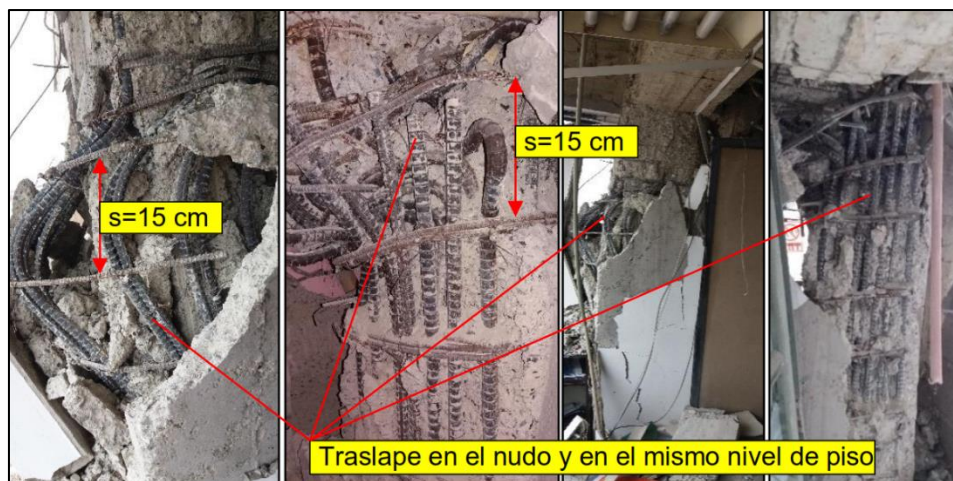


Figura 41 Daños en columna de nivel 5 en Portoviejo Fuente: (Aguiar, 2016)

- *Falta de confinamiento en la unión viga columna y en las vigas y columnas:* Muchas edificaciones también fallaron por falta de confinamiento en la unión viga columna y en las vigas y columnas; dado que fueron construidas con normas antiguas donde la separación de estribos se especificaba a una distancia “d” mayor que la usada actualmente para confinamiento, pero que para la época estaban bien construidas. Posteriormente el ACI 318 1995 lo especificaba a “d/2” (ACI-318-95, 1995), luego el ACI 318 2005 lo cambia a una

distancia no mayor de 15 cm con barras de 10 mm, y no exceder 16 diámetros de barra longitudinal, 48 diámetros de barra de los estribos, o la menor dimensión del elemento sometido a compresión (ACI-318S-05, 2005). Estos requisitos fueron cambiados después al reconocer la importancia del confinamiento y actualmente la NEC establece que deben ser de 10 mm como mínimo con una separación no mayor que 10 cm o 6 *db*. La imagen siguiente muestra estribos de 6 mm lisos y de 8 mm, con separaciones excesivas e inclusive se presume un error constructivo pues la columna que se muestra, carece de estribos, al menos no se los ve en la zona que falló durante el terremoto del 16 A (figura 42)



Figura 42 Fallas por falta de confinamiento en columnas. a) Estribos muy separados. b) estribos de 8 mm. c) No se aprecia el estribo Fuente: (Aguilar, 2016)

- **Edificio Abierto:** Ya se indicó que otra de las fallas fue la llamada edificio abierto y se dio en edificios esquineros que tienen poca área de terreno, por lo que prácticamente se construye en todo el sitio con paredes perimetrales con las construcciones vecinas. Por otro lado, como son edificios comerciales en las fachadas que dan a la calle se tienen grandes ventanales de tal manera que tienen una gran excentricidad estática entre el centro de masas y el centro de resistencia que se encuentra hacia el lado de los muros.

- *Piso blando*: Otra de las causas del colapso de edificios fue la falla denominada piso blando que se da no solamente en la planta baja, sino en cualquier piso en el que se tenga una menor rigidez en el piso inferior y mayor en el piso superior. Si se construye con columnas de la misma sección transversal pero la planta baja debe tener una altura de 5 m, por ordenanzas municipales y las superiores de 3 m; evidentemente se va a dar la falla de piso blando. Esta fue la causa principal para que varios edificios de la zona cero colapsen. (figura 43)



*Figura 43 Fallas por piso blando. Edificio antes y después del terremoto Fuente: (Aguar, 2016)*

- *Adición de pisos no planificados en el cálculo original*: En varios casos se observó una longitud de desarrollo inapropiada para continuar con la columna de los pisos superiores que transmite solo cargas verticales por medio de una articulación que no forma un nudo rígido para resistir momento, de este tipo se observa un hotel construido a fines de la década de 1970, el Hotel Cabrera mostrado en la figura 44, cuyas columnas se arrancaron del piso y se evidencia que el traslape no alcanzó a desarrollar su fluencia por la pequeña cantidad embebida.



Figura 44 Columna con traslape y detallado deficiente Fuente: (Aguiar, 2016)

- *Licuefacción de suelos:* En varios lugares aledaños al cauce actual o antiguo del río Portoviejo se dieron fenómenos de licuefacción de suelos, que se origina cuando las arenas o limos tratan de acomodarse al vibrar, deja espacios y drena el agua presente en los poros, lo que provoca asentamiento de la estructura, lo que se agravó debido por la inundación del río coincidente el día del sismo. En la figura 45 se observa el asentamiento de todo un bloque de una vivienda en el sector del Puente Rojo de Portoviejo, que se inclinó notablemente, provocado por la licuefacción de las arenas de cimentación y los daños causados al parqueadero de una concesionaria de vehículos por la misma causa.



Figura 45 Fallas estructurales por licuefacción de suelos Fuente: (Aguiar, 2016)

A criterio de Aguiar en su investigación; la principal falla que tuvieron los edificios de la zona cero de Portoviejo, que colapsaron durante el terremoto fue que se diseñaron estructuras flexibles sin la presencia de muros de corte, solo con vigas y columnas. Se

espera que a futuro se construyan edificaciones rígidas donde lo normal sea tener muros de corte en edificios de más de cuatro pisos.

### **5.3 Comportamiento de las Viviendas de caña guadúa en el terremoto**

El terremoto del 16 de abril y consiguientes réplicas de hasta 6.8 Mw causaron daños a una gran cantidad de viviendas. Según un informe al 22 de abril de 2016 realizado por la Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, se ha informado que hay más de 1.125 edificios destruidos y más de 829 están afectados, incluyendo 281 escuelas. Adicionalmente, hay 25.376 personas refugiadas en albergues colectivos. (Alfaro y Piso, 2016)

En la República del Ecuador, el bambú en el campo de la construcción estaba subestimado y poco conocido, sin embargo, la edificación con bambú ha reivindicado su importancia luego del terremoto del 16 de abril de 2016, que devastó las provincias de la costa ecuatoriana de Esmeraldas y Manabí, al respecto se debe señalar que, quedaron destruidas las edificaciones realizadas con sistemas constructivos convencionales (estructuras de hormigón armado), y luego de las evaluaciones a las viviendas, se reportaron 70.080 unidades habitacionales afectadas de las cuales 22.426 fueron consideradas inseguras que debían ser demolidas (Cámara de Comercio de Quito, 2018). Luego del sismo, Mero (2019) expone que el gobierno y las personas "se dieron cuenta que a las construcciones en caña no les había pasado nada y ahora lo aprecian muchísimo", es decir es un material que es sismo resistente.

Según la Oficina de la ONU para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, más de un millón de personas fueron afectadas, las labores de reconstrucción se mantienen y los habitantes de las zonas buscan rehacer sus actividades productivas.

De acuerdo a datos del INEC (2010) alrededor del 35% del total de las viviendas en la provincia de Manabí son de madera y bambú. Según la información levantada en los refugios por medio de entrevistas a familias afectadas, el 30% de las familias entrevistadas habitaba



en una casa de madera o bambú. Las viviendas construidas con madera y bambú se encuentran en mayor proporción en áreas rurales.

### **5.3.1 Daños en las viviendas de caña guadua.**

Debido a una carencia de toxinas naturales el bambú no posee una durabilidad natural para frenar su deterioro (Janssen, 2000). Adicionalmente, sus paredes típicamente delgadas significan que una cantidad pequeña de afectación puede tener un porcentaje significativo de pérdida de capacidad de carga estructural.

Durante el terremoto, la vulnerabilidad de las viviendas de bambú estuvo enmarcada por las propias y especiales características del material utilizado en ella: pisos y paredes, por las cubiertas metálicas, por su estructura portante y el suelo en el cual se asienta, características todas ellas de tipo físico. (Añazco, 2013)

Sin embargo, es necesario mencionar que, a pesar de la acción destructiva ocasionada por el terremoto a las viviendas de bambú, sus daños prácticamente han sido irrelevantes, como lo veremos más adelante.

Entre los daños que se observaron en las viviendas de caña guadua están los siguientes:

- *Desplazamientos de paredes:* Debido a la susceptibilidad del bambú a la putrefacción, las termitas y los escarabajos, las casas construidas a partir de bambú generalmente requieren más mantenimiento que otras. Sin embargo, a menudo los propietarios no pueden permitirse el mantenimiento o no son conscientes de su importancia y esto ocasionó durante el terremoto que muchas de sus mamposterías se desplacen de la estructura. (figura 46)



Figura 46 Desplazamiento de mamposterías de viviendas en caña Fuente: (Web, 2021)

- **Inexistencia de cimientos:** Todos los edificios requieren de muros de corte o de elementos de arriostramiento para resistir las cargas de terremotos y el viento, y muchas de las estructuras de bambú existentes no los tenían. Los cimientos en varias casas de bambú, prácticamente no existían ya que; por costumbre, solo clavan o entierran los extremos inferiores de sus pilares “de madera” situación que trajo alta vulnerabilidad de las mismas. Siendo materiales orgánicos de reducida densidad son afectados por la humedad, se disminuye su sección y por tanto se reduce su resistencia. La pudrición y fractura de los extremos enterrados provocaron colapsos o asentamientos diferenciales. (figura 47)



Figura 47 Inexistencia de cimientos en viviendas en caña Fuente: (Web, 2021)

- *Licuefacción de suelos:* En varios lugares aledaños al cauce actual del río Portoviejo o del estuario de la boca de crucita, se dieron fenómenos de licuefacción de suelos, en la figura 48 se observa el desplazamiento de una vivienda de caña provocado por la licuefacción de las arenas de cimentación.



Figura 48 Desplazamientos de viviendas por efectos de licuefacción del suelo Fuente: (Web, 2021)

- *Elementos mal conectados:* Las conexiones son típicamente las áreas más débiles de una estructura, y muchas estructuras existentes usan juntas tradicionales débiles. En las construcciones tradicionales uno de los problemas que se suelen encontrar es que el armado de los elementos estructurales en caña guadua no se los hace siguiendo la normativa adecuada, lo que ocasiona que se utilicen técnicas y materiales inadecuados para estos procesos. (figura 49)



Figura 49 Mal armado de elementos estructurales en viviendas en caña Fuente: (Diario el Universo, 2021)

- *Uso de materiales punzantes:* Una de las fallas comunes que se encontraron en las viviendas de caña post terremoto es que las estructuras utilizaban para sus

uniones los denominados “clavos” lo que ocasionó en las estructuras que las fibras de las cañas se separen de las estructuras. (figura 50)



Figura 50 Separación de elementos en viviendas en caña Fuente: (El autor de esta investigación, 2021)

- *Mantenimiento inadecuado de estructuras:* El bambú es muy susceptible tanto a las termitas como a los escarabajos, ambos muy comunes en Ecuador, por lo que necesita ser tratado para protegerse contra ellos. Este fue otro de los elementos comunes y causantes de las fallas durante el terremoto, y es que, las estructuras de las viviendas carecían del debido mantenimiento que generalmente de acuerdo a lugar donde se implanta debe ser al menos cada seis meses. (figura 51)



Figura 51 Mantenimiento inadecuado en viviendas en caña Fuente: (Inza arquitectura, 2022)

- *Falta de elementos de sujeción del revestimiento:* Entre las fallas de las viviendas de caña guadua se encuentra también el desprendimiento de los recubrimientos de las paredes (mortero, barro o quincha); esto se da debido a

que no existieron elementos de sujeción que logran la unión del mortero con la caña guadua. (figura 52)



Figura 52 Desprendimiento de recubrimientos en viviendas en caña Fuente: (Autor de la investigación y Alfaro, 2021)

- *Estructura a la intemperie*: Una de las recomendaciones de la NEC-SE-GUADUA es que las estructuras de una vivienda en caña guadua deben estar cubiertas de elementos nocivos como la lluvia y el sol, debido a que estos destruyen el material. En el análisis realizado en las viviendas post terremoto, se notó que varias de ellas tenían su estructura descubierta con aleros lo que ocasiono que el material se desmejore y se desplace, se caiga o se debilite. En viviendas de dos plantas se notó mucho más este problema. (figura 53)



Figura 53 Estructuras sin protección de aleros en viviendas en caña Fuente: (Alfaro, 2021)

Como hemos observado; si bien las viviendas en caña guadua sufrieron daños durante el terremoto, la mayoría de estos se dieron por una mala aplicación de la normativa o por un

mantenimiento deficiente en la protección del bambú; pero queda en evidencia que su comportamiento durante el sismo a diferencia de las viviendas de hormigón fue mejor.

Zambrano y Viteri (2021) en su investigación también confirman que: Este beneficio del material se evidenció en el sismo sucedido en el 2016 en las Provincias de Manabí y Esmeraldas, donde el MIDUVI calificó 36.149 viviendas, es decir, el 73% como dañadas o destruidas, sin embargo, las viviendas realizadas con caña guadúa resistieron mejor el impacto.

También El diario “El Productor” (2016) reportó que las viviendas de bambú “no se destruyeron ante el sismo, y se evidencia en como algunas antiguas viviendas de este material permanecían de pie al lado de otras de cemento que habían colapsado”

#### **5.4 Fichas de evaluación de viviendas en el Ecuador**

La mayor parte del territorio ecuatoriano está ubicado en zonas de alto peligro sísmico, es por esto que las edificaciones tienen grandes posibilidades de sufrir daños frente a un evento sísmico. En consecuencia, el diseño de estructuras debe tomar en cuenta las normas sísmo resistentes y su ejecución debe estar debidamente fiscalizada. Sin embargo, es importante recordar que la aplicación de las normas de construcción sísmo resistentes, no garantizan que una edificación no presente daños ante un sismo de gran magnitud. (MIDUVI, 2021)

Como todos sabemos la ficha de evaluación rápida, es una herramienta que permite evaluar de manera práctica y detallada los aspectos más importantes sobre los daños causados por diversos fenómenos naturales. Por ser una evaluación rápida la información que se recopila corresponde a datos generales que permiten identificar el inmueble y las afectaciones de una forma preliminar. (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural INPC, 2019)

El objetivo de la evaluación rápida es inspeccionar en un corto tiempo y de manera sencilla y eficiente los inmuebles afectados en el área de impacto, de tal manera que se pueda

definir las condiciones de daño de los inmuebles y la seguridad de los mismos después del evento (MIDUVI, 2016)

En el Ecuador, existen dos instituciones que han logrado crear fichas para poder generar procesos de evaluación rápida; el inconveniente de esto, es que estas fichas son utilizadas de manera particular por cada una de estas instituciones y no son documentos que puedan utilizarse en otras instancias. Las instituciones y los documentos a los que se hace referencia son:

- *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*: Formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones propiedad del MIDUVI.
- *Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador (INPC)*: Guía técnica del proceso de evaluación rápida post evento.

#### **5.4.1 Ficha de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.**

Para conocer el contenido de la ficha de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, usaremos la información del manual de procedimiento administrativo y técnico para la evaluación de las edificaciones de propiedad del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (MIDUVI, 2021).

La finalidad de esta ficha es la de Identificar las infraestructuras, edificaciones y construcciones existentes de propiedad del MIDUVI, en especial las de alta concurrencia de personas, que no cumplan con las normas sobre construcción y riesgo establecidas por los entes rectores en materia de hábitat y vivienda y gestión de riesgos; y que, su incumplimiento ponga en peligro dichas estructuras frente a fenómenos naturales; para proteger la vida e integridad física de sus ocupantes; y, levantar la información y generar una base de datos con el registro de los procesos de evaluación de las infraestructuras, edificaciones y construcciones existentes, en especial las de alta concurrencia de personas de propiedad del MIDUVI.

El objetivo de la evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones es el de realizar la inspección visual rápida de todas las infraestructuras, edificaciones y construcciones existentes indicadas en el artículo 3 de la Resolución Nro. 008-CTUGS-2020, a fin de recopilar los datos para la categorización de las estructuras a evaluarse y determinar su probabilidad de Vulnerabilidad Sísmica, según las recomendaciones de la FEMA P154, que se utiliza para estructuras para el nivel de desempeño para Prevención de Colapso antes de que suceda un evento sísmico.

La evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones, está basada en la FEMA P154, la cual fue desarrollada para que profesionales de la construcción evalúen infraestructuras, edificaciones y construcciones existentes; y las clasifican en tres categorías:

- *De vulnerabilidad baja:* En cuanto a daños y seguridad de los ocupantes frente a un sismo.
- *De vulnerabilidad media:* Que estarían dentro de los parámetros aceptables de la FEMA P154.
- *De vulnerabilidad alta:* Los cuales necesitan un estudio más detallado, realizado por un ingeniero experto en diseño estructural

A continuación, mostramos el formulario (figura 54) que debería usarse en Portoviejo de acuerdo a la microzonas existentes y detallaremos cada uno de sus apartados:



Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES

Nivel 1

Muy alta sismicidad

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154

100 FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE		101 DATOS EDIFICACIÓN	
		102 Nombre de la Edificación:	
		103 Dirección:	
		104 Sitio de referencia:	
		105 Código Postal	
		106 Tipo de uso:	
		107 Latitud:	
		108 Longitud:	
		107A Zona:	
		107B Norte:	
		108A Este:	
		109 S:	
		110 S1:	
		111 DATOS DEL PROFESIONAL	
		112 Nombre del evaluador:	
		113 Cédula del evaluador:	
		114 Registro SENESCYT:	
		115 Fecha:	
		116 Hora:	
		117 DATOS CONSTRUCCIÓN	
		118 Número de Pisos:	
		119 Sobre el Suelo:	
		120 Bajo el Suelo:	
		121 Año de construcción:	
		122 Área de Construcción:	
		123 Código Avic:	
		124 Área Remodelación:	
		125 Adiciones:	
		126 Número de Predio:	
		127 Clave Catastral:	
		200 OCUPACION:	
		201 Asambleas:	
		202 Industria:	
		203 Utilidad:	
		203A Histórico:	
		204 TIPO DE SUELO:	
		204A Roca:	
		204B Roca Débil:	
		204C Roca Densa:	
		204D Suelo Blando:	
		204E Suelo Pobre:	
		204F Suelo DNK:	
		204G Suelo DNK (A Sum tipo D):	
		205 RIESGOS GEOLÓGICOS	
		206 Licuefacción:	
		206A SI:	
		206B NO:	
		206C DNK:	
		207 Adyacencia:	
		207A Golpes:	
		207B Peligro de caída del Edificio Adyacente:	
		208 Irregularidades:	
		208A Elevación (Tipo/severidad):	
		208B Planta (Tipo):	
		209 Peligro de Caída Exteriores:	
		209A Chimeneas sin soporte lateral:	
		209B Reves. Pesado o de chapa de madera pesada:	
		209C Otros:	
		209D Apéndices:	
		209E Parapetos:	
		210 COMENTARIOS	
		Dibujos o comentarios en una página aparte	
300 ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACIÓN		TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	
301 Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos		W1 309 Pórtico Hormigón Armado C1	
302 Porticos de madera Livianos múltiples unidades, múltiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2		W1A 310 Pórtico H. Armado con muros de corte C2	
303 Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un área de piso mayor a 500m2		W2 311 Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo C3	
304 Pórtico Acero Laminado (Pórtico Resistente a Momento)		S1 312 Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up) PC1	
305 Pórtico Acero Laminado con diagonales		S2 313 Pórtico de H. Armado prefabricados PC2	
306 Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío		S3 314 Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles RM1	
307 Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón		S4 315 Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos RM2	
308 Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque		S5 316 Edificios de Mampostería no reforzada URM	
		317 Vivienda prefabricada MH	
400 PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1		TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	
401 PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)		W1 W1A W2 S1 S2 S3 S4 S5 C1 C2 C3 PC1 PC2 RM1 RM2 URM MH	
402 PUNTAJE BÁSICO		2.1 1.9 1.8 1.5 1.40 1.6 1.4 1.2 1 1.2 0.9 1.1 1 1.1 1.1 0.9 1.1	
403 IRREGULARIDADES			
403A Irregularidad vertical Grave, VL1		-0.9 -0.9 -0.9 -0.8 -0.7 -0.8 -0.7 -0.7 -0.7 -0.8 -0.6 -0.7 -0.7 -0.7 -0.7 -0.6 NA	
403B Irregularidad vertical Moderada, VL1		-0.6 -0.5 -0.5 -0.4 -0.4 -0.5 -0.4 -0.4 -0.3 -0.4 -0.4 -0.4 -0.4 -0.4 -0.4 -0.3 NA	
403C Irregularidad en planta, PL1		-0.7 -0.7 -0.6 -0.5 -0.5 -0.6 -0.4 -0.4 -0.4 -0.5 -0.3 -0.5 -0.4 -0.4 -0.4 -0.3 NA	
404 CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN			
405A Pre-código moderno ( construido antes de 2001) o auto construcción		-0.3 -0.3 -0.3 -0.3 -0.2 -0.3 -0.2 -0.1 -0.1 -0.2 0 -0.2 -0.1 -0.2 -0.2 0 0	
405B Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
405C Post código moderno (construido a partir de 2015)		1.9 1.9 2 1 1.1 1.1 1.5 NA 1.4 1.7 NA 1.5 1.7 1.6 1.6 NA 0.5	
406 SUELO			
406A Suelo Tipo A o B		0.5 0.5 0.4 0.3 0.3 0.4 0.3 0.2 0.2 0.3 0.1 0.3 0.2 0.3 0.3 0.1 0.1	
406B Suelo Tipo D		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
406C Suelo Tipo E (1-3Pisos)		0 -0.2 -0.4 -0.3 -0.2 -0.2 -0.2 -0.1 -0.1 -0.2 0 -0.2 -0.1 -0.2 -0.2 0 -0.1	
406D Tipo de suelo E (>3 Pisos)		-0.4 -0.4 -0.4 -0.3 -0.3 NA -0.3 -0.1 -0.1 -0.3 -0.1 NA -0.1 -0.2 -0.2 0 NA	
407 Puntaje Mínimo		0.7 0.7 0.7 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.3 0.3 0.3 0.2 0.2 0.3 0.3 0.2 1	
408 PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1 > SMIN			
500 GRADO DE REVISIÓN		600 OTROS RIESGOS:	
501 Exterior:		700 ACCIÓN REQUERIDA:	
<input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Todos los Lados <input type="checkbox"/> Aéreo <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Visible <input type="checkbox"/> Completo		Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada? 601 <input type="checkbox"/> Golpeo Potencial (a menor que SL2>limite, si es conocido) 602 <input type="checkbox"/> Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos 603 <input type="checkbox"/> Riesgo geológico o tipo de Suelo F 604 <input type="checkbox"/> Daño significativo/deteriorado del sistema estructural	
502 Interior:		Requiere evaluación estructural detallada? 701 <input type="checkbox"/> Si tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio 702 <input type="checkbox"/> Si puntaje menor que el limite 703 <input type="checkbox"/> Si otros peligros presentes 704 <input type="checkbox"/> NO Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x) 705 <input type="checkbox"/> Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados 706 <input type="checkbox"/> No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada 707 <input type="checkbox"/> No, no se identifican peligros no estructurales 708 <input type="checkbox"/> DNK= no conoce	
503 Planos revisados: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
504 Fuente del Tipo de suelo:			
505 Fuente del Peligro Geológico:			
506 Personas de Contacto:			
Celular:			
Correo:			
Cuando los datos no pueden ser verificados, el inspector deberá anotar lo siguiente: EST=Estimado o dato no fiable O DNK= No conoce			
800 OBSERVACIONES:			
FIRMA RESPONSABLE EVALUACIÓN			

Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NBRP report, ATC, California  
Modificado: Diciembre, 2021

Modificado por: Ing. Paul Ornedo  
Revisado por: Ing. Jacobo Moral  
Aprobado por: Ing. Jacobo Moral  
SHEP-MIDUVI

Figura 54 Formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica edificaciones del MIDUVI  
Fuente: (MIDUVI, 2021)

Para la Selección de la Región sísmica se debe acudir al Instructivo que se anexa en el formulario, en el caso del centro de Portoviejo y debido a la microzona sísmica de la ciudad y por encontrarse en la Costa ecuatoriana se debe escoger el formulario de “muy alta sismicidad”

A partir de ahora, mostraremos cómo llenar el formulario de evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones. Se usará un formulario para cada edificación. El formulario se lo debe llenar mientras se realiza la visita de campo. Como se podrá ver más adelante, el formulario se ha diseñado para que se llene de una manera progresiva y con un mínimo de escritura y posteriormente los datos complementarios e información relevante se la completará en la oficina al igual que la elaboración del informe.

- *Fotografía y esquema estructural del inmueble:* Se debe adjuntar una fotografía de la fachada principal de la edificación que sea fácil de ubicar. En cuanto al esquema Estructural se debe realizar un rápido levantamiento de los ejes entre columnas o las distancias exteriores de la edificación.
- *Datos de la edificación ítems 101 al 110:* En estos ítems se debe llenar los datos necesarios para la identificación de la Edificación, del 101 al 105 incluye Nombre de la Edificación hasta Código Postal. Del 107 al 108A se anotará las coordenadas geográficas tanto en Latitud como en Longitud, al igual se puede utilizar las coordenadas UTM, con Zona, Norte y Este. Finalmente, en las casillas 109 y 110 se anotará los valores de Aceleraciones en periodos cortos y periodos largos.
- *Datos del profesional ítems 111 al 116:* En los ítems 111 al 114 Se anotará los datos del evaluador quien suscribe el formulario y el Informe. En los ítems 115 al 116 se colocará la fecha y hora de la inspección.
- *Datos de construcción ítems 117 al 127:* En los ítems 119 y 120 se indicará el número de pisos sobre el suelo y bajo el suelo según el esquema estructural

levantado. En el ítem 121 al 124 se anotará el año de construcción, el Código utilizado para el diseño si el inmueble tuvo remodelaciones o reforzamiento o adiciones en planta o elevación simplemente. Para finalizar esta sección en el ítem 126 y 127 se anotará el número de predio y clave catastral.

- *Datos de ocupación ítems 200 a 203A:* Se debe marcar con una "X" el tipo de uso o como está siendo ocupada la edificación indicando en los ítems 200 a 203 A: asambleas, comercial, servicios de emergencia, industria, oficina, educación, utilidad, almacén, residencial, histórico, albergue, publico. Si por algún motivo, el año de construcción no se puede obtener, se hará una estimación, basándose en el estilo, tipo de construcción y uso de la edificación. Eso se expondrá en la parte inferior del formulario (Observaciones).
- *Datos de tipo de suelo ítems 204 a 204C:* Para los ítems 204 se debe indicar el tipo de suelo, cabe recalcar que las edificaciones cimentadas en suelos tipo A y B, no se consideran que puedan ser afectadas significativamente frente a un sismo. Las puntuaciones básicas se calcularon asumiendo el tipo de suelo CD (la media del tipo de suelo C y del tipo de suelo D). Por lo tanto, no se aplica ningún modificador de puntuación cuando se da uno de estos tipos de suelo. No hay modificador de puntuación para el tipo de suelo F porque los edificios que se encuentran en el tipo de suelo F no pueden ser examinados eficazmente. Si el edificio se encuentra en el Tipo de Suelo F, el evaluador debe anotar que existen "Riesgos geológicos o Tipo de Suelo F" en la parte de Otros Riesgos del formulario, lo que activará una Evaluación Estructural Detallada para el edificio. En el caso de No poseer la información se debe asumir como tipo D, sin embargo, esto se debe indicar en las observaciones y marcarlo con una X en la última casilla.
- *Datos de riesgos geológicos ítems 205 a 206C:* En la investigación preliminar o en la indagación con los moradores de la zona se puede determinar si hay algún riesgo Geológico como se indica en los ítems 205 al 206 como Licuefacción,

Deslizamientos, Ruptura de Superficie, también esta información se la puede solicitar al SNGRE o si se ha hecho algún estudio en la zona.

- *Datos de adyacencia ítems 207 a 207B:* Una de las amenazas que sufre una edificación es cuando tiene edificios que no dejan una junta sísmica y existe el riesgo que sea golpeado por un edificio de menor altura y se puede producir que este caiga sobre el otro.
- *Datos de irregularidades ítems 208 a 208B:* Se marcará en los ítems 208 si existe irregularidades en planta o elevación según el relevamiento del sistema estructural y la inspección del sitio.
- *Datos de peligro de caída exteriores:* Se observará al momento de la inspección si existe peligro de caída de elementos que puedan afectar a la seguridad de las personas que transitan fuera del edificio. Se debe marcar en los ítems 209: Chimeneas sin soporte Lateral, Revestimiento Pesados, o enchapados de Madera, Apéndices, parapetos y otros.
- *Comentarios:* En este ítem se indicará algún comentario referente a la información levantada en situ o faltante, también se marcará si existen dibujos complementarios en la parte de atrás u hojas adjuntas al formulario.
- *Tipología del sistema estructural:* La evaluación visual rápida de vulnerabilidad frente o anterior a un evento sísmico, supone que el profesional a cargo será capaz de determinar el sistema estructural de la edificación en estudio. Lo más probable es que la tipología estructural no se pueda determinar en la etapa de planificación, antes de la visita de campo. Los subsuelos, en el caso de edificios, son los mejores sitios para reconocer un sistema estructural. Si por algún motivo, no se puede determinar la tipología de la estructura, y el acceso a la edificación es imposible, el evaluador deberá eliminar aquellos sistemas estructurales que sean imposibles para la estructura en estudio y calificar las posibles opciones que quedan. El resultado final, S, que se considere será el de

menor valor. (GESRE,2016). Para las tipologías del sistema estructural se debe identificar por el profesional de Ingeniería civil a cargo de la evaluación sin embargo no todas las tipologías existen en el medio. La recomendación de la FEMA cuando exista otro sistema estructural que no se encuentre descrita en la ficha se debe realizar una evaluación estructural detallada.

- *Puntajes básicos, modificadores y puntaje final nivel 1, sl1, ítems 400 a 401:* Para definir el puntaje Básico se lo realiza según la tipología del Sistema Estructural que corresponde a cada uno. Se llaman modificadores a los principales factores que afectan significativamente el desempeño de la edificación que se evalúa. Cada uno de estos modificadores tienen un valor y corresponde a cada tipología del sistema estructura.
- *Irregularidades:* Se definirá el tipo de irregularidad como se describe en el punto “irregularidades en planta” de esta guía. Y se les debe marcar también en los ítems 208.
- *Códigos de construcción:* En los ítems 405 se definirá el código de construcción utilizado para el diseño estructural por eso es indispensable poseer el dato de año de construcción.
- *Tipo de suelo:* Para este modificador se debe indicar el tipo de Suelo definido en el ítem 204. Para la caracterización del suelo también nos podemos ayudar con las recomendaciones del capítulo de seguridad estructural NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente.
- *Puntaje mínimo y puntaje final:* De la misma manera para cada tipología de sistema estructural tiene un puntaje mínimo que debe ser comparado con el puntaje final que se obtiene de la suma del puntaje básico mas todos los modificadores antes descritos. Una vez obtenido el puntaje final se puede definir la Vulnerabilidad de la Estructura o la probabilidad de Colapso de la misma.

- *Grado de revisión ítems 500 a 506:* En los ítems 501 y 502 se permite indicar el grado de revisión en el caso de que esta haya sido parcial o total, tanto en el interior como en el exterior. En algunas ocasiones no se puede tener acceso a todos los sitios o a su vez se tenga algún recubrimiento que no permita observar el sistema estructural. En el ítem 503 se debe indicar si se pudo revisar los planos de la edificación, si se encuentran disponibles o no. En los ítems 504 y 505 se debe indicar de donde se obtuvo la información referente al tipo de suelo y peligro geológico.
- *Otros riesgos ítems 600 a 604:* En esta sección es muy importante definir estas amenazas que muy independientemente del puntaje final se debe recomendar que se realice la evaluación estructural detallada.
- *Acción requerida ítems 701 a 708:* En esta sección de la ficha se debe marcar si se necesita realizar una evaluación estructural detallada o una evaluación no estructural detallada y debe constar en el informe de inspección visual estructural de estado actual de la edificación. Del ítem 701 al 704, se debe escoger uno o más opciones que justifiquen si se requiere o no una evaluación estructural detallada. Del ítem 705 al 708 se debe escoger una o más opciones que justifiquen si se requiere o no una evaluación no estructural detallada recomendada.

#### **5.4.2 Ficha de evaluación rápida post evento de los inmuebles patrimoniales y la infraestructura cultural.**

Para conocer el contenido de la ficha de evaluación rápida post evento de los inmuebles patrimoniales y la infraestructura cultural, usaremos la información de la guía técnica del proceso de evaluación rápida post evento de la Dirección de Gestión de Riesgos del Patrimonio Cultural para los procesos de inspección para la evaluación rápida. (INPC, 2019).

La ficha de evaluación rápida post evento, es una herramienta que permite evaluar de manera práctica y detallada los aspectos más importantes sobre los daños causados

por diversos fenómenos naturales. Por ser una evaluación rápida la información que se recopila corresponde a datos generales que permiten identificar el inmueble y las afectaciones de una forma preliminar.

Esta ficha puede ser utilizada para evaluar inmuebles patrimoniales e infraestructura cultural que ha sufrido afectaciones productos de sismos, inundaciones, erupciones volcánicas y movimientos en masa. Tomando en cuenta que el método de evaluación rápida fue diseñado para encontrar en corto tiempo los daños severos en una estructura y para aprovechar el poco personal capacitado disponible después de un evento adverso, las evaluaciones son generalmente limitadas y breves.

La ficha de evaluación rápida contiene 19 secciones principales que incluyen los siguientes aspectos: (tabla 26)

<b>SECCIONES</b>	
1.	Código de Inventario del Inmueble
2.	Datos de Identificación del Inmueble
3.	Datos de Localización del Inmueble
4.	Áreas de Inspección
5.	Tipo de Evento
6.	Régimen de Propiedad
7.	Tipología Funciona
8.	Descripción del Inmueble
9.	Sistema Constructivo Dominante
10.	Condiciones de la Estructura con Relación al Terreno
11.	En caso de Inundación
12.	Condiciones Observadas
13.	Evaluación (Evaluar el estado del bien inmueble, marcar su condición)
14.	Estimación Global del Estado de Conservación del Inmueble

---












<b>15.</b>	Semaforización
<b>16.</b>	Acciones Emergentes
<b>17.</b>	Croquis de Ubicación del Inmueble (Incorporar ubicación de factores de riesgo del entorno)
<b>18.</b>	Registro Fotográfico
<b>19.</b>	Datos de Control del Llenado de la Ficha

---

*Tabla 26 Secciones ficha de evaluación rápida post evento Fuente: (MIDUVI, 2021)*

A continuación, mostramos la ficha (figura 55) que el INPC utiliza y detallaremos cada uno de sus apartados:



	<b>INSTITUTO NACIONAL DE PATRIMONIO CULTURAL</b> <b>FICHA DE EVALUACIÓN RÁPIDA POST EVENTO</b> <b>BIENES CULTURALES INMUEBLES</b>		Ficha No. ....
			Fecha Evento: .....
<b>1. CÓDIGO DE INVENTARIO DEL INMUEBLE</b>			
Código del bien inmueble: .....		Registro del bien: .....	
<b>2. DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE</b>			
Denominación del inmueble: .....		Clave catastral: .....	Sectorización: .....
<b>3. DATOS DE LOCALIZACIÓN DEL INMUEBLE</b>			<b>4. ÁREAS DE INSPECCIÓN</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Provincia: ..... Cantón: ..... Ciudad: ..... Parroquia: ..... Dirección: ..... N°: .....	<b>COORDENADAS:</b> 1. N. .... E. .... 2. N. .... E. .... 3. N. .... E. .... 4. N. .... E. .... Altitud: .....	<b>ZONA:</b> Urbano/marginal: <input type="checkbox"/> Urbana: <input type="checkbox"/> Rural: <input type="checkbox"/>	Solo desde el exterior: <input type="checkbox"/> Interior y exterior: <input type="checkbox"/> Otro: ..... .....
<b>5. TIPO DE EVENTO</b>			
   			
Movimiento en Masa <input type="checkbox"/> Inundación: <input type="checkbox"/> Sismo : <input type="checkbox"/> Erupción Volcánica: <input type="checkbox"/> Otro: .....			
<b>6. RÉGIMEN DE PROPIEDAD</b>			
Público: <input type="checkbox"/> Privado/Particular: <input type="checkbox"/> Privado/Religioso: <input type="checkbox"/> Otro: ..... Nombre del propietario: .....      Teléfono: .....      C.I.: .....			
<b>7. TIPOLOGÍA FUNCIONAL</b>			
Vivienda: <input type="checkbox"/> Salud: <input type="checkbox"/> Administrativo: <input type="checkbox"/> Comercio: <input type="checkbox"/> Religioso: <input type="checkbox"/> Funeraria: <input type="checkbox"/> Servicios: <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/> Educación: <input type="checkbox"/> Productiva: <input type="checkbox"/> Cultural: <input type="checkbox"/> Describe: .....			
<b>8. DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE</b>		<b>9. SISTEMA CONSTRUCTIVO DOMINANTE</b>	
(En caso de ser contenedor de BC completar la Ficha de Evaluación Post Evento Contenedor/repositorio)			
Inmueble Patrimonial: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Contenedor de bienes culturales: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N° de pisos sobre el suelo: ..... N° de niveles de subsuelo: ..... Habitada: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N° Personas: ..... Inmueble en Riesgo: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Año de construcción: ..... Zona de Riesgo: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Observaciones: .....		Madera: <input type="checkbox"/> Hormigón: <input type="checkbox"/> Tapia: <input type="checkbox"/> Piedra: <input type="checkbox"/> Adobe: <input type="checkbox"/> Mixta: <input type="checkbox"/> Ladrillo/bloque: <input type="checkbox"/> Quincha: <input type="checkbox"/> Bahareque: <input type="checkbox"/> Otra (H°, H"A°, perfilería, etc.): ..... Describe brevemente: .....	
<b>10. CONDICIONES DE LA ESTRUCTURA CON RELACIÓN AL TERRENO</b>		<b>11. EN CASO DE INUNDACIÓN</b>	
  			
Asentamiento diferencial o hundimiento <input type="checkbox"/> Corrimiento de suelo: <input type="checkbox"/> Deslizamiento o movimiento ladera <input type="checkbox"/>  		Nivel del agua (H) en metros: ..... <b>FUERZA DE LA CORRIENTE:</b> No perceptible <input type="checkbox"/> Lento <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Fuerte <input type="checkbox"/>	
Otros: .....			



19. DATOS DE CONTROL DEL LLENADO DE LA FICHA	
<b>DATOS DEL EVALUADOR:</b>	<b>DATOS DE QUIEN REvisa/APRUEBA:</b>
Institución: .....	Institución: .....
Evaluador: .....	Registrador: .....
C.I.: .....	C.I.: .....
Fecha: .....	Fecha: .....
Teléfono: .....	Teléfono: .....
f. ....	f. ....

Figura 55 Ficha de evaluación rápida post evento bienes culturales inmuebles Fuente: (INPC, 2019)

Tomando en cuenta que el método de evaluación rápida fue diseñado para encontrar en corto tiempo los daños severos en una estructura y para aprovechar el poco personal capacitado disponible después de un evento adverso, las evaluaciones son generalmente limitadas y breves. Los inspectores calificados tienen la obligación de observar y determinar las posibles fallas estructurales, fallas de suelo (deslizamientos, asentamientos) y cualquier tipo de condición que amenace la integridad de la estructura y la vida de sus ocupantes.

A partir de ahora, mostraremos cómo llenar la ficha de evaluación rápida post evento para bienes culturales inmuebles. Se usará un formulario para cada edificación y se deben cumplir los siguientes lineamientos generales: Se debe procurar no dejar en blanco ningún ítem. Se debe colocar la mayor cantidad de información posible. La información deberá ser congruente en todos los ítems de la ficha. Se debe utilizar esfero con tinta de color azul, y finalmente se debe llenar el documento con letra de molde.

- *Información preliminar:* Se deberá poner el No. de la Ficha que corresponda y la Fecha en la que se desarrolló el evento.
- *Código de inventario del inmueble:* El Código del inventario o del registro se identificará al momento de la digitalización de la base de datos y corresponde: El Código de inventario al código alfa numérico asignado dentro inventario de bienes patrimoniales, y el Registro corresponde al Número correspondiente al ordinal del bien inventariado generado por el código.

- *Datos de identificación del inmueble:* Identificar el nombre del bien inmueble (Ejemplo. Hospital Militar; Centro Cultural; Casa de Alfaro, etc..). Si no tiene denominación seleccionar del numeral 7. Tipología Funcional. La clave catastral se ubicará en la oficina en base a los planos catastrales correspondientes. En la sectorización se identificará la parroquia a la que pertenece el bien inmueble objeto de evaluación. Esta parroquia deberá estar acorde con la definida por el GAD municipal de cada cantón.
- *Datos de localización del inmueble:* En “describir la ubicación física del bien” se debe indicar la provincia, cantón, ciudad, parroquia, la dirección. En caso de existir doble nomenclatura, se debe incluir la actualizada e indicar en comentarios que existe otra y especificarla. En “coordenadas” se debe identificar el mayor número de coordenadas norte y este, obtenidas a través de GPS, lo que permitirá la ubicación geográfica del bien. (Se tomarán al menos cuatro puntos correspondientes a esquinas o vértices del bien). La altitud se anotará sin siglas msnm, y los millares no tendrán puntos. En “zona” se debe seleccionar de los casilleros con una X la zona en la que está ubicada.
- *Área de inspección:* Seleccionar de los casilleros con una X si la inspección fue solo exterior; o exterior e interior. En caso de no estar identificada se deberá seleccionar Otro y describir a que corresponde.
- *Tipo de evento:* Se debe reportar la información del evento que causó la evaluación de los daños, marcar con una X el tipo de evento ocurrido. En caso de no estar identificado en las gráficas se deberá seleccionar “Otro” y describir a qué corresponde. (Incendio estructural, vandalismo, etc.).
- *Régimen de propiedad:* Corresponde a la tenencia del bien, se deberá seleccionar de los casilleros con una X si es Público (bienes del estado); privado/particular (bienes pertenecientes a personas o grupos particulares) o privado/religioso (bienes bajo custodia de la iglesia: conventos, iglesias, capillas,

etc.) En caso de no estar identificado se deberá seleccionar Otro: y describir a que corresponde. Identificar los datos correspondientes al propietario, en caso de estar alquilada se complementará con los del arrendatario, esta información sirve para cualquier diligencia posterior que se deba realizar.

- *Tipología funcional:* Seleccionar de los casilleros con una X la función que presta el inmueble. En caso de no estar identificada se deberá seleccionar Otro y describir a que corresponde.
- *Descripción del inmueble:* Seleccionar de los casilleros con una X toda la información requerida. Identificar si es bien patrimonial o no. Si no está registrado o inventariado, pero cumple con las condiciones para ser identificado como bien inmueble con valor patrimonial se deberá indicar en Observaciones. Identificar si es contenedor de bienes culturales o no, y de ser el caso de deberá complementar en una segunda visita la Ficha de Evaluación Post Evento - Contenedor de Bienes Culturales. Indicar el número de pisos sobre el suelo y de niveles de subsuelo con que cuenta la Inmueble. En caso de que la Inmueble esté localizada en un terreno de ladera se deberá evaluar desde la entrada del Inmueble. Identificar si está habitada o no, y señalar el número de ocupantes de ser el caso. Identificar si el inmueble está en riesgo o se encuentra ubicado en una zona de riesgo, complementar con cualquier observación al respecto. Identificar de ser posible la fecha aproximada de construcción del inmueble.
- *Sistema constructivo dominante:* Seleccionar de los casilleros con una X el sistema constructivo dominante, en caso de no estar identificado se deberá seleccionar Otro y describir a que corresponde.
- *Condiciones de la estructura con relación al terreno:* Se deberá marcar con una X si existe alguna de las condiciones descritas. En caso de no estar identificado se deberá seleccionar Otro y describir a que corresponde. El apartado "Asentamiento diferencial o hundimiento", corresponde al desplazamiento

vertical del suelo o cimentación del Inmueble que puede ocasionar daños en la estructura. El apartado “Corrimiento de suelo” trata del desplazamiento horizontal del suelo, que afecta la estructura de los inmuebles edificados en el lugar. El apartado “Agrietamiento de suelo” trata sobre las aberturas o fisuras largas y estrechas, producto de la separación del material del suelo que afecta a la estructura del Inmueble. El apartado “Deslizamiento o movimiento Ladera” explica que se produce cuando una masa de terreno o zona inestable se desliza con respecto a una zona estable, puede afectar a varios Inmuebles. El apartado “Falla o colapso de talud” expresa que este fenómeno se puede producir en aquellas edificaciones que se encuentran al pie de un talud; y se presenta cuando el material de dicho talud afecta la estructura de los Inmuebles. Adicionalmente deberá estimarse la fuerza de la corriente. En caso de no estar identificado se deberá seleccionar Otro y describir a que corresponde.

- *En caso de inundación:* Esta Sección se llenará cuando se presente una inundación que haya afectado a los Inmuebles evaluadas. Se indicará la altura (H) en metros, que alcanzó el nivel de agua en el momento más crítico. Adicionalmente, se deberá estimar la fuerza de la corriente.
- *Condiciones observadas:* Se deberán identificar los elementos constitutivos del inmueble, (elementos estructurales, mamposterías, daños a nivel de fachada, cubierta, torres, cúpulas, campanarios, pisos, instalaciones), marcando con una X el nivel de daño de cada uno. Posteriormente se deberá describir el daño. En caso de no estar identificada se deberá seleccionar Otro y describir a que corresponde.
- *Evaluación:* Se deberá evaluar el estado del bien inmueble marcando con una X su condición. Es necesario indicar que esta evaluación nos permitirá determinar el estado estructural de la edificación y de las áreas colindantes y definir las restricciones. Para identificar el grado de daño, se analizará el inmueble en base a condiciones observables desde el exterior que son

suficientes para garantizar la decisión de señalar a la estructura como insegura o de usar barricadas para cercar el área. Adicionalmente, en caso de existir salidas de emergencia, el inspector debe asegurarse de que éstas estén libres y puedan ser usadas.

- *Estimación global del estado de conservación del inmueble:* Identificar con una X la caracterización del daño, para lo cual se deberá realizar una estimación global del estado de conservación del inmueble tomando como base el total del área construida.
- *Semaforización:* Las pancartas se deben colocar al ingreso de los inmuebles identificando el estado de afectación. Toda observación detallada en las pancartas deberá ser descrita en la ficha. Estructuras con daños moderados pueden ser difíciles de evaluar especialmente durante la evaluación rápida. En caso de duda acerca de la evaluación, se recomienda señalar al inmueble como uso RESTRINGIDO, indicando las restricciones necesarias y adjuntar un pedido de evaluación detallada. Las restricciones deben ser reescritas palabra por palabra en la ficha de evaluación rápida.
- *Acciones emergentes:* Se debe identificar con una X las acciones emergentes a ser implementadas de acuerdo a la afectación del inmueble a fin de prevenir futuros contratiempos. En caso de requerirse se debe establecer recomendaciones que nos permitan ampliar el análisis de evaluación de los inmuebles y determinar el estado real de la edificación.
- *Croquis de ubicación del inmueble (incorporar factores de riesgo del entorno):* En caso del área urbana, indicar en el croquis la ubicación del inmueble dentro del terreno, señalar el esquema de la manzana donde se encuentra implantado el inmueble incluyendo calles colindantes, identificar los módulos de vivienda, características relevantes o típicas del entorno. En el área rural se dibujará el esquema del sitio y se indicarán los aspectos más relevantes del entorno tales

como: cercanía de ríos, taludes, laderas, se relacionará con carreteras principales, línea ferra, poblados, parroquias rurales, infraestructura especial (torres de electricidad, edificios, iglesias, escuelas, puentes, entre otros.

- *Registro fotográfico de daños:* Se deberá incluir en la ficha por lo menos 4 fotografías que deberán tener una resolución mínima de 5 megapíxeles (2592 x 1944), y pueden ser tomadas con cualquier tipo de dispositivo, ya sea celular o cámara fotográfica, siempre y cuando se muestren de manera clara los daños detectados en el inmueble, los mismos que deberán respaldar los datos recabados en la Ficha. Las fotografías no deberán contener textos o fechas en la imagen.
- *Datos de control del llenado de la ficha:* La calidad de la información es responsabilidad del evaluador, por lo que se deberá indicar de manera clara el nombre de la Institución a que pertenece, los datos completos (nombre, C.I., teléfono), la fecha de la visita, la firma. De la misma manera se deberá incluir los datos de quien revisa y aprueba la Ficha.

Como hemos observado las fichas que se utilizan en el Ecuador para evaluación de infraestructuras post eventos pertenecen a instituciones del Gobierno, pero el uso de las mismas y su especificidad hacen que no sean fichas que puedan servir para evaluar cualquier tipo de edificación y mucho menos construcciones en las que sus estructuras o componentes sean la caña guadua. Por tanto, se hace imperante tener un documento que permita evaluar construcciones en caña guadua debido a que por la resistencia de ellas ante sismos se debe tener una estimación de los daños que en ellas se puedan encontrar.



# CAPÍTULO 6

## METODOLOGÍA



*“Resistimos y nos reinventamos ¡Somos bambúes”*

SIMPOSIO INTERNACIONAL DEL BAMBÚ Y LA  
GUADUA  
Perú 2022

## **6 METODOLOGÍA**

### **6.1 Metodología de la experimentación**

A continuación, se explicarán las metodologías empleadas para realizar el proceso experimental de la investigación. Este proceso se lo realizará en cinco fases diferentes las cuales son:

- Metodología para realizar el análisis sísmico estructural de una vivienda en caña guadua GaK
- Metodología para realizar el análisis sísmico estructural de una vivienda en hormigón armado
- Metodología para realizar el análisis experimental físico y mecánico de la caña guadua en estado natural.
- Metodología para realizar el análisis experimental de caña guadua preservada o inmunizada
- Metodología para la elaboración de la ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua

#### **6.1.1 Metodología para el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK**

##### **6.1.1.1 Selección del objeto de estudio.**

Para realizar el estudio de se ha procedido a escoger una de las viviendas en caña guadua que el Gobierno del Ecuador tiene a través del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en sus proyectos de viviendas de interés social a nivel de la Costa ecuatoriana.

La vivienda tipo cuenta con 58.0 metros cuadrados, emplazados en un porche de ingreso que genera un espacio antecesor al ingreso de la vivienda, 3 dormitorios, un baño compartido diseñado para accesibilidad universal, el área social con sala, comedor y cocina, y una zona de lavandería externa, en la cual se dispone de una piedra de lavar. (figura 56)

El diseño de la cubierta a un agua, pero con ventolera de latilla de caña, permite desalojar el agua y mantener el confort térmico al interior de la vivienda. La ventana superior (ventolera) en la Costa y Amazonía, tiene recubrimiento completamente de malla antimosquitos. (figura 57)

- Planos arquitectónicos

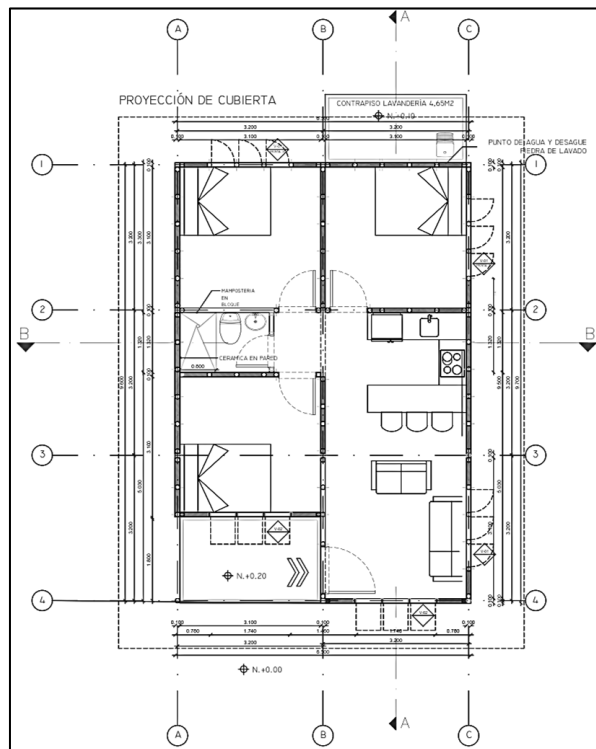


Figura 56 Planta arquitectónica vivienda en caña guadua Fuente: (MIDUVI, 2023)

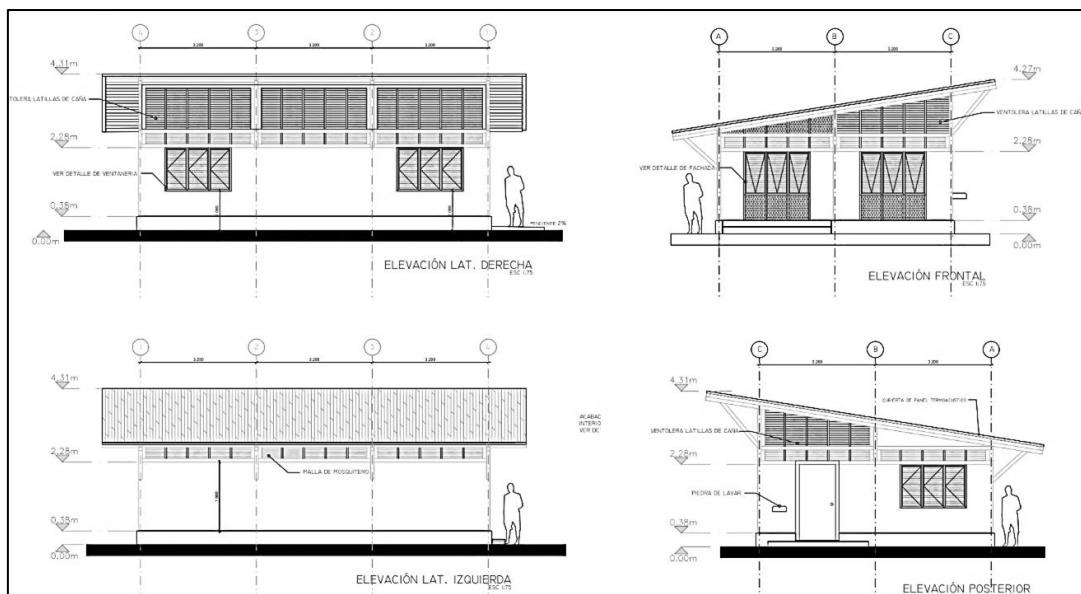


Figura 57 Elevaciones/Fachadas de vivienda en caña guadua Fuente: (MIDUVI, 2023)

- Planos Estructurales y constructivos

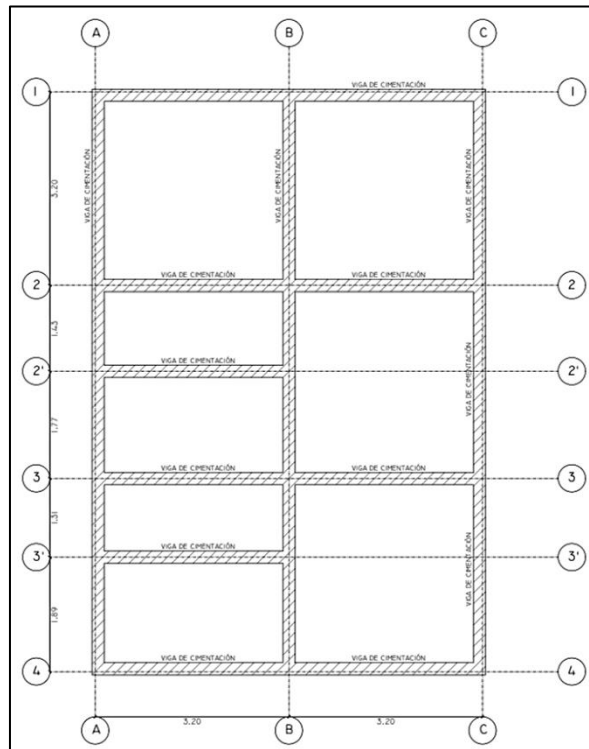


Figura 58 Planta de cimentación vivienda en caña guadua Fuente: (MIDUVI, 2023)

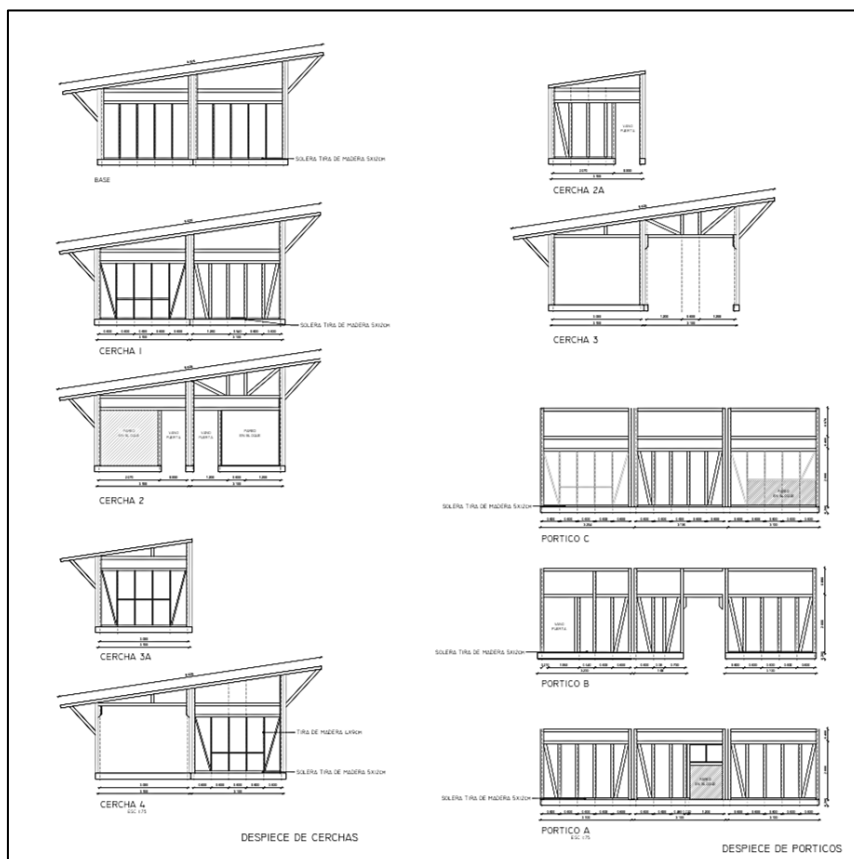


Figura 59 Cerchas y pórticos de vivienda en caña guadua Fuente: (MIDUVI, 2023)

- Ubicación del objeto de estudio: El proyecto que se analizará e encuentra en Olmedo, que es una ciudad de Ecuador, en la provincia de Manabí, cabecera del cantón Olmedo. Posee una superficie de 254.00 km<sup>2</sup>. Su ubicación geográfica se sitúa en 9°83'7546.05 a 9°85'9414.78 longitud y 57°76'72.75 a 60°03'35.75 latitud, referidas al meridiano de Greenwich y al paralelo cero o línea ecuatorial, respectivamente, Geográficamente la cabecera cantonal de Olmedo está ubicada a 1° 23' 43.25" de Latitud Sur, y 80° 12' 41.40" de longitud occidental. (figura 60)

Tiene una población de 2 115 habitantes (INEC. 2010). Posee una temperatura media de 26 °C y precipitaciones promedio anuales de 1.300 mm. Su producción está constituida por cultivos de café, cacao, banano, plátano, maíz, arroz, cítricos y grandes extensiones de pasto para ganado vacuno.

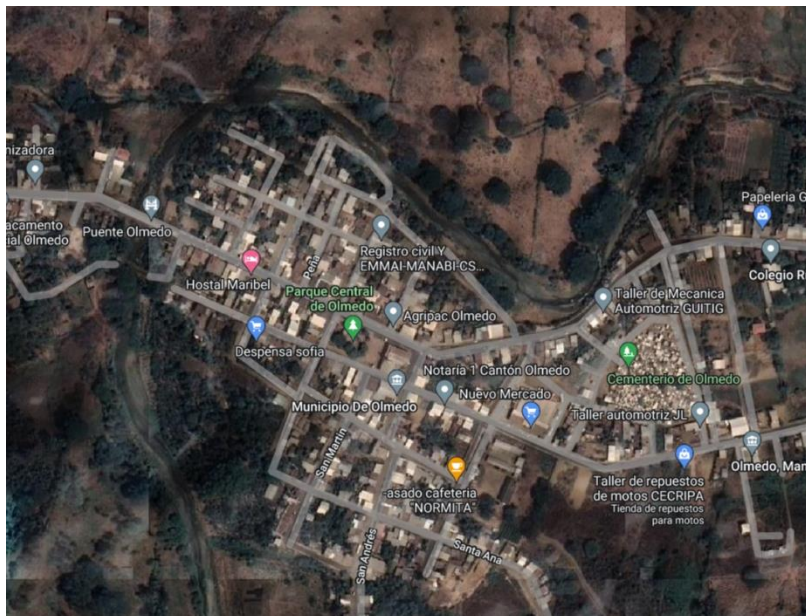


Figura 60 Ubicación del Cantón Olmedo – Provincia de Manabí Fuente: (Google maps, 2023)

### 6.1.1.2 Instrumento

Para realizar el análisis sísmico estructural de la vivienda en caña guadua, lo haremos mediante una memoria de cálculo estructural; que como sabemos es un documento descriptivo donde se reflejan de manera exhaustiva los procedimientos aplicados, en este

caso, para el cálculo de determinada estructura y el dimensionamiento de cada uno de sus elementos.

## 6.1.2 Metodología para el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado

### 6.1.2.1 Selección del objeto de estudio.

Para realizar el estudio de se ha procedido a escoger una de las viviendas en hormigón armado que el Gobierno del Ecuador tiene a través del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en sus proyectos de viviendas de interés social a nivel de la Costa ecuatoriana.

La vivienda tipo cuenta con 58.0 metros cuadrados, emplazados en un porche de ingreso que genera un espacio antecesor al ingreso de la vivienda, 3 dormitorios, un baño compartido diseñado para accesibilidad universal, el área social con sala, comedor y cocina, y una zona de lavandería externa, en la cual se dispone de una piedra de lavar. (figura 61)

El diseño de la cubierta a un agua, pero con ventolera de latilla de caña, permite desalojar el agua y mantener el confort térmico al interior de la vivienda. La ventana superior (ventolera) en la Costa y Amazonía, tiene recubrimiento completamente de malla antimosquitos. (figura 62)

- Planta arquitectónica

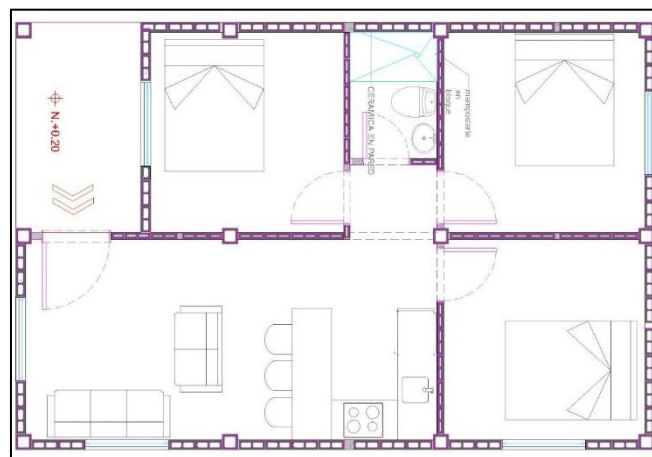


Figura 61 Planta arquitectónica vivienda en hormigón armado Fuente: (MIDUVI, 2023)

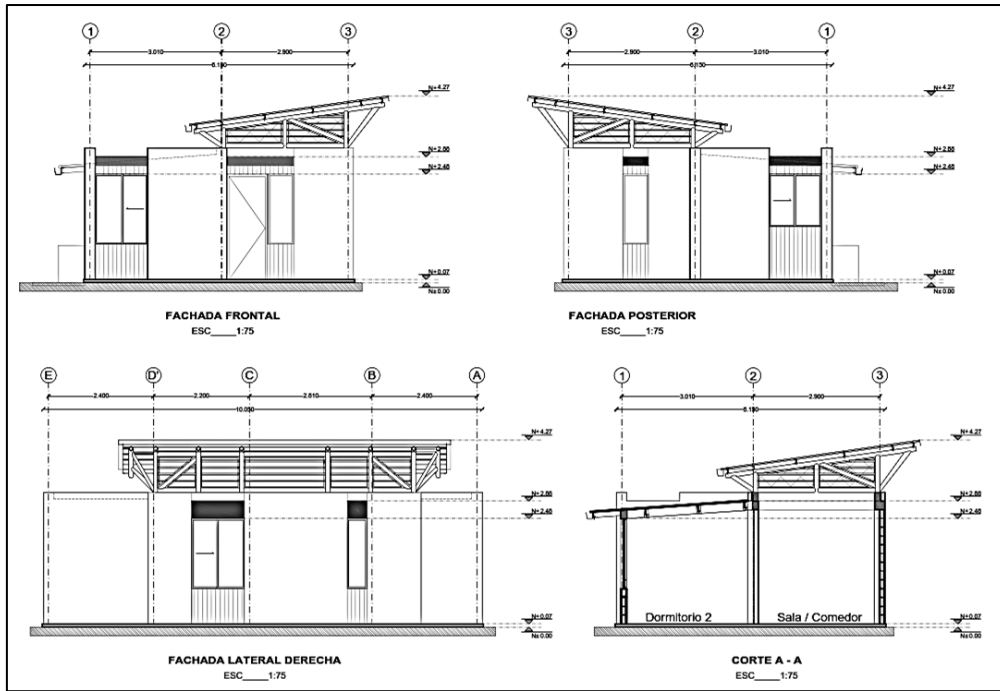


Figura 62 Elevaciones/Fachadas de vivienda hormigón armado Fuente: (MIDUVI, 2023)

- Planos Estructurales y constructivos

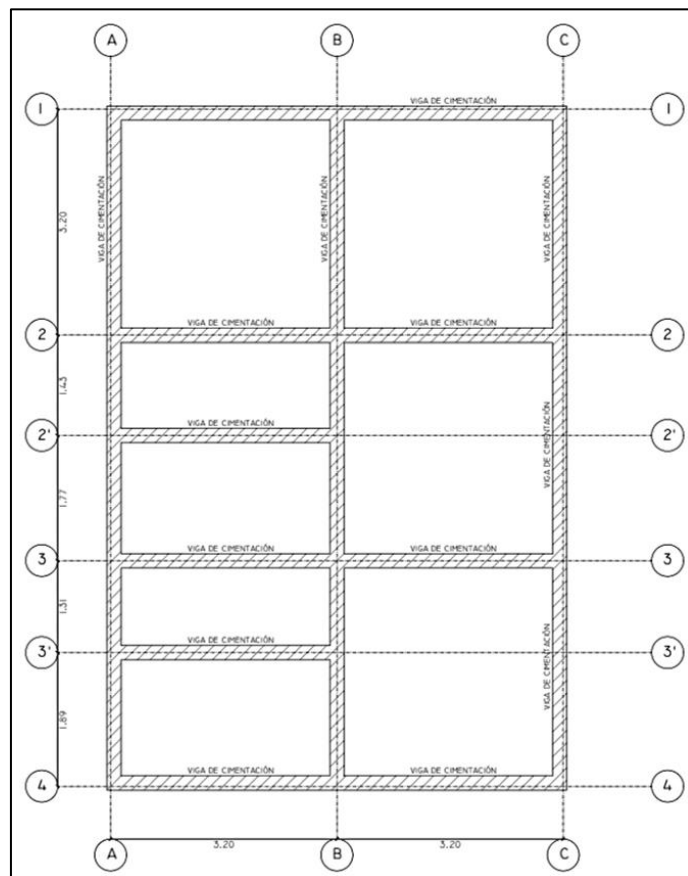


Figura 63 Planta de cimentación vivienda en caña guadua Fuente: (MIDUVI, 2023)

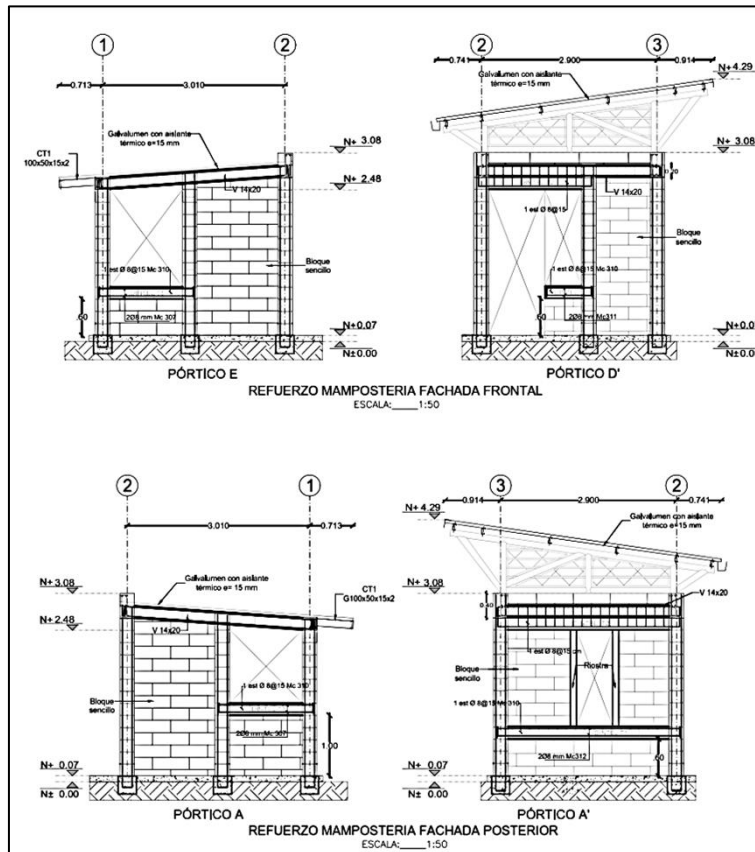


Figura 64 Pórticos de vivienda en hormigón armado Fuente: (MIDUVI, 2023)

- **Ubicación del objeto de estudio:** El proyecto que se analizará e encuentra al igual que el proyecto en caña guadua en Olmedo; por lo tanto toda la información del sitio se encuentra en el análisis anterior.

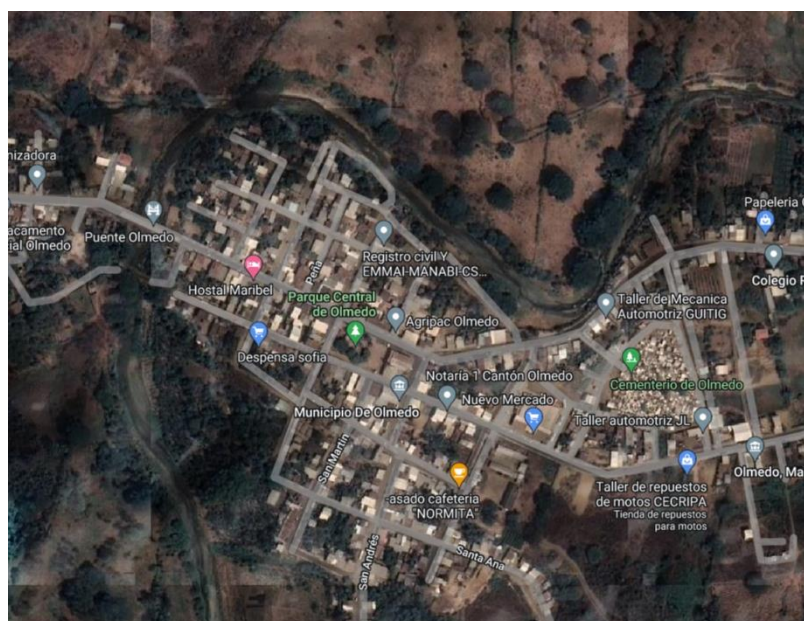


Figura 65 Ubicación del Cantón Olmedo – Provincia de Manabí Fuente: (Google maps, 2023)



### **6.1.2.2 Instrumento:**

Para realizar el análisis sísmico estructural de la vivienda en caña guadua, lo haremos mediante una memoria de cálculo estructural; que como sabemos es un documento descriptivo donde se reflejan de manera exhaustiva los procedimientos aplicados, en este caso, para el cálculo de determinada estructura y el dimensionamiento de cada uno de sus elementos.

### **6.1.3 Metodología para el análisis experimental físico y mecánico del material en estado natural**

Este capítulo de la investigación es de tipo experimental, la realización de probetas o muestras y ensayos en el laboratorio se llevó a cabo mediante la NEC-SE-GUADUA Gak (Norma Ecuatoriana de Construcción) y la NTC-5525 (Norma Técnica Colombiana), las cuales definen en cuantas partes se divide cada culmo de guadua (inferior, media y superior) o como cepa, basa y sobre basa.

La totalidad para esta investigación fueron de 8 culmos de cada muestra a investigar en estado de madurez (5 años aproximadamente) con una longitud  $q$  varían entre un rango de 12 a 18 metros, con esta cantidad de muestra se obtiene un 90% de confiabilidad en los datos obtenidos.

Los culmos fueron llevados a las instalaciones del centro de acopio en donde se realizó el debido análisis de cada guadua para luego elaborar las muestras que fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos, concretos y asfaltos LABOTEC, en donde se utilizaron todos los procedimientos necesarios para obtener los resultados de las propiedades físicas tales como:

- contenido de humedad,
- contracción y de las propiedades mecánicas como:
- ensayo a flexión,
- compresión,
- tensión y,

- corte.

Luego de todo el proceso de ensayos, sus datos fueron tabulados y analizados respectivamente para comparar sus propiedades entre las muestras seleccionadas.

### 6.1.3.1 Selección de muestras

Para el muestreo se escogieron tres lugares diferentes de donde proviene la caña Guadúa Angustifolia Kunth (GaK) que se usa generalmente en la construcción; siendo estos: Jipijapa, Paján y San Isidro:

- *Muestra 1:* Jipijapa (figura 66): El primero de los sectores se situó en el cantón de Jipijapa. Sus coordenadas geográficas son 1°21'4.33"S 80°29'22.0"W. Los espacios de concentración de guadúa más importantes se extienden entre 8 y 12 km al oeste del núcleo urbano, en las laderas que limitan con el vecino cantón de 24 de Mayo. Allí se produce la mayor parte de la producción que alimenta un territorio de algo más de 60 km de radio. (Priego, 2018)

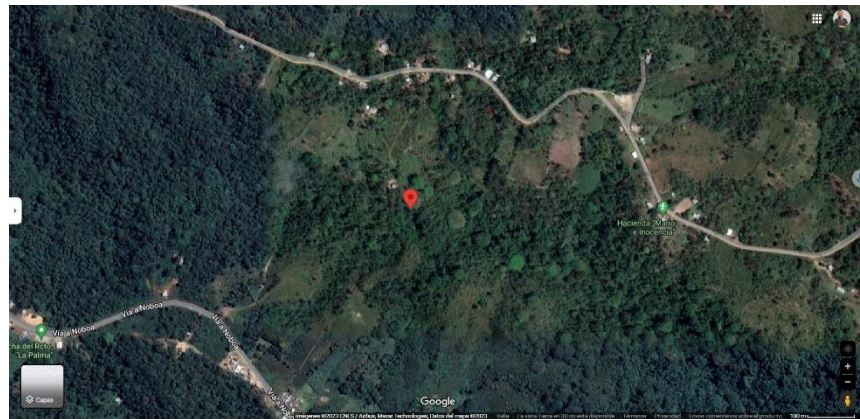


Figura 66 Ubicación de guaduales de Muestra 1. Jipijapa Fuente: (Google maps, 2023)

- *Muestra 2:* Paján (figura 67): El segundo sector se situó en el Recinto Río Chico, ubicado en el Cantón Paján. Sus coordenadas geográficas son 1°32'29.4"S 80°24'29.5"W, cuenta con aproximadamente 20 hectáreas con cultivos de caña guadua para su comercialización. (Mercado, 2015)

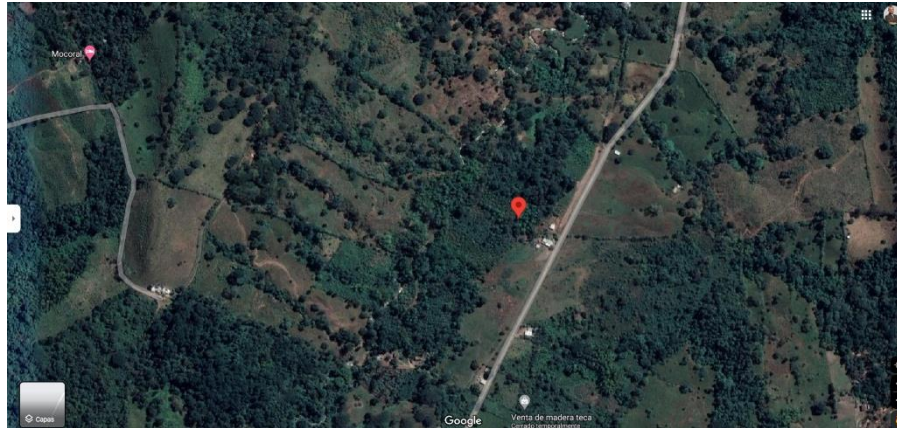


Figura 67 Ubicación de guaduales de Muestra 2. Paján Fuente: (Google maps, 2023)

- **Muestra 3:** San Isidro (figura 68): El tercer sector se situó en San isidro. Sus coordenadas geográficas son 0°22'49.6"S 80°11'34.9"W, lugar donde solamente hay una mancha de caña de aproximadamente tres hectáreas, ubicada en un micro clima húmedo. (Suizo, 2001)



Figura 68 Ubicación de guaduales de Muestra 3. San Isidro Fuente: (Google maps, 2023)

### 6.1.3.2 Recolección de muestras de los materiales

La identificación de los culmos (figura 69) que sean aptos para investigación científica se llevó el día 13 de Febrero del 2023 (día de cuarto menguante, tal como lo expresa la norma NTC-5525), donde se seleccionaron ocho cañas en buen estado sanos y libres de todo defecto y donde se marca de manera inicial con pintura blanca las partes utilizables de la caña guadua de acuerdo a la norma NTC-5525, el día 14 de febrero llegan al centro de acopio y a partir de esa fecha inicia el proceso de revisión del material; a partir del 26 de Febrero se realizó además en cada muestra su identificación y marcado (por encima de 0.25 m de

acuerdo a la NEC-SE-GUADUA GaK y a la NTC-5525), las partes que se van a utilizar, las identificamos por medio de pinturas de color, en cada sección como: inferior, media y superior ya que estas muestras son 1/3 de la porción utilizable del culmo, tenemos que tener en cuenta su altura de donde fue cortado.



*Figura 69 Cañaveral de donde se obtendrá una de las muestras. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)*

Una vez realizado este proceso de identificación y marcado, se procedió a realizar el corte de las muestras para los ensayos mecánicos (figura 70) quedando como resultado: 45 muestras para compresión, 45 muestras para tensión, 45 muestras para corte y 3 muestras para flexión; siendo este último menor cantidad de muestras debido a su traslado y a la longitud necesaria para el ensayo.



*Figura 70 Toma de medidas y cortes de las muestras para los ensayos. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)*

Para los ensayos físicos, fueron la misma cantidad que los probados mecánicamente y se procedió a realizar cuando estos terminaban de ser ensayados (como lo expresa la norma NTC-5525). Durante este proceso no se presentó ningún tipo de inconvenientes y el mismo número de muestra se las realizó a cada probeta antes mencionada.

Los datos obtenidos en los ensayos fueron registrados continuamente y para ello se realizó un archivo en Microsoft Excel por cada ensayo a realizarse, con sus respectivas tablas y resultados donde tenemos todos los números de probetas por ensayo, temperaturas a secar y velocidades de ensayo, tal como lo solicita la norma NTC-5525.

### 6.1.3.3 Especificaciones de dimensiones, números de probetas y temperatura para la realización de los ensayos.

En las tablas 27 y 28 se presentarán las especificaciones de dimensiones, cantidad de muestras y el tipo de ensayo que se realizarán en la caña guadua angustifolia Kunth tanto para las propiedades físicas como para las propiedades mecánicas respectivamente:

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>DIMENSIONES DE LA MUESTRA</b>	<b>N° DE MUESTRAS</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Contenido de humedad</b>	Dimensiones: 2.5 cm x 2.5 cm	138 muestras totales	Realizadas después de cada ensayo mecánico
	Temperatura: 103 °C		
<b>Contracción</b>	Diámetro: el del material seleccionado (variable)	45 probetas por cada muestra	Ensayo individual
	Espesor: el del material seleccionado (variable)		
	Altura: 10 cm		
	Temperatura: 103 °C		
<i>Tabla 27 Detalles de las pruebas para ensayos de propiedades físicas Fuente: (Autor de esta investigación)</i>			
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>DIMENSIONES DE LA MUESTRA</b>	<b>N° DE MUESTRAS</b>	<b>OBSERVACIONES (Secciones)</b>
<b>Compresión</b>	Altura: el doble de su diámetro	45 probetas por cada muestra	Inferior: 15 probetas Media: 15 probetas Superior: 15 probetas
	Velocidad de ensayo: 0.01 mm/s		
<b>Corte</b>	Altura: el doble de su diámetro	45 probetas por cada muestra	Inferior: 15 probetas Media: 15 probetas
	Velocidad de ensayo: 0.01 mm/s		

	50% de probetas con nudos 50% probetas sin nudos		Superior: 15 probetas
<b>Tensión</b>	Ancho: 2 cm	45 probetas por cada muestra	Inferior: 15 probetas Media: 15 probetas Superior: 15 probetas
	Longitud: 30 cm		
	Espesor: el del material seleccionado (variable)		
	Velocidad de ensayo: 0.01 mm/s 100% de probetas con nudos		
<b>Flexión</b>	Longitud de probeta: 30 veces el diámetro	3 probetas por cada muestra	Media: 3 probetas
	Velocidad de ensayo: 0.05mm/s		

Tabla 28 Detalles de las pruebas para ensayos de propiedades físicas Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

#### 6.1.3.4 Ensayos para determinar las propiedades físicas

- *Contenido de humedad:* Para determinar el contenido de humedad de cada muestra se debe cortar luego de cada ensayo mecánico; la forma de la muestra debe ser uniforme con una anchura de 25 mm y altura de 25 mm; estas, se las lleva a un horno eléctrico a una temperatura de 103 °C durante 24 horas.

El contenido de humedad (CH) de cada muestra se debe calcular como la pérdida de masa, la cual esta expresada como porcentaje de la masa seca en el horno, usando la siguiente formula:

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} \times 100$$

Donde; m= masa de la probeta antes de ingresar al horno

m<sub>o</sub> = masa de la probeta después de salir del horno

- *Contracción:* Para el ensayo de contracción, se realizaron muestras de 100mm (sin nudo), para esto se debió seguir lo que especifica la norma que es medir el diámetro externo, espesor de la pared y altura. Para cada muestra se debe medir 4 diámetros, 4 espesores (ambos extremos) y dos longitudes, después se las lleva al horno a una temperatura de 103°C. Este procedimiento se hace antes y después de haber ingresado al horno, la contracción desde la condición inicial

húmeda, hasta la condición final seca, la cual se expresa como porcentaje ajustado a una cifra decimal, se debe calcular con las siguientes fórmulas:

$$\text{Contenido de masa:} \quad m = \frac{I-F}{I} \times 100$$

$$\text{Diferencia de alturas:} \quad h = \frac{I-F}{I} \times 100$$

Donde; m= masa

I= parte inferior de la probeta

F= Parte posterior de la probeta

h= altura de la probeta real

#### 6.1.3.5 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas

- *Compresión:* El ensayo a compresión nos ayuda a determinar el esfuerzo último de compresión de las muestras de las cañas y su módulo de elasticidad.

Las muestras se deben tomar de las diferentes partes del culmo como es la cepa, basa y sobre basa (inferior, media y superior), sin los nudos y su altura es el doble del diámetro de la muestra. Se debe tener en cuenta que, al momento de cortar las muestras, deben estar a un ángulo perfectamente longitudinal, con una desviación estándar máxima de 0.2 mm

El esfuerzo último de compresión se debe determinar con las siguientes formulas:

$$\text{Módulo de elasticidad} \quad E = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{Deformacion uni}} = \frac{S}{\epsilon} = \frac{\frac{F_{ult}}{A}}{\frac{\delta}{l}}$$

Esfuerzo último:  $\delta_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$

Donde; E= Módulo de elasticidad

S= esfuerzo N/mm

$\epsilon$ = deformación unitaria mm/mm

$\delta$ = deformación total mm

A= área de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>

L= longitud del elemento mm

$\delta_{ult}$  = es el esfuerzo último de compresión. MPa o (N/mm<sup>2</sup>), redondeado con aproximación de 0.5MPa

F<sub>ult</sub>= es la carga máxima a la cual falla la probeta. En N

- *Corte*: El ensayo de corte nos permite conocer la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante paralelo a las fibras. Las muestras fueron divididas en dos secciones; unas con nudos y otras sin nudos. Estas estuvieron apoyadas en los extremos de la probeta y debieron estar completamente centradas.

La resistencia última de corte se debe calcular con las siguientes formulas:

Módulo de elasticidad a corte  $E = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{Deformacion uni}} = \frac{S}{\epsilon} = \frac{\frac{F_{ult}}{A}}{\frac{\delta}{L}}$

Resistencia última:  $t_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(txL)}$

Donde; E= Módulo de elasticidad



S= esfuerzo N/mm

$\epsilon$ = deformación unitaria mm/mm

$\delta$ = deformación total mm

A= área de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>

L= longitud del elemento mm

tult= resistencia última al corte. En MPa con aproximación por exceso o defecto de una cifra decimal

Fult= es el valor máximo de la carga aplicada a la cual falla la probeta. En N

$\Sigma(t \times L)$ = es la suma de los cuatro productos de t y L.

- *Tensión:* Mediante el ensayo de tensión determinamos la resistencia última, se la realiza paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la muestra. Tenemos que asegurarnos de que los sujetadores de la maquina apliquen la carga a lo largo del eje longitudinal de la muestra y esta carga se debe medir con exactitud del 1 % de la escala utilizada como lo expresa la norma NTC-5525.

Las muestras que se deben tomar son de la parte inferior, medio y superior de cada culmo, también estas muestras tienen que tener un nudo que sea en la porción de ensayo. La longitud de la porción a ensayar debe de estar entre 50 mm a 100 mm

La resistencia máxima de tensión se debe determinar con la siguiente fórmula:

Módulo de elasticidad: 
$$E = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{Deformacion uni}} = \frac{S}{\epsilon} = \frac{\frac{F_{ult}}{A}}{\frac{\delta}{l}}$$

Esfuerzo último:  $\delta_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$

Donde; E= Módulo de elasticidad

S= esfuerzo N/mm

ε= deformación unitaria mm/mm

δ= deformación total mm

A= área de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>

L= longitud del elemento mm

δ<sub>ult</sub> = es el esfuerzo último de compresión. MPa o (N/mm<sup>2</sup>), redondeado con aproximación de 0.5MPa

F<sub>ult</sub>= es la carga máxima a la cual falla la probeta. En N

- *Flexión:* Con este ensayo se determina la capacidad de flexión de los culmos, la curva de carga frente a la deflexión vertical y el módulo de elasticidad nominal del culmo.

Para esto, primero se debe determinar el valor medio del diámetro externo D y del espesor de la pared t.

Inercia:  $IB = \frac{\pi}{64} \times [D^4 - (D - 2t)^4]$

Para lograr una falla en flexión, el espacio libre debe ser al menos 30xD;

Donde; D= diámetro externo (las probetas no deben tener fallas visibles)

El módulo de elasticidad (módulo de Young) está determinado por la pendiente de la parte lineal del diagrama de deformaciones frente a la carga. (NTC-5525)

#### **6.1.4 Metodología para el análisis experimental de caña guadua preservada o inmunizada**

Una vez realizado el proceso de análisis y experimentación de las muestras sin inmunizar; se realizará el estudio del material con un proceso de inmunización que se lo realizará en el centro de preservado “Versa Construcciones”, siguiendo cada una de las normativas que se expresan en la NEC-SE-GUADUA.

##### **6.1.4.1 Recolección de especies**

La especie con la que se realizan trabajos de construcción en caña guadua en Portoviejo es la Guadua Angustifolia Kunth (GAK), con el bio-tipo Macana, dicha especie cumple con las especificaciones que se requieren para ser utilizadas en la presentación de rollizas y picada.

Las muestras que llegan al centro de preservado para su proceso de curado, preservado y secado poseen las siguientes especificaciones técnicas:

- Diámetros de 10 cm hasta 12 cm en caña rolliza
- Longitud de 6 m en caña rolliza y caña picada
- Anchos de 25 cm a 35 cm en caña picada
- Madurez necesaria para ser utilizada de forma estructural (5 años aproximadamente)
- Preservado por inmersión acorde a la NEC-SE-GUADUA.

##### **6.1.4.2 Proceso de preservado**

Como ya se ha mencionado anteriormente, el bambú posee una durabilidad natural baja, misma que se puede aumentar aplicándole sustancias preservadoras que lo protegen contra

el ataque de hongos e insectos o realizando un proceso de inmersión con diferentes químicos alargando su vida en servicio.

El proceso que se realiza en el centro de preservado puede llegar a tomar un mes aproximadamente y se lo hace de la siguiente manera:

- *Recepción, selección y acopio del material:* Los productores de GaK deben llevar un control de la edad de cada culmo en las plantaciones, la composición ideal de tallos en un bosque de bambú, es de aproximadamente un 10% de brotes, un 30% de tallos jóvenes y un 60% de tallos maduros.

Una vez seleccionados los culmos de GaK que pueden ser aprovechados para la construcción, se debe realizar un corte adecuado y optimizar el aprovechamiento de este recurso; luego de que los culmos de GaK han pasado por el proceso de corte, es necesario que estos sean transportados adecuadamente para evitar daños importantes en su estructura

- *Limpieza de la caña guadua con la utilización de lana metálica #6 o #8:* Una vez que el material llega al centro de preservado se debe realizar el proceso de limpieza del mismo, el cual consta de pasar por toda la longitud del material una lana de acero de #6 u #8. Este material se ha usado en numerosas ocasiones para la limpieza de la guadua, para eliminar los líquenes de su superficie; el problema de este procedimiento es que es un método que resulta lento, tiene costos económicos altos y sin los equipos de protección individual pueden ser perjudiciales para el sistema respiratorio de los trabajadores.
- *Inmersión en el tanque con sales de ácido bórico y bórax:* (este proceso se hace en frío, por lo tanto, toma entre 5 a 6 días preservar un lote de caña). Existen varias opciones para tratamiento, pero por motivos prácticos de esta investigación se ha decidido realizar una investigación exhaustiva sobre el método de inmersión; debido a que la NEC-SE-GUADUA explica que la

preservación por inmersión es uno de los métodos más utilizados; en el caso de esta experimentación se lo hará en ácido bórico y bórax, compuestos químicos muy apropiados (sino es el mejor) para tratar de forma satisfactoria la caña guadúa. Estos componentes reducen el daño por hongos e insectos en casi un 100%, sin que esto implique un daño en la salud humana.

- *Proceso de blanqueamiento o secado al sol:* La GaK es un material higroscópico y poroso que absorbe la humedad presente en el ambiente ya sea en forma de vapor o de líquido.

Para el caso de esta experimentación y de acuerdo a la NEC-SE-GUADUA los culmos serán secados de forma vertical en un sitio ventilado. Durante el proceso se debe evitar el deterioro del material por la acción del clima, agentes biológicos u otras causas.

### **6.1.5 Metodología para la elaboración de la ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua.**

#### **6.1.5.1 Introducción**

Un sismo puede causar afectaciones severas en edificaciones de todo tipo. Éstas pueden presentar daños en elementos estructurales y/o arquitectónicos como: mamposterías, revestimientos de vidrio, cubiertas, etc., los cuales incluso pueden llegar a desprenderse y caer. Por lo tanto, si no se verifica rápidamente la usabilidad de las estructuras luego del evento, se puede comprometer la integridad de los habitantes de las edificaciones afectadas que continúan en uso. Por esta razón, con el objeto de evitar daños mayores, se considera necesario que, inmediatamente después del sismo, se realice una evaluación rápida del nivel de riesgo de todas las edificaciones que han sufrido algún daño. Incluso, después de la ocurrencia de un evento sísmico de moderada o gran magnitud, es muy probable que se produzcan réplicas, cuestión que puede incrementar el nivel de daño de las construcciones. Por lo tanto, verificar el estado de las edificaciones afectadas y categorizarlas en función de su nivel de riesgo, es imprescindible. (MIDUVI, 2016)

La ficha que se propondrá en este trabajo es el resultado del estudio de un conjunto guías prácticas de implementación pre evento y post evento, las cuales sirvieron para crear un documento de fácil interpretación y usabilidad.

#### **6.1.5.2 Importancia**

Gil Mancipe (2015) en su trabajo titulado “evaluación de daño estructural post-sismo en edificaciones: estado del arte” expresa que: La evaluación de daño en edificaciones luego de soportar las fuerzas debidas a un evento sísmico, resulta ser un tema de gran importancia pues ante tal emergencia es necesario definir rápidamente la habitabilidad de las edificaciones para poder garantizar la seguridad de las personas y definir cuál es su estado y comportamiento estructural actual.

Además, continúa el autor expresando que: Realizar una evaluación oportuna y precisa de las edificaciones luego de un sismo es primordial para la toma de decisiones y utilización de recursos ante una emergencia como ésta. Evaluar adecuadamente una estructura permitirá saber si es posible seguir habitándola inmediatamente, si se requiere de alguna adaptación para poder usarla o si definitivamente dicha edificación no puede ser habitada nuevamente y por el contrario representa un peligro inminente adicional y es mejor realizar una demolición.

#### **6.1.5.3 Objetivos y alcances**

El objetivo de la evaluación rápida es inspeccionar en un corto tiempo y de manera sencilla y eficiente las edificaciones afectadas en el área de impacto de un sismo, de tal manera que se pueda definir las condiciones de daño de las edificaciones y la seguridad de las mismas después del evento. Los principales elementos de la metodología y procedimiento de evaluación post evento son la clasificación de los daños y la definición de las posibilidades de uso de las edificaciones que sufrieron daño; de este modo, los equipos de rescate, Policía Nacional, Cuerpo de Bomberos, entre otras entidades, podrán dirigir los recursos de ayuda y prevención hacia las zonas y edificaciones que requieran prioridad.

# CAPÍTULO 7

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES



*"Mi propuesta como arquitecto es hacer una arquitectura un poquito más vegetariana, no tanto concreto. Hay que tener una dieta equilibrada entre minerales y vegetales, y estamos demasiados minerales con la arquitectura"*

ARQ. SIMÓN VÉLEZ

Investigador y experto en construcción con caña guadúa

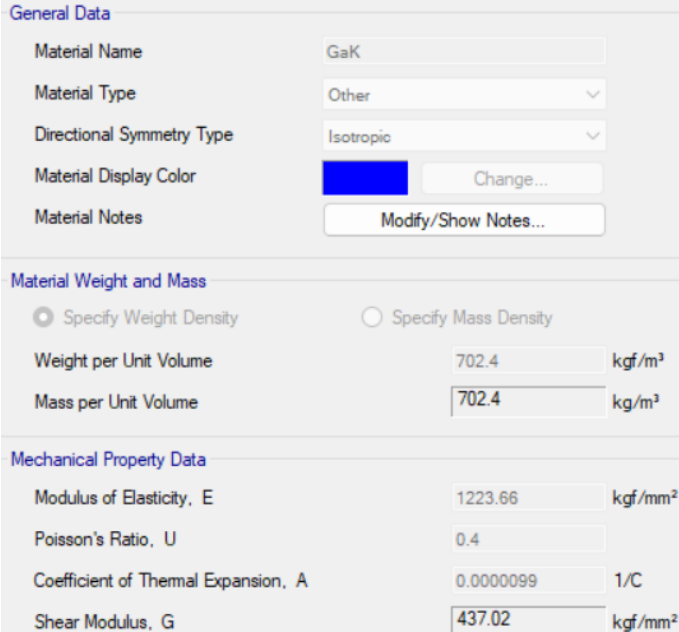
## 7 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 7.1 Resultados de la experimentación

#### 7.1.1 Análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK

##### 7.1.1.1 Materiales empleados

El primer material y más importante es la caña guadua GaK, se lo consideró como un material isotrópico a pesar de ser ortotrópico, esto debido a que no causa ninguna diferencia en el modelo matemático; sin embargo, es más fácil al momento de crear sus propiedades mecánicas. (figura 71)



The image shows a software interface for defining material properties. It is divided into three sections: General Data, Material Weight and Mass, and Mechanical Property Data.

General Data	
Material Name	GaK
Material Type	Other
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	[Blue swatch] Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	702.4 kgf/m <sup>3</sup>
Mass per Unit Volume	702.4 kg/m <sup>3</sup>

Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	1223.66 kgf/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio, U	0.4
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099 1/C
Shear Modulus, G	437.02 kgf/mm <sup>2</sup>

Figura 71 Materiales empleados (caña) en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

El segundo es el galvalume, el cual es el material más empleado para las cubiertas en este tipo de viviendas, es una aleación entre aluminio y zinc. (figura 72)



**General Data**

Material Name: GALVALUME

Material Type: Aluminum

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: █ Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

---

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density       Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2712.63 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 2714.472 kg/m<sup>3</sup>

---

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 7101 kgf/mm<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U: 0.33

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.00002358 1/C

Shear Modulus, G: 2669.55 kgf/mm<sup>2</sup>

Figura 72 Materiales empleados (galvalume) en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.1.2 Espectro de respuesta

Se tomó como referencia para este análisis el suelo más desfavorable para nuestro entorno el cual corresponde a un suelo tipo E, con las siguientes características según nuestras normativas: (figura 73)

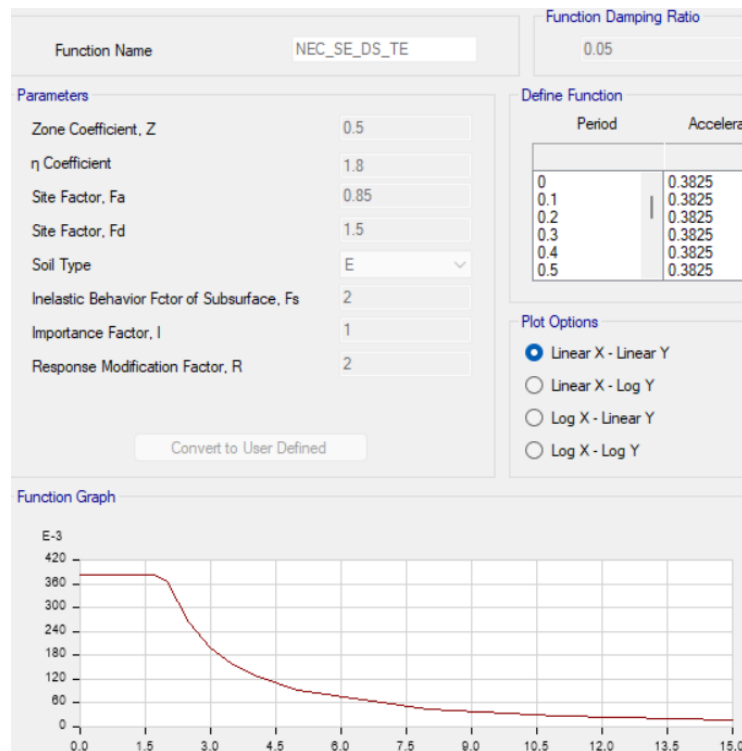


Figura 73 Espectro de respuesta en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.1.3 Masa participativa

Mode	Period sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.327	0.022	0.3401	0.022	0.3401	0.5547	0.5547
2	0.249	0.0366	0.5328	0.0586	0.8729	0.3458	0.9005
3	0.19	0.845	0.0034	0.9036	0.8763	0.056	0.9565
4	0.072	0.0009	2.119E-05	0.9045	0.8763	0.0003	0.9568
5	0.072	0.0006	2.317E-06	0.9051	0.8763	0.0003	0.9571
6	0.072	0.0069	1.361E-05	0.912	0.8763	0.0023	0.9594
7	0.069	0.0001	0.0016	0.9121	0.8779	0.0011	0.9606
8	0.068	0.0041	0.0066	0.9161	0.8845	1.129E-05	0.9606
9	0.068	0.0016	0.0281	0.9177	0.9126	0.0011	0.9617

Tabla 29 Masa participativa en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Se emplearon 9 modos de vibración para acumular el 90% de masa participativa en los dos sentidos de traslación de la vivienda (tabla 29), donde se evidencia un comportamiento torsional en el sentido Y de la estructura (2do modo) (figura 74), sin embargo, esta torsión no resulta peligrosa debido a los bajos desplazamientos que se observaran más adelante, además este modelo no toma en cuenta la rigidez adicional que agregan las paredes de la edificación y tampoco se agregaron las cañas que se acumulan en las esquinas e intersección de las paredes, esto para hacer un primer análisis más simplificado de la estructura y si cumplen los parámetros mínimos exigidos en nuestras normas se dará por entendido que su comportamiento final será más eficiente que el mostrado en el presente análisis

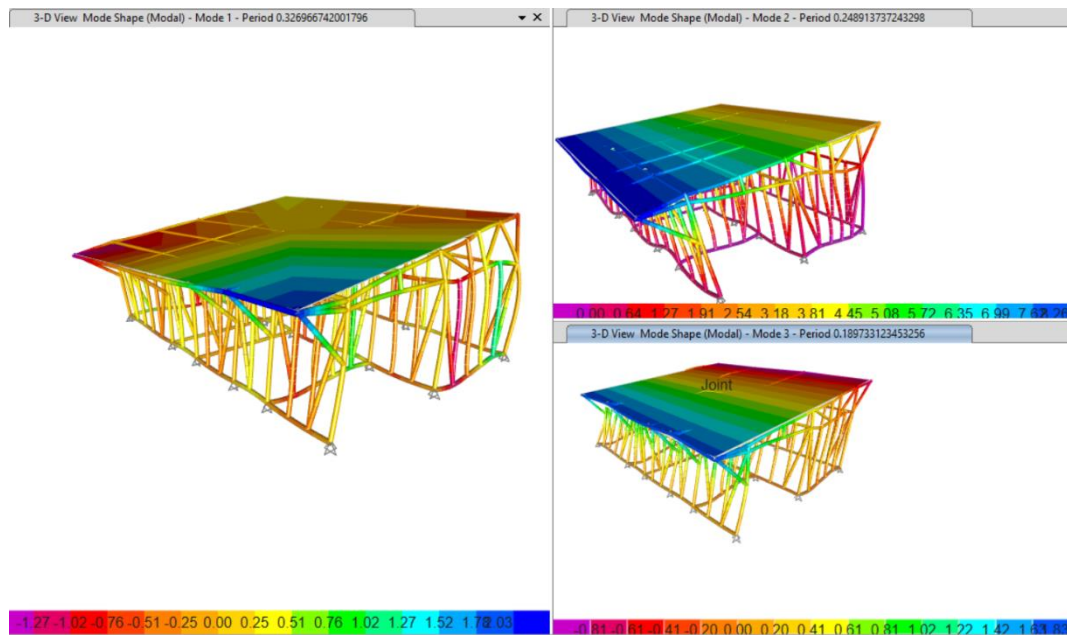


Figura 74 Comportamiento torsional en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.1.4 Derivas de piso

Las derivas de piso máximas permitidas para nuestra norma se restringen a un 2% como máximo para elementos de pórticos otros sistemas estructurales como lo son las de caña guadua, para sistemas estructurales como mampostería confinada o paredes armadas se restringen a un máximo de 1%. (tabla 30)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story2	SEY	LinStatic		Y	0.007068	44	15.3	3.2	3.55
Story2	SDY	LinRespSpec	Max	Y	0.005501	44	15.3	3.2	3.55
Story1	SEY	LinStatic		Y	0.002615	116	8.95	4.97	2.35
Story1	SDY	LinRespSpec	Max	X	0.002182	66	7.65	0	2.35
Story1	SDY	LinRespSpec	Max	Y	0.002121	86	7.65	1.9	2.35
Story1	SEX	LinStatic		X	0.001904	66	7.65	0	2.35
Story1	SDX	LinRespSpec	Max	X	0.001619	156	7.65	8.9	2.35
Story2	SDX	LinRespSpec	Max	Y	0.001369	12	15.3	6.4	3.55
Story2	SEX	LinStatic		Y	0.000798	65	15.3	0	3.55
Story1	SDX	LinRespSpec	Max	Y	0.000554	86	7.65	1.9	2.35
Story2	SEX	LinStatic		X	0.000389	65	15.3	0	3.55
Story2	SDX	LinRespSpec	Max	X	0.000317	12	15.3	6.4	3.55

Tabla 30 Derivas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Estas derivas son las máximas de la estructura pero que incurren dentro del rango elástico, por lo que en la siguiente tabla se muestran las derivas inelásticas. (tabla 31)

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	X	Y	Z	R	0.75	Deriva inelástica	Condición Drift <= 0,02
				m	m	m			Drift	
Story2	SEY	Y	0.00707	15.3	3.2	3.55	2	0.75	0.01060	CUMPLE
Story2	SDY	Y	0.0055	15.3	3.2	3.55	2	0.75	0.00825	CUMPLE
Story1	SEY	Y	0.00262	8.95	4.97	2.35	2	0.75	0.00392	CUMPLE
Story1	SDY	X	0.00218	7.65	0	2.35	2	0.75	0.00327	CUMPLE
Story1	SDY	Y	0.00212	7.65	1.9	2.35	2	0.75	0.00318	CUMPLE

Tabla 31 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

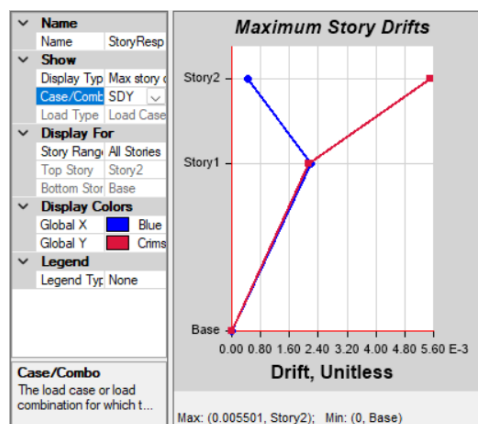


Figura 75 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Se observa así que la máxima deriva que sufre este tipo de viviendas con esta configuración estructural es de apenas el 1.06%, es decir, el 53.01% de la máxima deriva permitida, esto evidencia un excelente comportamiento sísmico (figura 75) y a lo que se le debe agregar que la caña guadua soporta mayores deformaciones sin sufrir daño a diferencia de otros materiales como lo son el hormigón armado, mampostería confinada, entre otros.

Otra ventaja es que, en caso de presentar derivas mayores a las permitidas, en estos sistemas es muy fácil agregar diagonales que rigidicen el sistema reduciendo estas derivas y estas soluciones resultan a su vez muy económicas y rápidas de aplicar.

Story	Output Case	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	8.302	12.095	1.049
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	8.211	9.388	0.624
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	8.178	10.9	0.216
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	8.144	9.597	0.099

Tabla 32 Desplazamientos máximos en X-X. en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Story	Output Case	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	3.985	12.095	0.165
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	8.302	12.095	1.049
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	0.596	12.094	0.067
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	4.535	12.09	0.574

Tabla 33 Desplazamientos máximos en Y-Y. en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Story	Output Case	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story1	DESP_INELASTICO_Y-Y	7.673	8.735	3.051
Story1	DESP_INELASTICO_Y-Y	5.195	8.733	2.969
Story1	DESP_INELASTICO_X-X	4.74	2.446	2.728
Story1	DESP_INELASTICO_X-X	4.341	2.44	2.389

Tabla 34 Desplazamientos máximos en Z-Z. en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

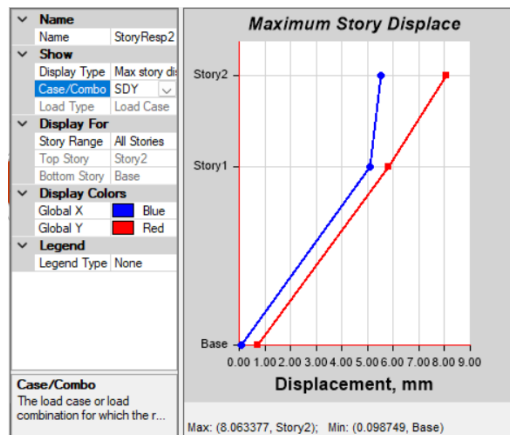


Figura 76 Desplazamientos máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

El máximo desplazamiento inelástico en esta vivienda para el sismo más desfavorable alcanza apenas los 1.21 cm, lo que nuevamente muestra eficiencia de estos sistemas ante eventos sísmicos severos, esto se debe a su muy bajo peso en relación a sus altas resistencias mecánicas, estos desplazamientos son extremadamente bajos para la capacidad de deformación que tiene la caña, lo que sí es importante acotar es que las uniones entre estos elementos deben ser bien diseñadas para que tengan la misma capacidad de deformación. (figura 76)

### 7.1.1.5 Revisión de torsión en planta

Esta revisión es muy importante para evitar en la medida de lo posible que exista el fenómeno de torsión en planta, esto sobre todo para sistemas de hormigón armado o mampostería confinada.

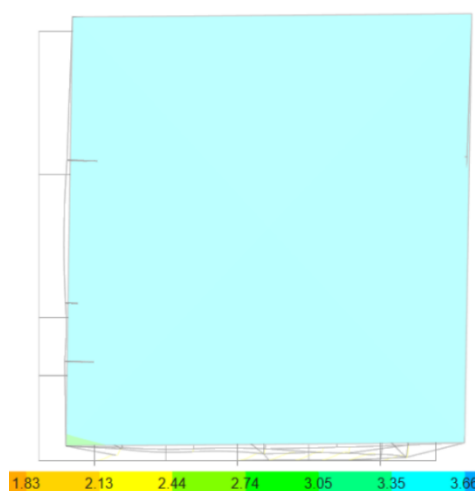


Figura 77 Revisión de torsión en planta X-X en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Para el sismo dinámico en X-X se aprecia de manera clara que su comportamiento es traslacional lo que es positivo para la estructura. (figura 77)

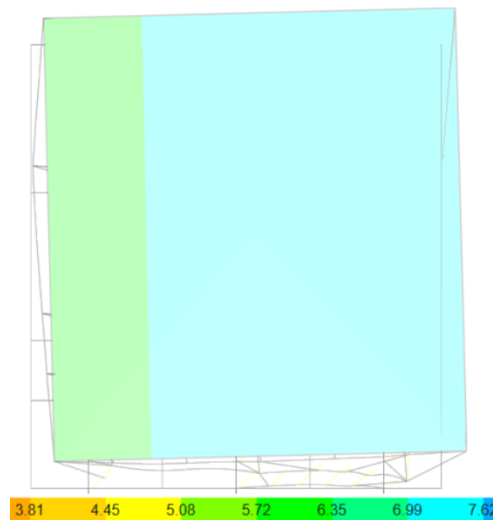


Figura 78 Revisión de torsión en planta Y-Y en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Para el sismo dinámico en Y-Y se aprecia una pequeña distorsión que no compromete la integridad de la estructura ante un evento telúrico. (figura 78)

Es bueno recalcar en este punto que en caso de existir una torsión en planta excesiva también es fácil de solucionar agregando culmos que añadan rigidez en los puntos donde sea necesario para evitar este fenómeno.

#### 7.1.1.6 Diagramas de cortantes y fuerzas axiales

Esta revisión es muy importante para evitar en la medida de lo posible que exista el fenómeno de torsión en planta, esto sobre todo para sistemas de hormigón armado o mampostería confinada. (figuras 79 - 80)

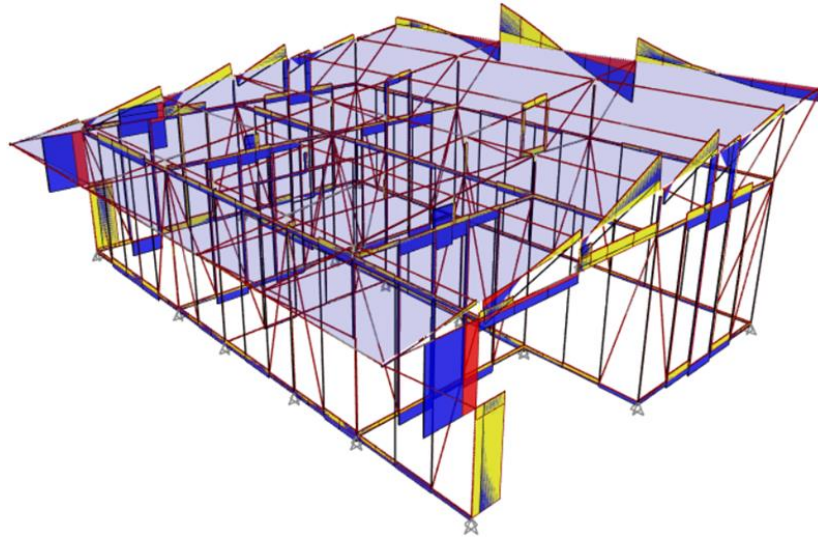


Figura 79 Diagrama de esfuerzos cortantes máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

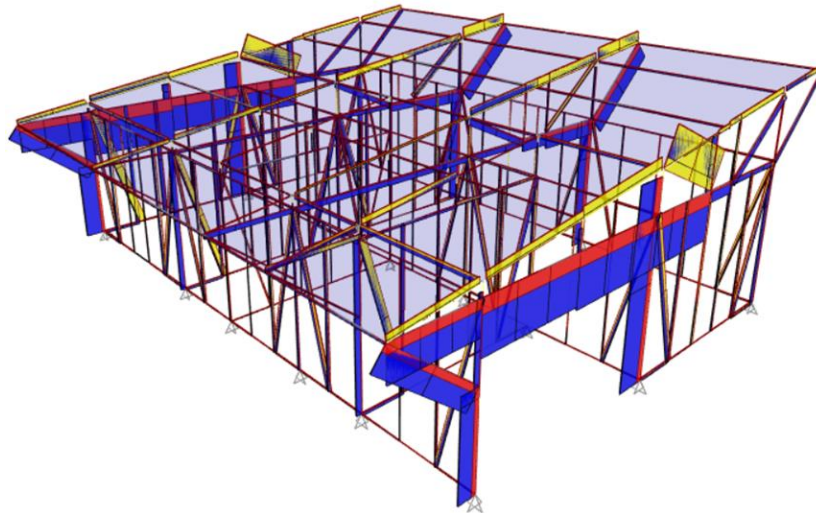


Figura 80 Diagrama de esfuerzos axiales máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Como pudimos observar, el objetivo principal de este estudio es conocer el comportamiento de la vivienda de caña guadua angustifolia Kunth (GaK) del Ministerio de Desarrollo Urbano y vivienda; se evidencia que el proceso se llevó a cabo satisfactoriamente ya que se realizó mediante el conjunto de herramientas para un estudio eficaz y pertinente en cuanto al diseño de elementos estructurales de este tipo de edificaciones tomando como referencia todos los datos descritos en el capítulo anterior de la NEC-SE-GUADUA.

## 7.1.2 Análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado

### 7.1.2.1 Materiales empleados

El material principal en esta tipología de vivienda pasa a ser el hormigón armado con una resistencia  $f_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>, el cual es la resistencia mínima que puede emplearse en elementos estructurales en nuestro país, este es un material que contiene las siguientes características mecánicas debido a los agregados que tenemos en nuestra ciudad “Portoviejo”. (figura 81)

General Data		
Material Name	F'c 210	
Material Type	Concrete	
Directional Symmetry Type	Isotropic	
Material Display Color	Change...	
Material Notes	Modify/Show Notes...	

Material Weight and Mass		
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density	
Weight per Unit Volume	2402.77	kgf/m <sup>3</sup>
Mass per Unit Volume	2402.77	kg/m <sup>3</sup>

Mechanical Property Data		
Modulus of Elasticity, E	182591.35	kgf/cm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio, U	0.2	
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099	1/C
Shear Modulus, G	76079.73	kgf/cm <sup>2</sup>

Material Name and Type		
Material Name	F'c 210	
Material Type	Concrete, Isotropic	
Grade	F'c 3000 psi	

Design Properties for Concrete Materials		
Specified Concrete Compressive Strength, $f_c$	210	kgf/cm <sup>2</sup>

Figura 81 Materiales empleados (hormigón) en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado GAK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

El segundo es el acero de refuerzo longitudinal, empleado para mejorar las características del flexion del hormigon ya que este es muy fragil a este tipo de esfuerzon cuando no contiene el acero, las características mecánicas de este son las siguientes: (figura 82)

General Data		
Material Name	Fy 4200	
Material Type	Rebar	
Directional Symmetry Type	Uniaxial	
Material Display Color	Change...	
Material Notes	Modify/Show Notes...	

Material Weight and Mass		
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density	
Weight per Unit Volume	7849.05	kgf/m <sup>3</sup>
Mass per Unit Volume	7849.047	kg/m <sup>3</sup>

Mechanical Property Data		
Modulus of Elasticity, E	2000000	kgf/cm <sup>2</sup>
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000117	1/C

Material Name and Type		
Material Name	Fy 4200	
Material Type	Rebar, Uniaxial	
Grade	Grade 60	

Design Properties for Rebar Materials		
Minimum Yield Strength, $F_y$	4200	kgf/cm <sup>2</sup>
Minimum Tensile Strength, $F_u$	5500	kgf/cm <sup>2</sup>
Expected Yield Strength, $F_{ye}$	5400	kgf/cm <sup>2</sup>
Expected Tensile Strength, $F_{ue}$	5500	kgf/cm <sup>2</sup>

Figura 82 Materiales empleados (acero) en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)



Los demás materiales están citados en el punto anterior y son la caña guadua GaK y el galvalume.

### 7.1.2.2 Espectro de respuesta

Se tomó como referencia para este análisis el suelo más desfavorable para nuestro entorno el cual corresponde a un suelo tipo E, con las siguientes características según nuestras normativas: (figura 83)

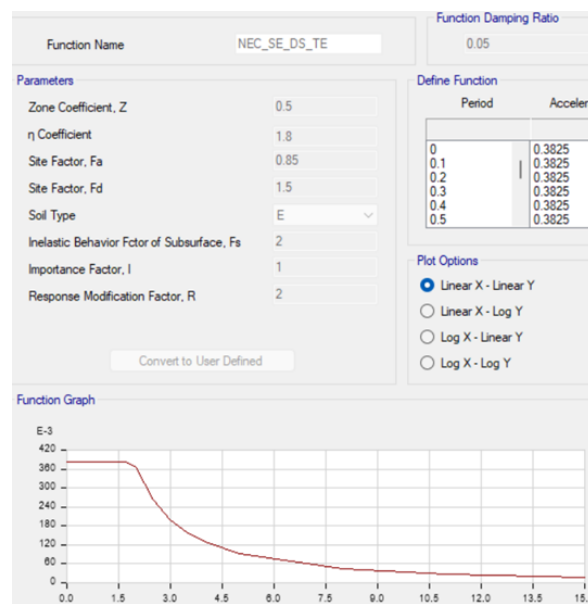


Figura 83 Espectro de respuesta en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.2.3 Masa participativa

Mode	Period sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.189	0	0.3285	0	0.3285	0.5795	0.5795
2	0.169	0	0.6003	0	0.9288	0.3853	0.9648
3	0.163	0.9988	0	0.9988	0.9288	0	0.9648
4	0.1	0	0.0661	0.9988	0.9949	0.0323	0.9971
5	0.075	0	0.0024	0.9988	0.9973	0.0001	0.9971

Tabla 35 Masa participativa en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Se emplearon 3 modos de vibración para acumular el 90% de masa participativa en los dos sentidos de traslación de la vivienda (tabla 35), donde se evidencia un comportamiento torsional en el sentido Y de la estructura (2do modo) (figura 84), sin embargo, esta torsión no resulta peligrosa debido a los bajos desplazamientos que se observaran más adelante, además este modelo no toma en cuenta la rigidez adicional que agregan las paredes de

mampostería de la edificación, sin embargo en esta tipología de estructura es muy importante recalcar que la mampostería juega un papel que da desventaja en cuanto a las máximas derivas permitidas ya que estas se reducen al 1%, después de alcanzada estas derivas la mampostería falla y puede ser un punto peligroso para eventos sísmicos, incluso en el terremoto del 16-A muchas de las víctimas que fallecieron, fue por la mampostería que se desplomo encima de ellos mas no por el colapso de la estructura.

Una ventaja visible es que en esta tipología los periodos de vibración se reducen casi a la mitad de los observados en el modelo con 100% cañas, lo que se evidenciará en menores desplazamientos.

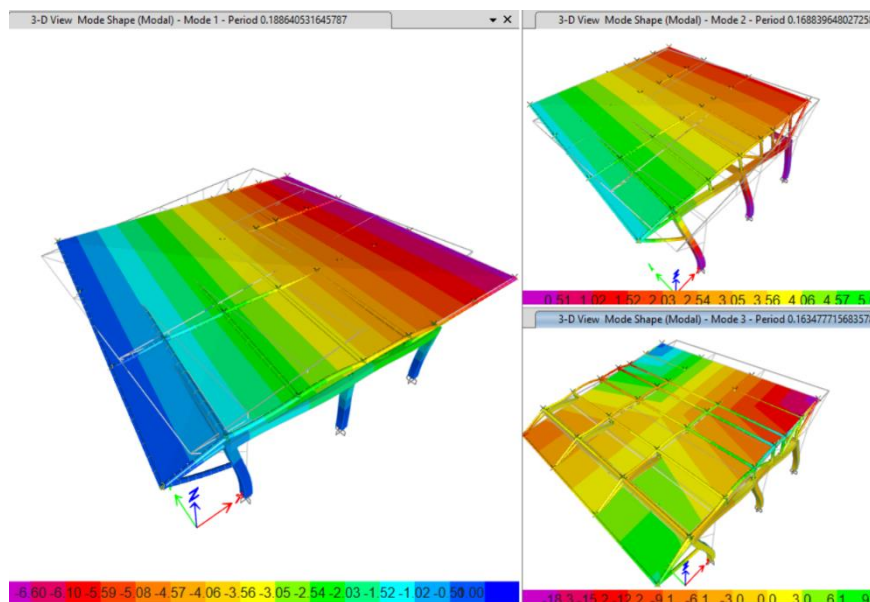


Figura 84 Comportamiento torsional en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.  
Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.2.4 Derivas de piso

Las derivas de piso máximas permitidas para nuestra norma se restringen a un 2% como máximo para elementos de pórticos otros sistemas estructurales como lo son las de caña guadua, para sistemas estructurales como mampostería confinada o paredes armadas se restringen a un máximo de 1%. (tabla 36)

Story	Output Case	Direction	Drift	X m	Y m	Z m
Story2	DESP_INELAS...	Y	0.002754	8.86	3.13	3.75
Story2	DESP_INELAS...	Y	0.002754	8.86	3.13	3.75
Story2	SDY	Y	0.001836	8.86	3.13	3.75
Story2	SEY	Y	0.00177	8.86	6.26	3.75
Story1	DESP_INELAS...	Y	0.001734	1.3	9.39	2.4
Story1	DESP_INELAS...	Y	0.001734	1.3	9.39	2.4
Story1	DESP_INELAS...	X	0.001577	4.43	9.39	2.4
Story1	DESP_INELAS...	X	0.001577	4.43	9.39	2.4

Tabla 36 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.  
Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

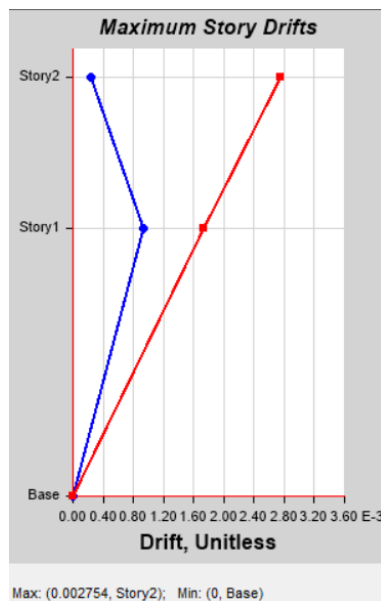


Figura 85 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.  
Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Se observa así que la máxima deriva que sufre este tipo de viviendas con esta configuración estructural es de apenas el 0.20%, es decir, el 20% de la máxima deriva permitida (figura 85), esto evidencia la excelente rigidez que aportan las columnas de

hormigón armado sin embargo son de un comportamiento de muy baja ductilidad debido a sus dimensiones menores a las recomendadas.

Otra desventaja es que para rigidizar estos sistemas en casos lo requiriera, resulta más complejo y costoso hacerlo.

Story	Output Case	Case Type	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	SDX	LinRespSpec	2.77	0.014	0.28
Story2	SDX	LinRespSpec	2.77	0.014	0.28
Story2	SDX	LinRespSpec	2.739	0.01	0.102
Story2	SDX	LinRespSpec	2.739	0.01	0.102

Tabla 37 Desplazamientos máximos en X-X en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Story	Output Case	Case Type	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	SDY	LinRespSpec	0.549	3.943	0.058
Story2	SDY	LinRespSpec	0.549	3.943	0.058
Story2	SDY	LinRespSpec	1.702	3.941	0.221
Story2	SDY	LinRespSpec	1.702	3.941	0.221

Tabla 38 Desplazamientos máximos en Y-Y en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Story	Output Case	Case Type	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story1	SDX	LinRespSpec	2.466	0.002	1.567
Story1	SDX	LinRespSpec	2.466	0.002	1.567
Story1	SDX	LinRespSpec	2.491	0.007	1.534
Story1	SDX	LinRespSpec	2.491	0.007	1.534

Tabla 39 Desplazamientos máximos en Z-Z en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

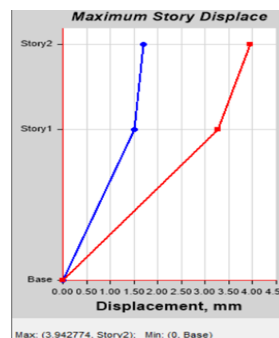


Figura 86 Desplazamientos máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

El máximo desplazamiento inelástico en esta vivienda para el sismo más desfavorable alcanza apenas los 5.91 mm (figura 86), lo que nuevamente muestra eficiencia de estos sistemas gracias a su rigidez, pero mayor riesgo de fallas frágiles, más costosos, mayor tiempo de construcción y lo más importante son más contaminante al medio ambiente.

### 7.1.2.5 Revisión de torsión en planta

Esta revisión es muy importante para evitar en la medida de lo posible que exista el fenómeno de torsión en planta, esto sobre todo para sistemas de hormigón armado o mampostería confinada.

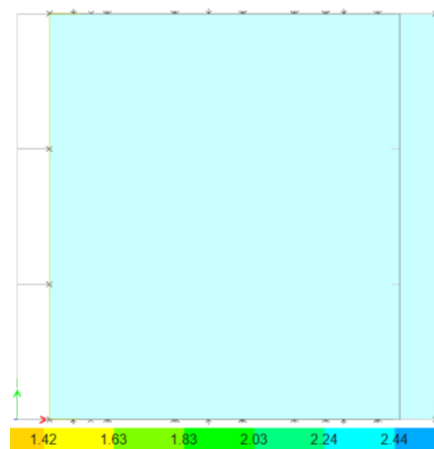


Figura 87 Revisión de torsión en planta X-X en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Para el sismo dinámico en X-X se aprecia de manera clara que su comportamiento es traslacional lo que es positivo para la estructura. (figura 87)

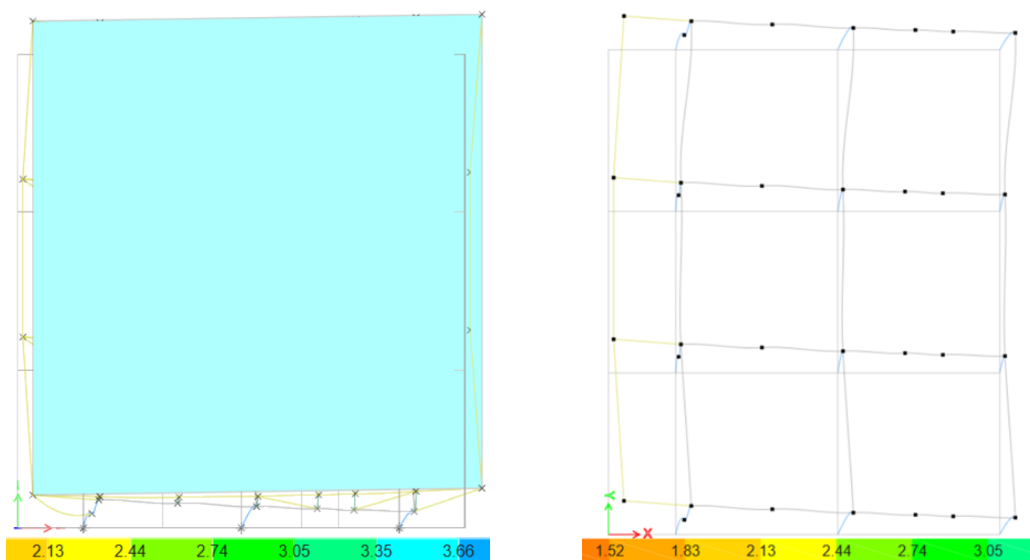


Figura 88 Revisión de torsión en planta Y-Y en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Para el sismo dinámico en Y-Y se aprecia una pequeña distorsión que si para esta tipología si puede resultar contraproducente ante eventos telúricos debido a que las columnas pueden fallar ocasionando graves consecuencias a la estabilidad de la estructura. (figura 88)

#### 7.1.2.6 Diagrama de cortantes y fuerzas axiales

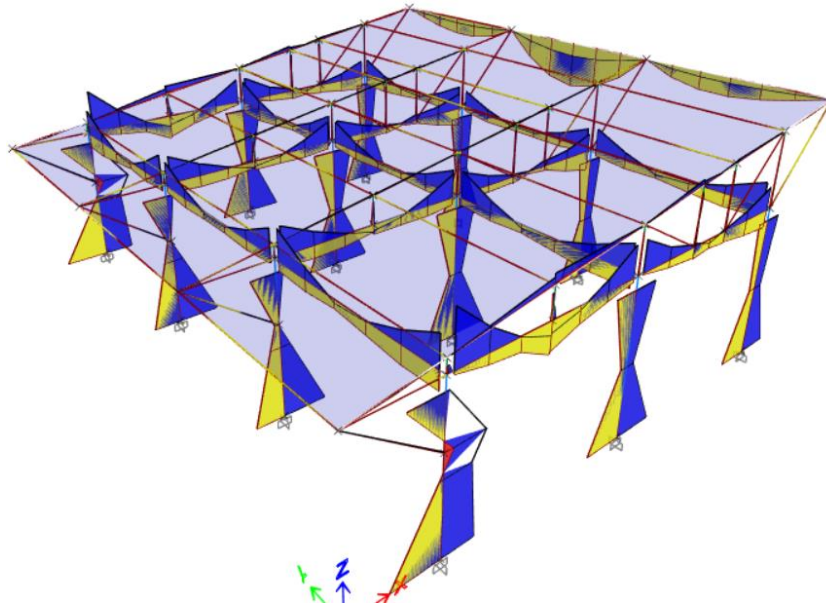


Figura 89. Diagrama de momentos en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

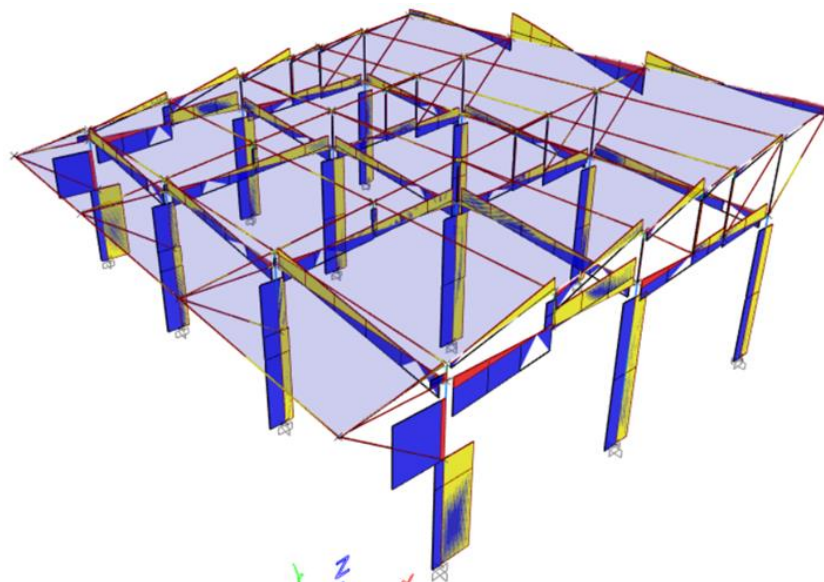


Figura 90 Diagrama de esfuerzos axiales máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.3 Análisis experimental físico y mecánico del material en estado natural

#### 7.1.3.1 Análisis de las propiedades físicas del material en estado natural

Obtener información de las propiedades físicas de la caña guadua es muy importante para el diseño y la construcción de elementos estructurales y arquitectónicos en viviendas. A continuación, se demuestran los respectivos ensayos de humedad y contracción.

Estos ensayos se realizan después de los ensayos mecánicos de cada probeta ensayada.

- Análisis del contenido de humedad de las muestras: (tabla 40)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	1.88%	1.50%	1.25%
Muestra 2	1.59%	1.39%	0.98%
Muestra 3	1.49%	0.83%	1.12%

Tabla 40 Análisis del contenido de humedad de las muestras. Propiedades físicas. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

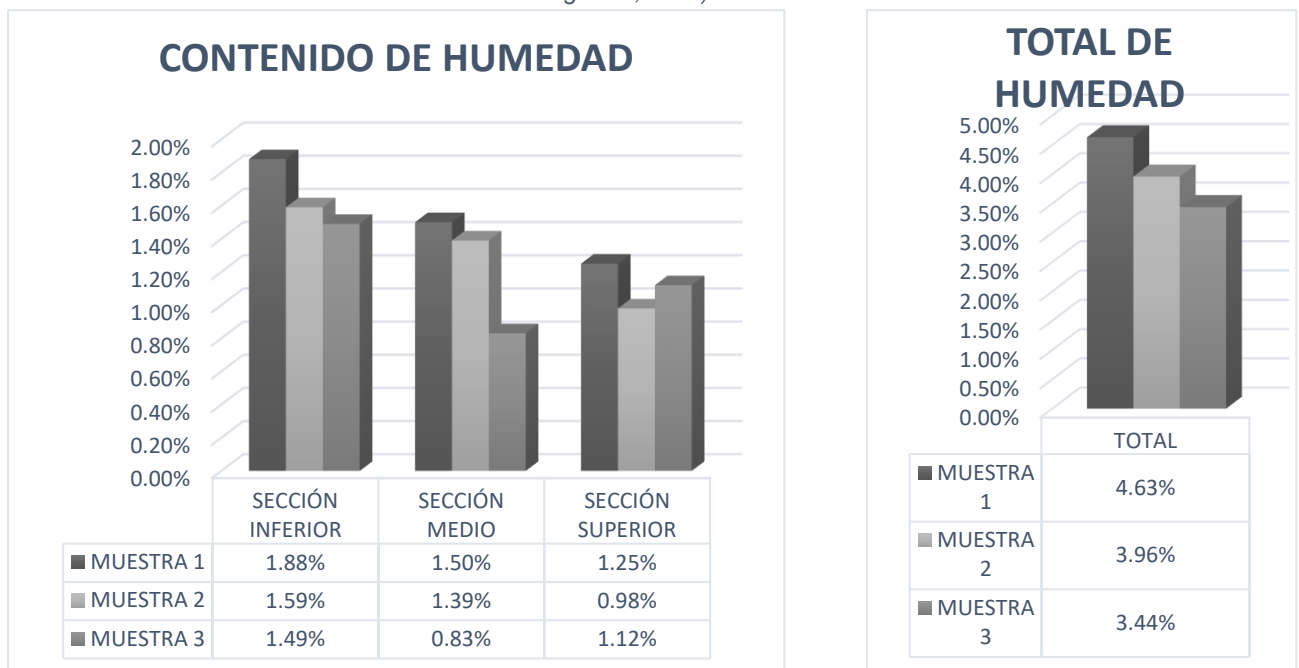


Figura 91 Análisis del contenido de humedad de las muestras. Propiedades físicas. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Como vemos, el contenido de humedad mayor se da en la parte inferior de los culmos de las tres muestras correspondientes; esto sucede ya que

las muestras tomadas están en zonas húmedas y cerca de ríos, por lo cual recibe mayor humedad del suelo.

Haciendo un análisis comparativo de las muestras, podemos demostrar que la muestra con mayor cantidad de humedad es la MUESTRA 1 (4.63%) y la que posee menor cantidad de humedad es la MUESTRA 2 (3.44%). (figura 91)

La NEC-GUADUA en su apéndice 3.8 nos indica que los culmos de GAK idóneos para la construcción deben estar secos, lo que significa que su contenido de humedad debe ser igual o inferior a la humedad equilibrio del lugar de la muestra. (tabla 41)

**MEDIA ANUAL DE HE (humedad de equilibrio) EN VARIAS LOCALIDADES DEL ECUADOR**

LOCALIDAD	TEMPERATURA MEDIA ANUAL °C	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ANUAL %	HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA MADERA % (media anual)
Portoviejo	24.7	76.4	16.0
Jipijapa	21.6	80.8	17.7
Manta	25.0	77.6	16.2
Santa Ana	25.5	77.8	16.3
Chone	25.5	86.8	20.3

*Tabla 41 Media anual de humedad de equilibrio en Ecuador. Fuente (NEC-SE-GUADUA, 2016)*

- Análisis de los ensayos de contracción de las muestras: (tabla 42)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	191.8 gr	159.83 gr	128.41 gr
Muestra 2	383.31 gr	266.65 gr	138.66 gr
Muestra 3	409.85 gr	224.35 gr	186.15 gr

*Tabla 42 Análisis de los ensayos de contracción en estado húmedo de las muestras. Propiedades físicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)*





Figura 92 Análisis de los ensayos de contracción en estado húmedo de las muestras. Propiedades físicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Una de las propiedades físicas es el ensayo de contracción, donde analizaremos como el material una vez cortado se encoje, de manera particular y demostrativa en: su diámetro, altura y espesor. Los datos mostrados en los gráficos anteriores, son los resultados de las muestras previas a ser llevadas al horno eléctrico para su ensayo. (figura 92)

Luego de estar sometidas 24 horas a una temperatura de 103° C (figura 94) como lo indica la norma NTC-5525 podemos ver como se reduce su peso, diámetro y altura. (tabla 43) (figura 93)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	153.06 gr	127.72 gr	78.53 gr
Muestra 2	335.39 gr	207.73 gr	104.42 gr
Muestra 3	304.32 gr	144.21 gr	122.51 gr

Tabla 43 Análisis de los ensayos de contracción en estado seco de las muestras. Propiedades físicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

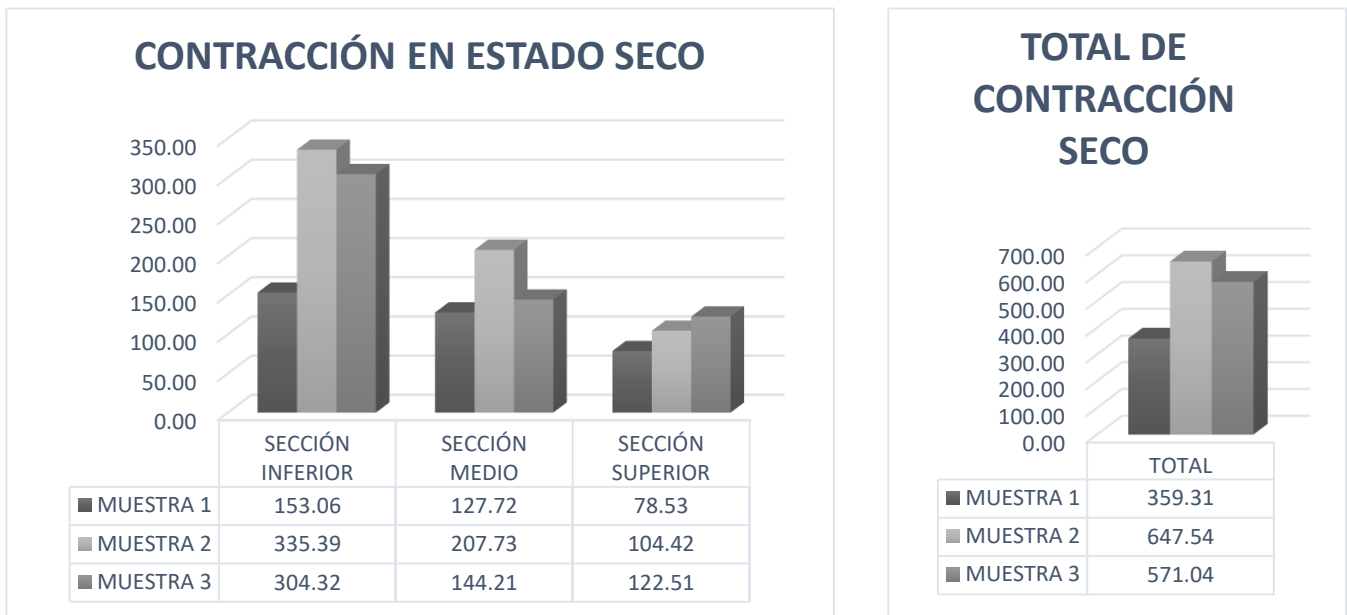


Figura 93 Análisis de los ensayos de contracción en estado seco de las muestras. Propiedades físicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Como resultados de estos ensayos, se determinó que la MUESTRA 1 con un promedio de 40.243 gr se comprimió mucho menos que la MUESTRA 2 con un promedio de 47.027 gr; mientras que la MUESTRA 3 es la que mayor contracción tuvo con un promedio de 83.103 gr. (tabla 44)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR		SECCIÓN MEDIO		SECCIÓN SUPERIOR		TOTALES		PROMEDIOS DE HUMEDAD
	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	
Muestra 1	191.8	153.06	159.83	127.72	128.41	78.53	480.04	359.31	<b>40.243</b>
Muestra 2	383.31	335.39	266.65	207.73	138.66	104.42	788.62	647.54	<b>47.027</b>
Muestra 3	409.85	304.32	224.35	144.21	186.15	122.51	820.35	571.04	<b>83.103</b>

Tabla 44 Promedios de contracción de las muestras. Propiedades físicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Luego de la prueba, también la altura de las muestras varía notablemente; por ejemplo, en la MUESTRA 2 y la MUESTRA 3, las alturas van entre 2.39 mm y 2.37 mm aproximadamente mientras que en la MUESTRA 1 es de aproximadamente 1.42 mm. (tabla 45)

MUESTRA	ALTURA
Muestra 1	1.42 mm
Muestra 2	2.39 mm

Tabla 45 Promedios de alturas por contracción de las muestras. Propiedades físicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)



Figura 94 Muestras de probetas colocadas en el horno. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.3.2 Análisis de las propiedades mecánicas de las muestras

Las propiedades mecánicas para un material son de gran importancia, ya que mediante este proceso conoceremos valores y resistencias; además, esto nos ayudará para establecer diseños en materiales de construcción, aptos para procesos estructurales.

Dentro de esta investigación se realizaron diferentes tipos de ensayos como son los de compresión, corte, torsión y flexión; resultados que se observarán en las

Para este proceso se tomaron como referencia los datos de la NTC-5525, para conocer los métodos y así obtener los ensayos que necesitaríamos en el laboratorio, ya que esta norma nos brinda requisitos específicos para que los resultados sean confiables.

- Análisis de resistencia y módulo de elasticidad en ensayo de compresión de las tres muestras:
  - Resistencia. (tabla 46)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	25.67 MPa	29.66 MPa	28.10 MPa
Muestra 2	38.20 MPa	40.64 MPa	55.44 MPa
Muestra 3	30.93 MPa	38.18 MPa	58.84 MPa

Tabla 46 Análisis de resistencia a la compresión de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

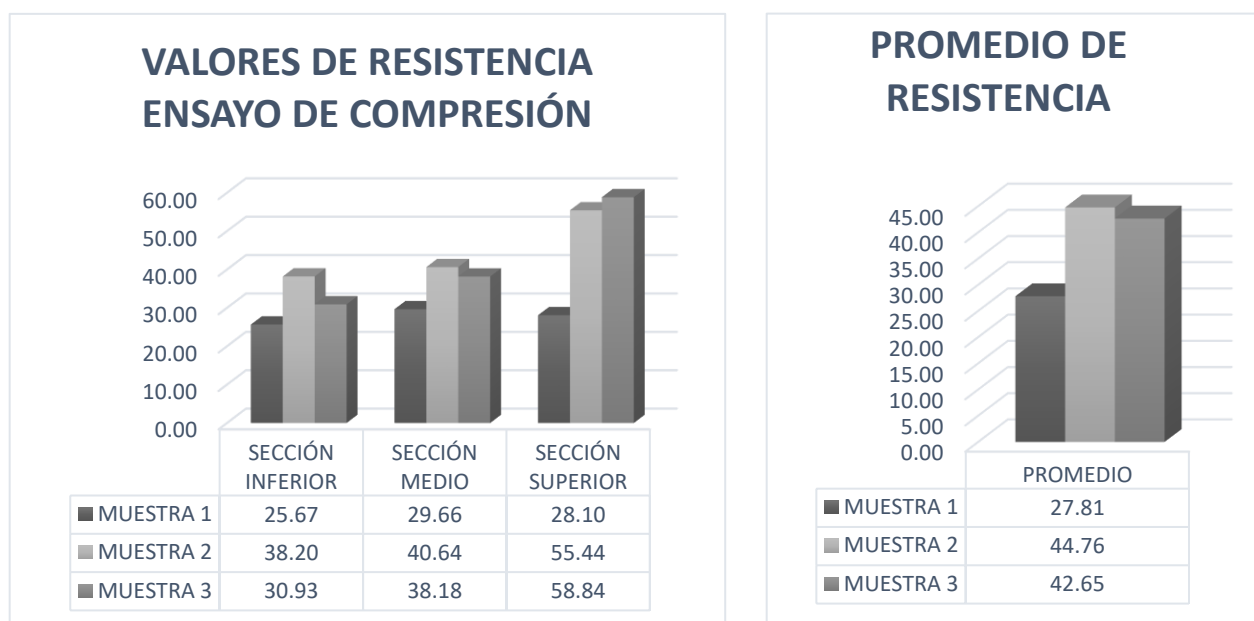


Figura 95 Análisis de resistencia a la compresión de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Como se puede observar, los valores de las resistencias a la compresión de dos muestras, MUESTRA 2 (55.44 MPa) y MUESTRA 3 (58.84 Mpa) demuestran que en su parte superior son más fuertes que los datos obtenidos en la MUESTRA 1 (28.10 Mpa). (figura 95)

Se demuestra además que la parte con menor resistencia fue la inferior en las tres muestras como se identifica en el gráfico. Con esto podemos demostrar que la caña se comporta de diferente manera en cada una de las muestras. (figura 96)

En la tabla que se anexa a continuación, se encuentran los esfuerzos últimos de resistencia a la falla de la GaK ante las diferentes sollicitaciones de carga, dato tomado de la NEC-SE-GUADUA. (tabla 47)

<b>Fb</b> <b>FLEXIÓN</b>	<b>Ft</b> <b>TRACCIÓN</b>	<b>Fc</b> <b>COMPRESIÓN</b>	<b>Fv</b> <b>CORTE</b>
45	117	37	7

Tabla 47 Esfuerzos últimos de resistencia. Fuente (NEC-SE-GUADUA, 2016)

De acuerdo a lo visto en la tabla anterior, la MUESTRA 1 estaría fuera del rango con 27.81 Mpa, debido a que el esfuerzo mínimo de acuerdo a lo indicado en la norma es de 37 Mpa. La MUESTRA 2 y la MUESTRA 3, se encuentran en condiciones óptimas debido a sus promedios superiores de 42.65 Mpa.



Figura 96 Muestra de probetas en ensayo de compresión. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

- Módulo de elasticidad. (tabla 48)

<b>MUESTRA</b>	<b>VALORES DE MÓDULO DE ELASTICIDAD</b>		
	<b>SECCIÓN INFERIOR</b>	<b>SECCIÓN MEDIO</b>	<b>SECCIÓN SUPERIOR</b>
Muestra 1	7.380 MPa	4.446 MPa	6.167 MPa
Muestra 2	19.142 MPa	29.747 MPa	4.524 MPa
Muestra 3	23.970 MPa	5.473 MPa	12.625 MPa

Tabla 48 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

En la tabla que se anexa a continuación, se encuentran los valores de los módulos de elasticidad (MPa) de la GaK ante las diferentes sollicitaciones de carga, dato tomado de la NEC-SE-GUADUA. (tabla 49)

MÓDULO PERCENTIL 5 $E_{0.5}$	MÓDULO PERCENTIL 5 $E_{0.05}$	MÓDULO MÍNIMO $E_{min}$
12.000	7.500	4.000

Tabla 49 Módulos de elasticidad. Fuente (NEC-SE-GUADUA, 2016)

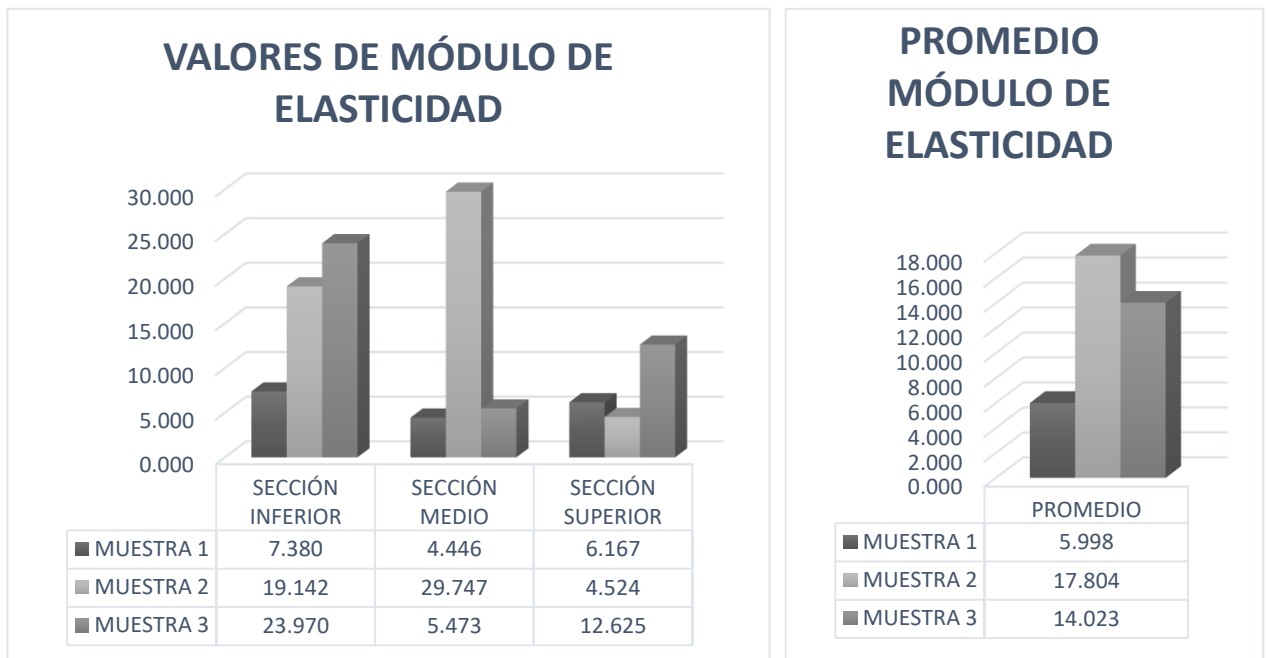


Figura 97 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Como se puede observar, los valores promedios del módulo de elasticidad de las muestras varían considerablemente; y aunque la MUESTRA 1 tenga un valor de (5.998 Mpa) que es bajo con relación a las otras muestras, está dentro de lo mínimo que la normativa indica para procesos constructivos. (figura 97)

- *Análisis de ensayos de corte de las muestras:* Para poder realizar este ensayo, la NTC-5525 indica que deben realizarse ensayos con nudos y sin nudos en las probetas.

- Con nudos: (tabla 50)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	13.089 MPa	16.977 MPa	12.102 MPa
Muestra 2	18.347 MPa	15.465 MPa	23.250 MPa
Muestra 3	16.960 MPa	42.283 MPa	18.664 MPa

Tabla 50 Análisis de ensayos de corte con nudos de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

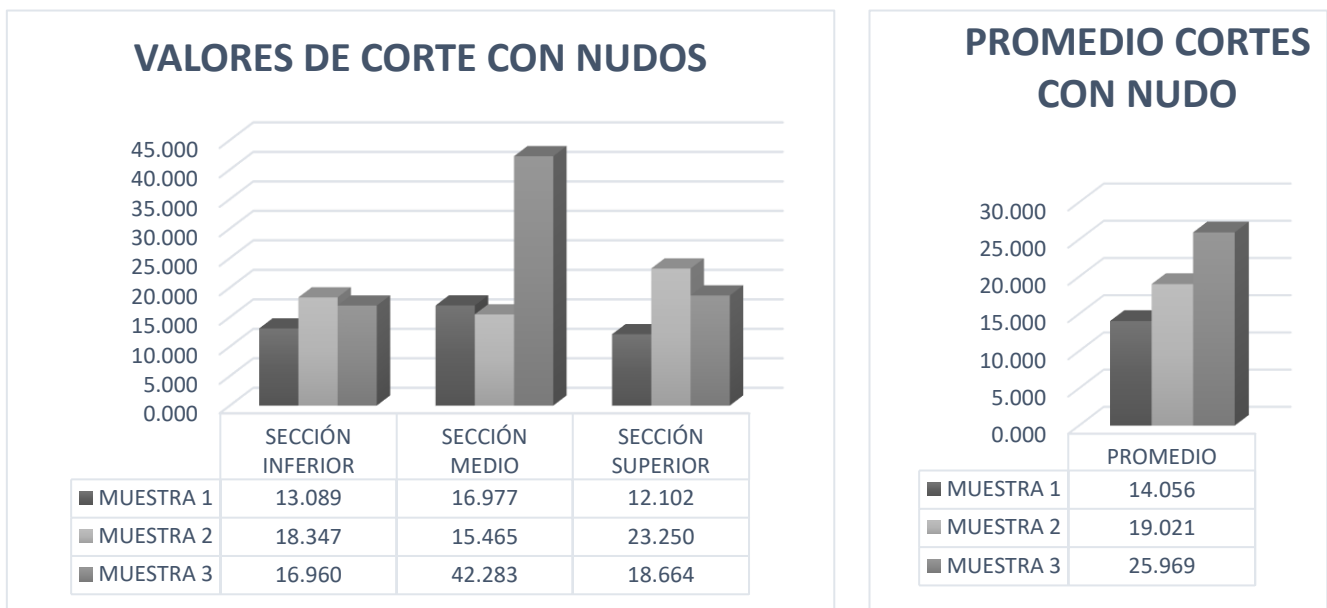


Figura 98 Análisis de ensayos de corte con nudos de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Como se puede observar, la muestra con menor resistencia al corte con nudos es la MUESTRA 1, con un promedio de 14.056 Mpa, y como la tabla de la NEC-SE-GUADUA de esfuerzos últimos mostrada anteriormente expresa que para corte el esfuerzo mínimo es 7; se puede decir que se encuentra superando al rango. (figura 98)

- Sin nudos: (tabla 51)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	13.037 MPa	13.504 MPa	14.394 MPa
Muestra 2	21.645 MPa	14.096 MPa	24.617 MPa
Muestra 3	14.619 MPa	13.880 MPa	24.502 MPa

Tabla 51 Análisis comparativo de ensayos de corte sin nudos de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

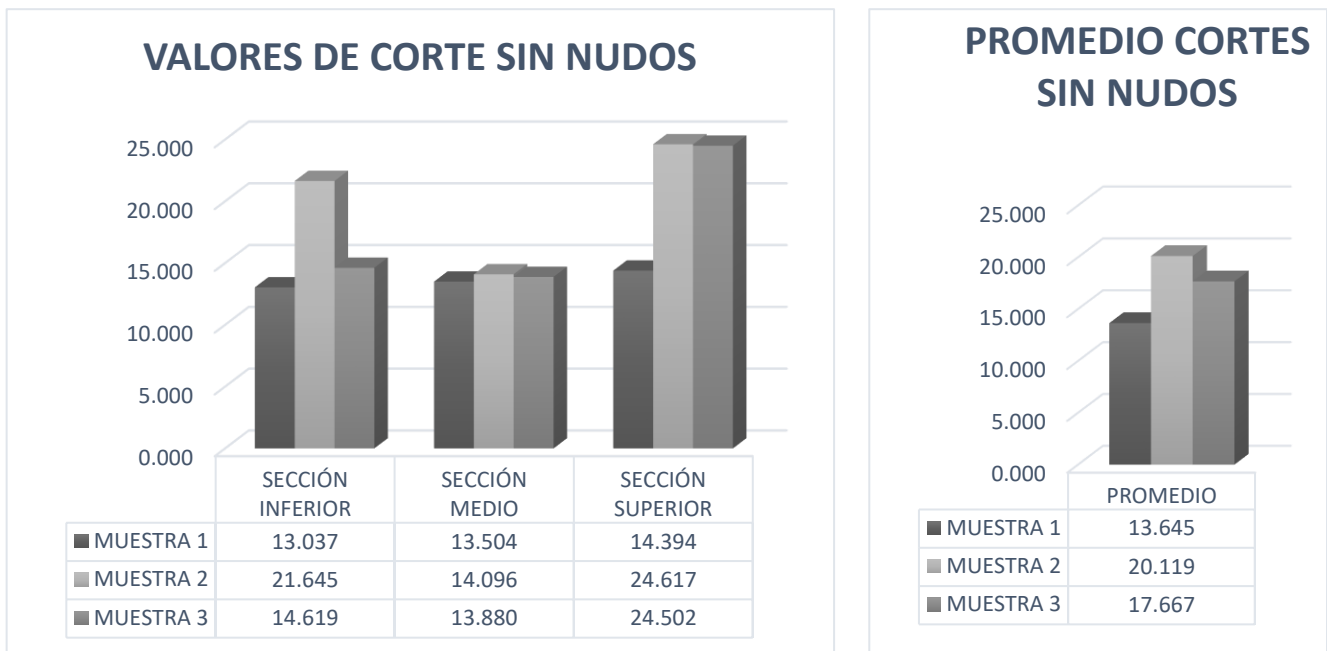


Figura 99 Análisis de ensayos de corte sin nudos de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Como nos indica la norma NTC-5525, se realizaron pruebas a cortes sin nudos, donde podemos observar que en la MUESTRA 3 hay gran variación de esfuerzos en relación a las otras dos muestras, pero en relación a la sección con mayor resistencia a corte, es en la parte superior un poco que las otras muestras. (figura 99)



Figura 100 Muestra de probetas en ensayo de corte. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

- **Análisis del ensayo de tensión de las muestras:** Al igual que los demás ensayos, en este debe tenerse en cuenta el contenido de humedad; también el estudio se



lo realizó en una parte con nudos y en otra parte sin nudos, todas estas cortadas en probetas como lo indica la norma NTC-5525 para obtener resultados confiables.

- Resistencia a tensión. (tabla 52)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	49.17 MPa	134.19 MPa	88.15 MPa
Muestra 2	184.31 MPa	153.67 MPa	173.86 MPa
Muestra 3	112.80 MPa	153.86 MPa	131.81 MPa

Tabla 52 Análisis de ensayos de resistencia a tensión de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

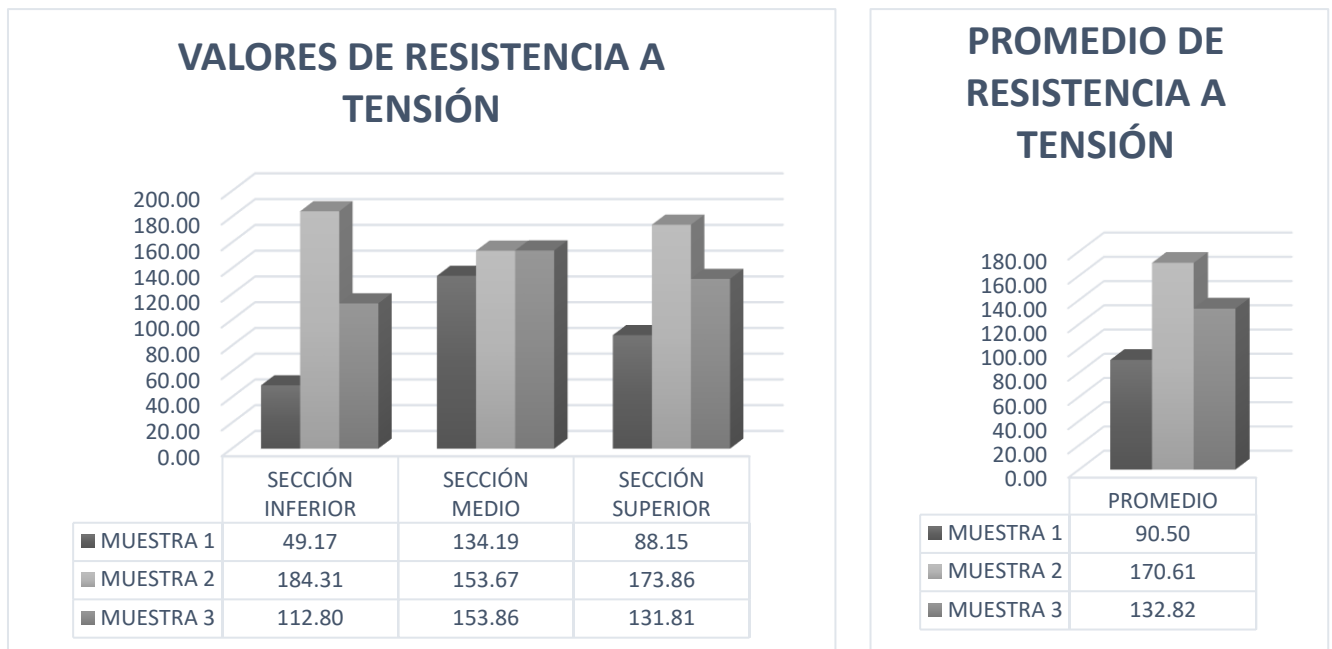


Figura 101 Análisis de ensayos de resistencia a tensión de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Como se puede observar la resistencia de la MUESTRA 1 con 90.50 Mpa es inferior a lo que establece la NEC-SE-GUADUA en la tabla de esfuerzos últimos mostrada anteriormente que es de mínimo 117 Mpa; mientras que las otras MUESTRAS superan ese valor y están en óptimas condiciones constructivas. (figura 101)

- Módulo de elasticidad. (tabla 53)

MUESTRA	SECCIÓN INFERIOR	SECCIÓN MEDIO	SECCIÓN SUPERIOR
Muestra 1	3.266 MPa	14.314 MPa	9.826 MPa
Muestra 2	14.440 MPa	15.992 MPa	15.023 MPa
Muestra 3	7.312 MPa	14.797 MPa	11.503 MPa

Tabla 53 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

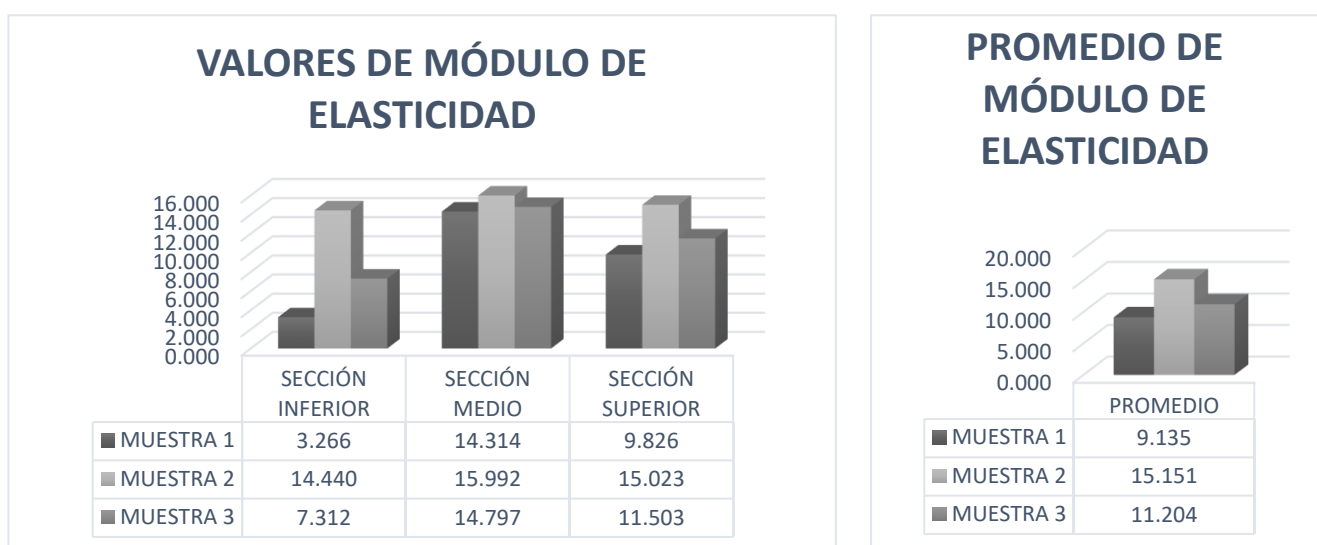


Figura 102 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

Como se puede observar y en relación a lo que establece la NEC-SE-GUADUA en su tabla de módulos de elasticidad mostrada anteriormente; el rango de módulo mínimo es de 4.000 Mpa; por lo tanto, se puede expresar que todas las muestras cumplen esa especificación. (figura 102)



Figura 103 Corte y ensayo a tensión de las muestras. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

- *Análisis del ensayo a flexión de las muestras:* Este ensayo está determinado por el control de deflexión admisible, donde se tomó en cuenta la resistencia máxima, la fuerza, la variación de tiempo y el área de sección del aplastamiento. (tabla 54)

Cada ensayo fue sometido a una carga concentrada como indica la tabla que se anexa a continuación; esta carga fue aplicada sobre un nudo para evitar fallas en su aplastamiento en el punto de contacto.

MUESTRA	RESISTENCIA MÁXIMA	FUERZA	∅ ext	∅ int	ÁREA DE SECCIÓN	T de Δx	Δx
Muestra 1	10.27	3766.13	9.84	7.88	0.002728	43.00	12.40
	Mpa	Mpa	cm	cm		seg	cm
Muestra 2	12.86	2601.07	11.62	8.49	0.004944	47.00	13.10
	Mpa	Mpa	cm	cm		seg	cm
Muestra 3	12.51	3840.24	10.34	8.09	0.003257	64.00	11.90
	Mpa	Mpa	cm	cm		seg	cm

Tabla 54 Análisis del ensayo a flexión de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

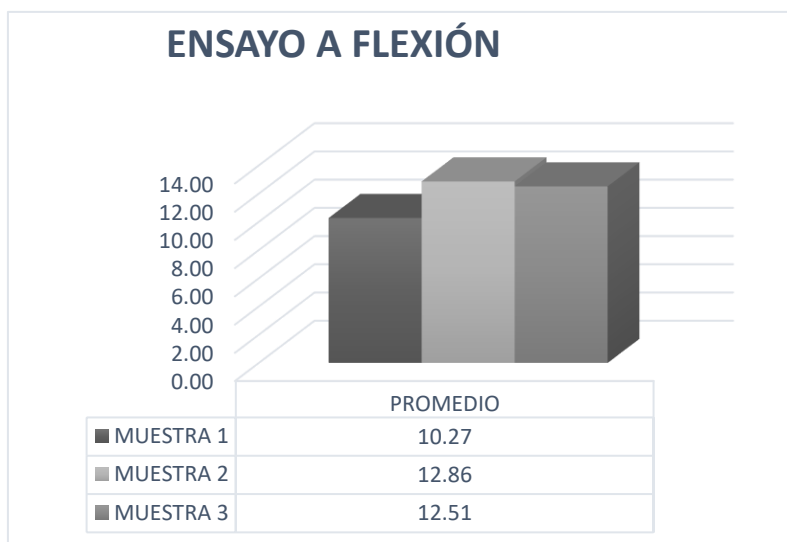


Figura 104 Análisis del ensayo a flexión de las muestras. Propiedades mecánicas. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)

El valor de resistencia máxima mayor se da en la MUESTRA 2 con 12.86 Mpa con una fuerza aplicada de 2601.07 Mpa en un intervalo de tiempo de 47 segundos; siendo la MUESTRA 1 con la menor resistencia a flexión con 10.27 Mpa en un tiempo de 43 segundos. (figura 104)



Figura 105 Corte y ensayo a flexión de las muestras. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

#### **7.1.4 Análisis experimental de caña guadua preservada o inmunizada**

##### **7.1.4.1 Método de selección de muestras**

Para esta experimentación se seleccionarán ocho muestras adicionales a las utilizadas en los ensayos físicos y mecánicos, distribuidas de la siguiente manera: cuatro culmos que hayan pasado por el proceso de inmersión y cuatro culmos en estado natural; con ellos se realizará el respectivo análisis y comparación de datos. (NTC-5525)

##### **7.1.4.2 Aplicación del proceso de preservado**

El proceso para la preservación de la guadua ha sido fundamental para su durabilidad. En este apartado analizaremos cada uno de los pasos que se realizaron para preservar la caña guadua de las muestras.

- *Recepción, selección y acopio del material:* (figura 106) La identificación de los culmos idóneos para la construcción, se la realizó tomando en cuenta la NEC-SE-GUADUA que explica que se deben considerar las siguientes características y aspectos morfológicos del material:

- Cuando tierno, el culmo de GaK es de color verde claro con franjas blancas en las proximidades de los nudos.
- La GaK presenta espinas en las ramas.
- La hoja caulinar de la GaK es de forma triangular, tiene líneas rectas que asemejan la punta de una lanza, y en la parte inmediata a su vértice posee un triángulo de textura y color diferentes al resto de la hoja.
- Adicionalmente, los culmos que están en edad para su utilización en la construcción (entre 4 a 6 años) tienen signos visibles que indican su madurez y que fueron objeto de este análisis para su selección:
- Color verde oscuro, cuyas bandas blancas en los nudos son apenas perceptibles.
- Manchas espaciadas de líquenes en el culmo, en forma de motas de color blanquecino que son indicativos de que es un culmo maduro y apto para su aprovechamiento en la construcción. Si carece de estas manchas, es indicativo de que es un culmo no maduro, no apto para construcción.
- Si el culmo está totalmente cubierto de líquenes, y es de color blanquecino-amarillento, es indicativo de que es un culmo viejo o sobre maduro, no apto para ser usado en construcción, por no tener la misma resistencia físico - mecánica que un culmo en estado óptimo de madurez.
- Los culmos con agujeros producidos por aves e insectos, o que presenten muerte descendente (cuando la planta empieza a secarse desde la parte alta de la guadua hacia abajo) serán desechados.



*Figura 106 Guadual de Manabí e identificación de culmos. Fuente (Autor de esta investigación, 2023)*

Para que el transporte del material (figura 107) sea el correcto la NEC-SE-GUADUA recomienda tomar en cuenta lo siguiente:

- El transporte del material a la zona de preservación y secado, se realizará mediante
- vehículos cuya longitud de carga sea igual o mayor a la longitud de corte de los culmos (6 m, 9 m, 12 m).
- En el caso de usar transportes de plataforma, éstos llevarán estacas de seguridad fijadas a la plataforma que impidan el desplazamiento de los culmos.
- Durante el embarque, movilización y desembarque se evitará todo tipo de impacto que afecte al material.
- Debe evitarse sobrecargar los culmos durante el transporte y almacenamiento. Se apilarán en rumas hasta una altura de 2.0 m, procurando que los culmos de mayor diámetro se coloquen en la parte inferior del transporte para evitar aplastamientos.
- La disposición de la GaK será por capas horizontales, alternando en una capa la parte basal y en otra las de menor diámetro, para que la presión de los culmos sea uniforme.
- El transporte de los culmos mediante el empleo de vehículos, cumplirá con las regulaciones establecidas por los Ministerios competentes (MAGAP y MAE) y la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial.

Para el acopio del material la NEC-SE-GUADUA recomienda dos formas de hacerlo (almacenamiento vertical y almacenamiento horizontal) para esta experimentación utilizaremos el almacenamiento horizontal; para lo cual 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



Figura 107 Transporte y acopio del material. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

- **Limpieza de la caña guadua:** Para esta experimentación se realiza el proceso con la utilización de la lana metálica #6; este procedimiento por cada una de las muestras ha durado aproximadamente 30 minutos. (figura 108)



Figura 108 Proceso de limpieza del material. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

- *Inmersión en el tanque con sales de ácido bórico y bórax*: La preservación por inmersión es uno de los métodos más utilizados (figura 109) y se realiza mediante las siguientes actividades de acuerdo a la NEC-SE-GUADUA:
- 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").
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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
- 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.



- El contenido de humedad de los culmos se debe medir con un higrómetro, mismo que debe tener una calibración baja para maderas duras tipo A.



Figura 109 Procedimiento de inmersión. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

- *Proceso de blanqueamiento o secado al sol:* Se realizó de acuerdo a lo establecido por la NEC-SE-GUADUA, que recomienda lo siguiente: (figura 110)
- 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  $\frac{2}{3}$  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.



*Figura 110 Procedimiento de secado al sol. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)*

### **7.1.5 Análisis de la propuesta de ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua**

La evaluación efectiva de un desastre requiere una serie de acciones planificadas, coordinadas y controladas con anterioridad. Visto en conjunto, el personal encargado de la organización y también del control de datos necesitan lograr esto para constituir un verdadero sistema de evaluación. Con la propuesta de esta ficha, quienes realicen las inspecciones estarán en la capacidad de emitir un criterio rápido en cuanto a la seguridad de las edificaciones. Adicionalmente, junto con el ordenamiento y registro de esta información, las entidades gubernamentales podrán identificar aquellas edificaciones que pueden tener un uso normal, las que son obviamente inseguras y las que deben tener un uso restringido por la presencia de elementos que amenacen la vida de los ocupantes.

En la figura 111 se mostrará el formato propuesto de ficha para la evaluación rápida post evento; y, como se explicó anteriormente, la meta de este documento es que sea utilizada por cada uno de los Gobiernos seccionales para la evaluación de viviendas en guadua.

### 7.1.5.1 Propuesta de ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua.

LOGOTIPO DE INSTITUCIÓN QUE UTILICE LA FICHA				NOMBRE DE INSTITUCIÓN QUE UTILICE LA FICHA				TIPO DE EVENTO		
								Sismo		
INSPECCIÓN				FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN RÁPIDA POST EVENTO, DETECCIÓN DE DAÑOS Y USABILIDAD DE LAS VIVIENDAS EN CAÑA GUADUA				Inundación		
								Movimiento de masas		
								Solo exterior		
RESPONSABLE (S) DE LA INSPECCIÓN	Nombre y Apellido				Áreas inspeccionadas		Exterior e interior			
	N° de Cédula									
	Fecha				Hora de inspección	AM				
	N° de Ficha					PM				
INFORMACIÓN GENERAL DE LA VIVIENDA	TIPO DE CONSTRUCCIÓN		TIPO DE OCUPACIÓN		DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN			UBICACIÓN		
	Estructura en caña guadua		Habitada		Número de pisos					
	Estructura en madera		No habitada		Número de residentes					
	Estructura mixta (guadua - Madera)		Familiar		Área total construida m2 aproximados					
	Estructura de hormigón		Comercial							
TIEMPO APROXIMADO DE CONSTRUCCIÓN				ZONA DE RIESGO						
Menos de 5 años		Mas de 5 años			Si					
				No						
CONDICIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	CON RELACIÓN AL TERRENO				EN CASO DE INUNDACIÓN					
	Asentamiento o hundimiento	Corrimiento de suelo	Agrietamiento de suelo	Deslizamiento o movimiento de ladera	Falla o colapso de talud	No perceptible		Nivel de Agua (Altura en metros)		
						Lento				
						Medio				
				Fuerte						
				Fuerza de la Corriente						
CONDICIONES OBSERVADAS	PROTECCIÓN POR DISEÑO				ELEMENTOS EN GUADUA DE LA VIVIENDA					
	Las columnas de GaK están en contacto directo con el suelo natural.		Las columnas de GaK están apoyadas en un sobrecimiento.		Los culmos están enterrados en la cimentación o en cualquier otro componente de hormigón.					
					COLUMNAS		Un culmo			
							Dos culmos			
							Tres o mas culmos			
					VIGAS SUPERIORES		Simples			
							Dobles			
							Triples			
					PANELES		Con estructura de GaK			
							Con estructura de Madera			
						Mixtos GaK y Madera				
				RECUBRIMIENTO DE PANELES		Con latillas de bambú				
						Con caña picada				
						Con tableros prensados de bambú				
						Con mortero de arena y cemento				
				TIPO DE PANELES		Simples				
						Dobles				
						Triples				
				PISOS		Material natural (tierra)				
						Cemento / cerámica o similar				
						Madera				
						Caña guadua (latilla, picada o tableros)				
				ENTREPISOS		Entramado de bambú con cuerdas de caña				
						Entramado de bambú con cuerdas de madera				
				ESTRUCTURA CUBIERTA		Bambú o madera				
						Metálica				
				RECUBRIMIENTO DE CUBIERTA		Teja				
						Teja asfáltica				
						Cade				
						Paja toquilla				
						Zinc				
						Otro				
RESULTADO DE LA INSPECCIÓN	EVALUACIÓN GENERAL		CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO GENERAL (se estima el % de área afectada vs el área total construida)				HABITABILIDAD DE LA VIVIENDA			
	Sin daños en la vivienda		Ninguno 0%				JUICIO DE SEGURIDAD	HABITABLE (Daño leve)	USO RESTRINGIDO (Daño moderado)	INSEGURO (Daño severo)
	Daños menores en la vivienda		Bajo 0% - 10%							
	Daño parcial de la vivienda		Medio 10% - 30%							
	Daño total de la vivienda		Alto 30% - 60%							
	Existen viviendas colindantes afectadas		Severo 60% - 90%							
Vías de acceso afectadas		Muy Severo 90% - 100%								
						Si la vivienda no tiene daño o el daño es leve				
						Existe una parte de la vivienda habitable				
						Si el daño en la estructura es severo				

LOGOTIPO DE INSTITUCIÓN QUE UTILICE LA FICHA	NOMBRE DE INSTITUCIÓN QUE UTILICE LA FICHA		TIPO DE EVENTO			
	FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN RÁPIDA POST EVENTO, DETECCIÓN DE DAÑOS Y USABILIDAD DE LAS VIVIENDAS EN CAÑA GUADUA		Sismo			
Inundación						
			Movimiento de masas			
RECOMENDACIONES INICIALES	ACCIONES EMERGENTES		EN CASO QUE LA VIVIENDA SEA HABITABLE			
	Acoronamiento	De elementos puntuales	MANTENIMIENTO	Acciones de mantenimiento	PRIORITARIO	NO PRIORITARIO
		De toda la vivienda				
	Apuntalamiento	Puntual de elementos		Sellar cavidades en los extremos de los culmos.		
		De toda la vivienda		Cortar y lijar sobrantes de pernos y protección con anticorrosivos y pintura esmalte.		
	Cubrir temporalmente	Áreas de acceso		Reajustar los pernos de la estructura		
		Toda la vivienda		Controlar presencia de afectaciones a causa de: hongos, termitas, humedad		
	Remover objetos peligrosos	Retiro de elementos no estructurales		Pintura anticorrosiva en todos los elementos metálicos.		
		Retiro de Escombros		Revisión anual de los puntos antes mencionados.		
	Demolición	Elementos en peligro de caer				
De toda la vivienda						
Evaluación Detallada	Estructural					
	Interior - Exterior					
	Geotécnica					
AFECTACIONES GENERALES DEL SITIO	CONDICIONANTES DE NO UTILIZACIÓN DEL SITIO					
	CRITERIOS		SI	NO		
	El terreno fue parcialmente o totalmente afectado por flujos de lodo y/o deslizamientos, tanto escarpes o depósitos					
	El sitio fue afectado por ríos que cambiaron su cause, aún cuando se haya reestablecido el flujo del cause original					
	El terreno se encuentra sobre abanicos aluviales					
	El lote se encuentra a menos de 5 veces la altura de taludes verticales que superen los 2m de altura					
	El terreno está sobre o bajo la ladera que presenta grietas o gradas en el sitio (indicativo de deslizamiento)					
	El lugar ha presentado históricamente inundaciones con profundidades iguales o mayores a 1.50m de altura					
	El terreno se encuentra dentro de la planicie de inundación (área equivalente a 5 veces el ancho del cauce)					
El terreno se encuentra total o parcialmente sujeto al área de anegamiento, encharcamiento o pantanos						
OBSERVACIONES						
REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS EN LA VIVIENDA						
FIRMA DEL RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN						

Figura 111 Propuesta de ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

### 7.1.5.1 Descripción de la ficha técnica de evaluación rápida post evento

La ficha propuesta se divide en diez secciones que contiene toda la información necesaria para obtener información: información general, inspección, información general de la vivienda, condiciones de las estructuras, condiciones observadas, resultado de la inspección, juicio de seguridad, recomendaciones iniciales, mantenimiento, afectaciones generales del sitio, observaciones y registro fotográfico de daños en la vivienda.

- *Información General:* Aquí se encontrará el nombre y logotipo o la imagen institucional de quien utilice la ficha, el nombre la ficha y el tipo de evento que se evaluará; entre ellos tenemos: sismos, inundación y movimientos de masas.

En el tipo de evento se debe reportar la información del evento que causó la evaluación de los daños, marcar con una X el tipo de evento ocurrido.

- *Inspección:* En esta sección, el responsable de la inspección debe llenar información básica como:
  - Nombres y apellidos completos de la persona que realiza la inspección.
  - Número de cédula de identidad de la persona que realiza la inspección.
  - Fecha de la inspección, se sugiere: días, mes y año separado por guiones. Ej. (16-04-2023)
  - El número de ficha que el responsable va a realizar. Se puede sugerir que el código se lo haga con la inicial del nombre y del apellido del inspector, seguido por un guion medio y un numero de tres cifras. Ej. DA-001.
  - Hora de la inspección, además se debe señalar si es antes del mediodía (AM) o después del mediodía (PM)
  - Áreas inspeccionadas; donde se debe señalar con una X si es una evaluación solo exterior o si la evaluación es exterior e interior.
- *Información general de la vivienda:* Esta sección servirá para describir las características de la tipología constructiva de la vivienda y, todo lo relacionado

la tipología de ocupación. Además, se conocerá la ubicación de la vivienda a inspeccionar.

- Tipo de construcción: Deberá marcarse con una X, una de las opciones sobre el tipo de estructura que posee la vivienda.
- Tipo de ocupación: Se marcará con una X el tipo de ocupación de la vivienda inspeccionada.
- Descripción de la edificación: Se debe detallar de manera clara, el número de pisos con los que cuenta la vivienda, el número de residentes que la habitan y el área total construida (de manera aproximada).
- Ubicación: Se deberá colocar la parroquia en la que se encuentra la vivienda, la dirección, el nombre de propietario y un número de contacto del dueño de la vivienda. Además, se debe colocar un croquis de la ubicación.
- Tiempo aproximado de construcción: Se debe marcar con una X, el tiempo aproximado de construcción. Para ello se podría preguntar al propietario.
- Zona de riesgo: Se debe colocar una X, si la vivienda se encuentra en zona de riesgo. Se puede realizar de dos formas: si se conoce lo estipulado por cada municipalidad o por inspección visual.
- *Condiciones de las estructuras:* Deberá marcarse con una X si existe alguna de las siguientes afecciones:
  - Asentamiento o hundimiento: Se refiere al desplazamiento vertical del suelo o cimentación de la vivienda, que puede ocasionar daños en la estructura.
  - Corrimiento de suelo: Desplazamiento horizontal del suelo, que afecta la estructura de los inmuebles edificados en el lugar.

- Agrietamiento de suelo: Aberturas o fisuras largas y estrechas, producto de la separación del material del suelo que afecta a la estructura del Inmueble.
- Deslizamiento o movimiento de ladera: Se produce cuando una masa de terreno o zona inestable se desliza con respecto a una zona estable, puede afectar a varias viviendas.
- Falla o colapso de talud: Este fenómeno se puede producir en aquellas edificaciones que se encuentran al pie de un talud; y se presenta cuando el material de dicho talud afecta la estructura de la vivienda.
- En caso de inundación: Esta sección solo se llenará cuando se presente una inundación que haya afectado las viviendas evaluadas. Se indicará la altura (H) en metros que alcanzó el nivel de agua en el momento más crítico. Adicionalmente se deberá estimar la fuera de la corriente de acuerdo a información brindada por los afectados.
- *Condiciones observadas:* En esta sección el inspector deberá determinar el grado del daño (leve o ninguno; moderado o severo) en los elementos estructurales y no estructurales de la vivienda y seleccionar la materialidad de la misma. Además, se debe hacer conocer si la vivienda tuvo daños en eventos anteriores y si ha tenido reparaciones por esos eventos.
  - Protección por diseño: En esta sección se marcará con una X si las columnas que la vivienda posee cumplen alguno de los requisitos descritos en la ficha.
  - Daños detectados en la estructura (estructural): En los siguientes párrafos se establecerán los parámetros que permitirán escoger una de las tres opciones descritas anteriormente. En ciertos casos, se deberá apelar al acertado criterio del inspector. Para determinar el grado de daño estructural, se evalúa la edificación en base a cinco criterios básicos, estos criterios son principalmente condiciones observables

desde el exterior, que individual o colectivamente, son suficientes para garantizar la decisión de seleccionar el daño observado.

- *Colapso total, parcial o su cimentación afectada:* La edificación ha colapsado totalmente, parcialmente o su cimentación se ha visto afectada.
- *Edificación fuera de plomo:* Cuando la vivienda no se encuentra totalmente vertical del suelo, ha sufrido desplazamiento total o parcial.
- *Agrietamiento en muros u otro daño estructural:* La vivienda demuestra daño en su estructura con grietas o similares.
- *Daños en estructuras aéreas que amenacen con caer:* Cuando los elementos superiores de la vivienda se encuentren separados entre sí, desplazados o a punto de colapsar.
- *Daños en antepechos, chimeneas, escaleras que amenacen con colapsar:* Cuando estos elementos estén separados entre sí, desplazados o con colapso total o parcial.
- Daños detectados en el inmueble (no estructural): Se deberán identificar los elementos constitutivos del inmueble, (paredes, daños a nivel de fachada, cubierta, pisos y entrepisos e instalaciones), marcando con una X el nivel de daño de cada uno.
- Daños en eventos anteriores: Esta sección se llenaría en caso de que la vivienda haya pasado algún evento anterior. Se debe dejar constancia marcando con una X, si la vivienda sufrió daños estructurales, no estructurales o en instalaciones. Además, se debe marcar con un X si recibió las debidas reparaciones por esos daños sufridos.
- *Materialidad:* En esa sección se deben marcar con una X, la materialidad de los elementos que conforman la vivienda en caña guadua; se consideran todos los elementos en guadua que la vivienda pudiera tener; en caso de ser necesario,



se podrían marcar dos opciones por elemento. Existen nueve categorías o elementos: columnas, vigas superiores, paneles, recubrimiento de paneles, tipo de paneles, pisos, entrepisos, estructura de cubierta, recubrimiento de cubierta.

- *Resultado de la inspección:* Este apartado evaluará el estado final del inmueble, luego de la observación e inspección.
- *Evaluación general:* Para identificar el grado de daño, se analizará la vivienda en base a condiciones observables desde el exterior y a los datos escritos en la ficha durante la inspección, datos que son suficientes para garantizar la decisión de señalar a la estructura como insegura o de usar estrategias para cercar el área.

Se deberá marcar con una X, una de las seis opciones que la ficha posee: sin daños en el inmueble, daños menores en la vivienda, daño parcial de la vivienda, daño total de la vivienda, existen viviendas colindantes afectadas y finalmente vías de acceso afectadas.

- *Caracterización del daño general:* El porcentaje de daño global se refiere, al rango de clasificación de los daños, la cual se estima de la relación del área afectada vs el área total construida; el evaluador deberá asignar con una X, a su criterio, un porcentaje dentro del rango establecido para cada tipo, lo cual reflejará la gravedad de los daños:
  - Ninguno 0%: Sin daño.
  - Bajo 0% - 10%: Daño menor localizado en algunos elementos que no requiere siempre reparación.
  - Medio 10% - 30%: Daño menor localizado en muchos elementos que deben ser reparados.
  - Alto 30% - 60%: Daño extensivo que requiere reparaciones mayores.
  - Severo 60% - 90%: Daño grave generalizado que puede significar demolición de la estructura o una parte de ella.
  - Muy Severo 90% - 100%: Destrucción total o colapso.

- *Juicio de seguridad:* En este apartado se establecerá la habitabilidad de la vivienda según el daño que presente, marcar con una X una de las siguientes opciones:
  - Habitable: Si la estructura no tiene daño o el daño es leve. Se presentan daños menores en muros o techos que pueden ser reparados y no afectan la estructura de la vivienda.
  - Uso restringido: Si existe una parte de la vivienda en condición habitable. Se presenta cuando hay colapso parcial de elementos estructurales (columnas, vigas, muros, techos, entre otros); su uso temporal no está permitido a menos que se realice un reforzamiento temporal para impedir que aumente el daño, reparaciones para remover peligros que atenten contra la vida y/o barricadas alrededor del área (s) de peligro. Se permite solo el ingreso en caso de emergencia y bajo el riesgo propio de los habitantes.
  - Inseguro: Si el daño en la estructura es severo. Se presenta cuando hay colapso total de elementos estructurales que afectan la estructura general de la vivienda. Un ejemplo es la destrucción total del techo o varios muros colapsados. Puede considerarse también si existe un daño notable ante las réplicas, para lo cual es necesario un reforzamiento de emergencia para prevenir un colapso súbito, pero el ingreso y su uso temporal no están permitidos.

Se deberá informar los resultados finales a los usuarios y/o ocupantes de la vivienda, en preferencia pegarlos en cada edificación con letreros de colores: (inseguro: ROJO; uso restringido: AMARILLO; habitable: VERDE) de tal forma que todos los ocupantes, usuarios y público en general puedan conocer los resultados fácilmente. Los resultados antes mencionados no implican la seguridad para un uso a largo plazo.

- *Recomendaciones iniciales:* Se debe identificar con una X las acciones emergentes a ser implementadas de acuerdo a la afectación del inmueble a fin de prevenir futuros contratiempos. En caso de requerirse se debe establecer recomendaciones que nos permitan ampliar el análisis de evaluación de los inmuebles y determinar el estado real de la edificación.
- *Mantenimiento:* En caso de que el resultado en el juicio de seguridad se “habitabile” se debe analizar si la vivienda necesita acciones de mantenimiento urgentes. Para esto se debe marcar con una X en las opciones existentes si es prioritario o no prioritario el mantenimiento.
- *Afectaciones generales del sitio:* Estas consideraciones en la ficha son importantes porque determinan las condicionantes que afectan el sitio (lugar donde se implanta la vivienda) y por las que el mismo puede ser apto o no para la reconstrucción u obtención de permisos viviendas. En cada uno de los criterios descritos en la ficha se debe marcar con una X la respuesta.
- *Observaciones:* En caso de que existan elementos que son observables en la inspección y que no se encuentran en la ficha, deberán colocarse en este apartado.
- *Registro fotográfico de daños en la vivienda:* Se deberá incluir en la ficha por lo menos 4 fotografías que deberán tener una resolución mínima de 6 megapíxeles (3264 x 1836), y pueden ser tomadas con cualquier tipo de dispositivo, ya sea celular o cámara fotográfica, siempre y cuando se muestren de manera clara los daños detectados en la vivienda, los mismos que deberán respaldar los datos recabados en la Ficha; es decir que no es necesario hacer tomas de todo el inmueble, sino solamente aquellas que demuestren la veracidad de los datos. Las fotografías no deberán contener textos o fechas en la imagen.

Como lineamientos generales para la recolección de la información en la ficha de evaluación se sugiere:

- *Procurar no dejar en blanco ningún ítem:* salvo que la información no sea necesaria por el tipo de evento.
- *Colocar la mayor información posible:* Se debe procurar detallar cada uno de los campos de manera pormenorizada, en especial si el campo de “observaciones” tiene información.
- *La información deberá ser congruente en todos los ítems de la ficha:* Los datos recolectados deben tener coherencia con el resultado de la ficha y con las fotografías de la vivienda.
- *Esfero:* Utilizar esfero color azul y tipo de letra imprenta.

## **7.2 Análisis comparativos de los estudios realizados**

Luego de realizado el estudio experimental de manera independiente de acuerdo a cada metodología, lo que se pretende ahora es generar análisis comparativos de cada uno de los estudios hechos; estos análisis son los siguientes:

- Análisis sísmico estructural comparativo entre viviendas de caña guadua y viviendas de Hormigón Armado.
- Análisis comparativo del comportamiento de las viviendas en caña guadua y hormigón armado durante el terremoto
- Análisis comparativo de compresión de culmos inmunizados y culmos en estado natural
- Análisis comparativo del bambú frente a otros materiales.

### **7.2.1 Análisis sísmico estructural comparativo entre viviendas de caña guadua y viviendas de Hormigón Armado**

#### **7.2.1.1 Peso del material en cada tipología**

En cualquier análisis sísmico se sabe que la fuerza con la que esta actúa sobre cualquier elemento es directamente proporcional al peso de la estructura, por lo tanto, a mayor peso “Masa” de la estructura mayor será la fuerza sísmica actuante y viceversa a

menor peso fuerza sísmica. En este contexto las estructuras con caña guadua GaK llevan una enorme ventaja debido a su bajo peso volumétrico en relación a sus excelentes propiedades mecánicas.

$$Y_{GaK} = 702.4 \text{ kg/m}^3$$

$$Y_{ha} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

$Y_{GaK}$  = Peso específica de la caña guadua

$Y_{ha}$  = Peso específico del hormigón armado

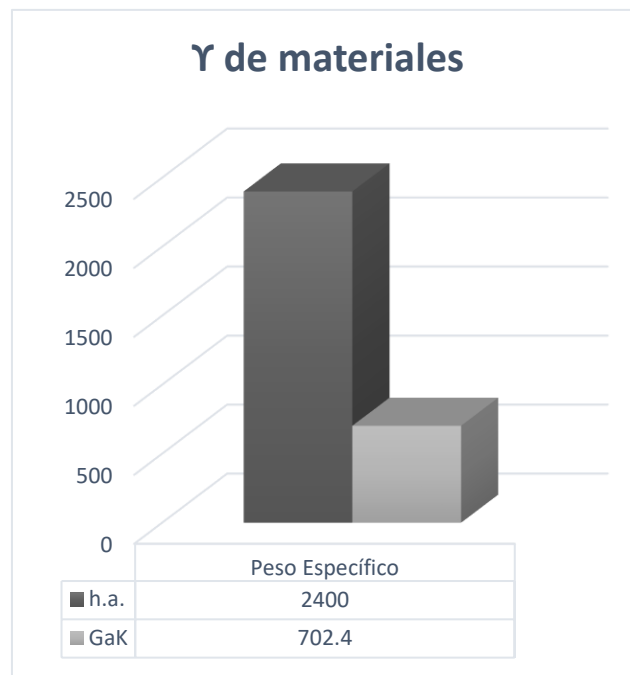


Figura 112 Peso específico de cada material, hormigón armado y caña guadua. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

En peso específico se aprecia una reducción del 70.73% del peso de la caña guadua con relación al del hormigón armado, en resumen, esto significaría el 70.73% de reducción de la fuerza sísmica en elementos estructurales hablando solamente de la estructura como tal sin contar paredes y acabados. (figura 112)

Como ambas estructuras no emplean la misma cantidad de materiales para su conformación y como cada culmo de caña es hueco en comparación del hormigón que

emplea elementos macizos esta diferencia de peso tiende a ser menor que lo especificado en el párrafo anterior, para esto tomaremos el peso completo de la estructura de los modelos ya analizados en el punto 6.1.1 y el punto 6.1.2 del presente documento.

Output Case	Case Type	FZ tonf	MZ tonf-m	X m	Y m	Z m
SEX	LinStatic	0	4.416	0	0	0
SEY	LinStatic	0	-10.7775	0	0	0
SDX	LinRespSpec	0	5.1683	0	0	0
SDY	LinRespSpec	0	7.4803	0	0	0
PP	Combination	1.0411	0	0	0	0

Tabla 55 Peso total de estructura en 100% GaK. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Output Case	Case Type	FZ tonf	MZ tonf-m	X m	Y m	Z m
SEX	LinStatic	0	14.6538	0	0	0
SEY	LinStatic	0	-14.8474	0	0	0
SDX	LinRespSpec	0	14.637	0	0	0
SDY	LinRespSpec	0	11.7976	0	0	0
PP	Combination	7.8633	0	0	0	0

Tabla 56 Peso total de estructura con pórticos hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

PPGaK = 1.04 tonf

PPha = 7.86 tonf

Dónde:

PPGaK = Peso propio de la estructura de caña guadua

PPha = Peso propio de la estructura con pórticos de hormigón armado



Figura 113 Peso total de cada tipología de vivienda, pórticos de hormigón y 100% caña guadua. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

En este análisis de peso completo de cada tipología de vivienda se aprecia mejor lo mencionado anteriormente, que los culmos de caña al ser huecos van a provocar que la diferencia entre peso de estas dos tipologías comparadas sea aún mayor que lo evidenciado por el análisis de pesos específicos, dando ahora como diferencia una reducción del 86.77% del peso de la vivienda, lo que reduce también un 86.77% de la fuerza sísmica que se transferiría a los elementos estructurales. (tablas 55 - 56) (figura 113)

Esto hace eco de una de las mayores ventajas de emplear la caña guadua como elemento estructural en diversos tipos de edificaciones, además de ser un material eco-amigable y sostenible con el medio ambiente, es de rápida aplicación, talvez una de las desventajas de aplicar la caña como elemento estructural es la baja oferta de mano de obra calificada, lo que encarece su aplicación en el medio, pero esta desventaja es fácilmente corregible ya que no es difícil capacitar al personal obrero además de que no se requieren herramientas pesadas para trabajar la caña.

#### **7.2.1.2 Desplazamiento máximo de cada tipología.**

En cualquier análisis sísmico se sabe que la fuerza con la que esta actúa sobre cualquier elemento es directamente proporcional al peso de la estructura, por lo tanto, a mayor peso "Masa" de la estructura mayor será la fuerza sísmica actuante y viceversa a menor peso fuerza sísmica. En este contexto las estructuras con caña guadua GaK llevan

una enorme ventaja debido a su bajo peso volumétrico en relación a sus excelentes propiedades mecánicas.

Story	Output Case	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	3.985	12.095	0.165
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	8.302	12.095	1.049
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	0.596	12.094	0.067
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	4.535	12.09	0.574

Tabla 57 Desplazamiento máximo en vivienda 100% caña guadua. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Story	Output Case	Ux mm	Uy mm	Uz mm
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	0.823	5.914	0.087
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	0.823	5.914	0.087
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	2.553	5.912	0.332
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	2.553	5.912	0.332
Story2	DESP_INELASTICO_Y-Y	2.499	5.446	0.027

Tabla 58 Desplazamiento máximo en vivienda de pórticos de hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

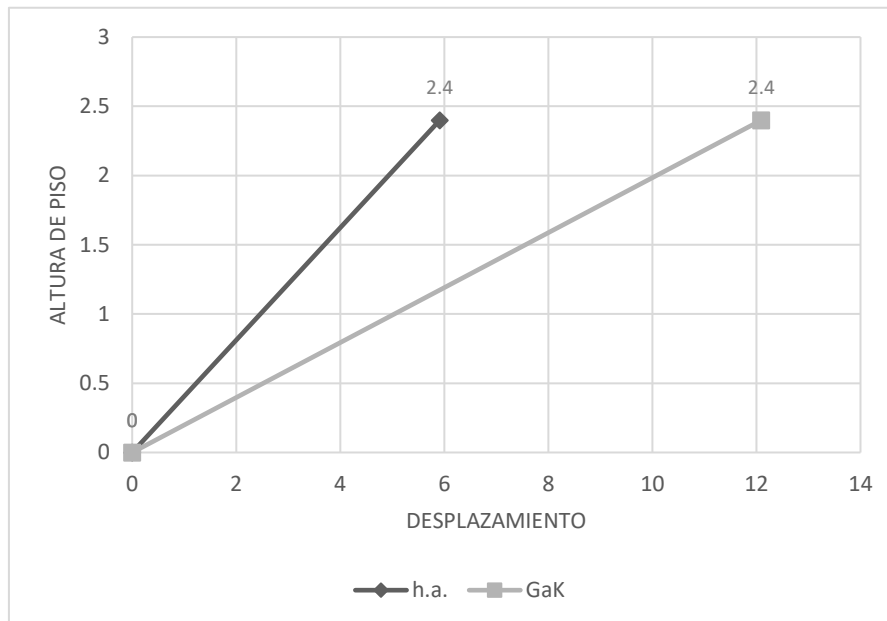


Figura 114 Desplazamiento máximo de cada tipología de vivienda. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Es evidente que la vivienda de caña tiene mayor desplazamiento que la de pórticos de hormigón armado en un 51.14% más, esto debido a su menor rigidez, pero que como se explica en párrafos anteriores esto es fácilmente corregible agregando más cañas en forma



de diagonales a la estructura, además de que, a diferencia del hormigón armado, la caña admite mayores deformaciones sin sufrir daños. (tablas 57 - 58) (figura 114)

### 7.2.1.3 Derivas máximas de cada tipología.

Story	Output Case	Direction	Drift	X m	Y m	Z m
Story2	DESP_INELAS...	Y	0.008251	15.3	3.2	3.55
Story2	DESP_INELAS...	Y	0.008251	15.3	3.2	3.55
Story2	SEY	Y	0.007068	15.3	3.2	3.55
Story2	SDY	Y	0.005501	15.3	3.2	3.55
Story1	DESP_INELAS...	X	0.003272	7.65	0	2.35
Story1	DESP_INELAS...	X	0.003272	7.65	0	2.35

Tabla 59 Deriva máxima en vivienda 100% caña guadua. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

Story	Output Case	Direction	Drift	X m	Y m	Z m
Story2	DESP_INELAS...	Y	0.002754	8.86	3.13	3.75
Story2	DESP_INELAS...	Y	0.002754	8.86	3.13	3.75
Story2	SDY	Y	0.001836	8.86	3.13	3.75
Story2	SEY	Y	0.00177	8.86	6.26	3.75
Story1	DESP_INELAS...	Y	0.001734	1.3	9.39	2.4
Story1	DESP_INELAS...	Y	0.001734	1.3	9.39	2.4

Tabla 60 Deriva Máxima en vivienda de pórticos de hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

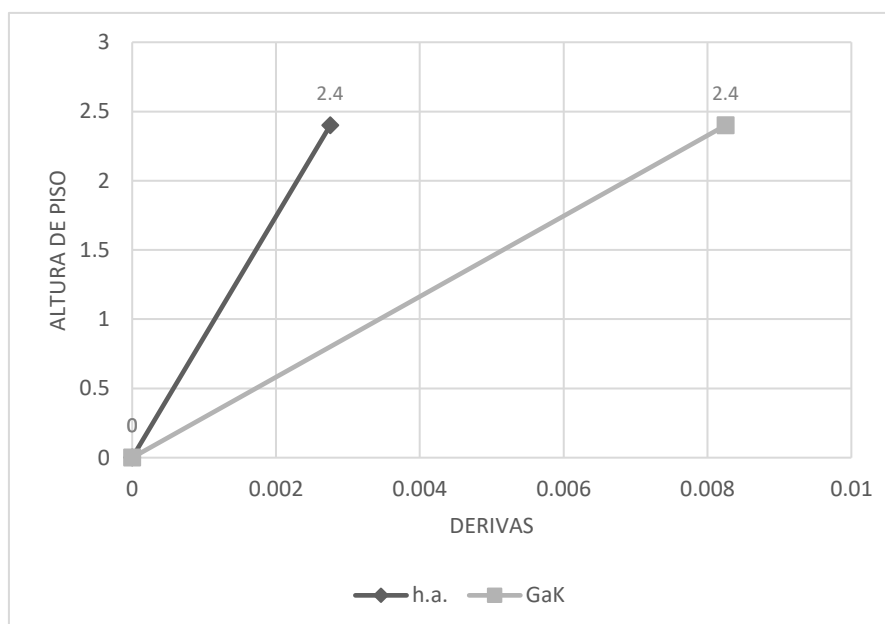


Figura 115 Deriva Máxima en vivienda de pórticos de hormigón armado. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

En las derivas de piso las derivas lógicamente también serán mayores en la tipología 100% caña que en las de hormigón armado ya que este parámetro en una relación del desplazamiento de la estructura, esta diferencia de deriva de piso es del 66.62% mayor en la tipología de caña, sin embargo, no es una afectación para la estructura ya que esta deriva está por debajo de 1% máximo que permiten las NEC-15, por lo que no es necesario tomar ninguna medida de corrección al respecto. (tablas 59 - 60) (figura 115)

## 7.2.2 Análisis comparativo del comportamiento de las viviendas en caña guadua y hormigón armado durante el terremoto

Luego de haber realizado el análisis de las viviendas en caña guadua y en hormigón armado post terremoto, mostraremos el análisis comparativo de cómo se comportaron durante el sismo estas construcciones. A continuación, se mostrarán varios ejemplos:

### 7.2.2.1 Resistencia.

Como podemos observar en las siguientes figuras (116), las viviendas de caña guadua no se derrumbaron o no colapsaron a diferencia de las viviendas en hormigón armado.



Figura 116 Resistencia de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto. Fuente: (El diario manabita, 2017)

### 7.2.2.2 Ligereza.

Las viviendas de caña al ser viviendas más ligeras que las de hormigón, al momento de sufrir algún deslizamiento o algún problema, no fueron precursoras de daños en viviendas aledañas. (figuras 117)



Figura 117 Demostración de ligereza de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto. Fuente: (El diario manabita, 2017)

### 7.2.2.3 Desplazamiento.

Varias de las viviendas de caña por la flexibilidad del material, durante el terremoto se desplazaron sin llegar a colapsar, a diferencia de las viviendas de hormigón, que por su rigidez varias colapsaron. (figuras 118)



Figura 118 Demostración de desplazamiento de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto. Fuente: (Diario el Universo, 2016)

### 7.2.2.4 Daños menores.

Otro de los comportamientos de las viviendas de caña durante el terremoto, es que por su materialidad sufrieron daños menores como el desprendimiento de sus enlucidos, donde la mayoría son de bahareque, lo cual no causaba mayor daño debido a su peso. (figura 119)



Figura 119 Demostración de daños menores de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto. Fuente: (Bahía tv, 2020)

### 7.2.3 Análisis comparativo de compresión de culmos inmunizados y culmos en estado natural

Hemos podido demostrar en esta experimentación que los guaduales que existen en Manabí son aptos para usar en la construcción, y además, se demostró que el proceso de preservado del material le da mayor durabilidad en el tiempo; ahora debemos conocer si el proceso de inmunización le permite tener mayor resistencia al material como estructura.

A continuación, se mostrarán los resultados del esfuerzo último para cada una de las muestras (inmunizadas y en estado natural) que sufrieron compresión, para realizar la respectiva comparación: (tabla 61)

MUESTRA	CARGA	ESFUERZO ÚLTIMO (MPa)
<b>CAÑA GUADUA INMUNIZADA</b>		
Muestra 1	182.10	91.7152
Muestra 2	199.20	113.7411
Muestra 3	181.60	78.4052
Muestra 4	189.20	87.7997
<b>CAÑA GUADUA EN ESTADO NATURAL</b>		
Muestra 1	138.30	63.2563
Muestra 2	162.20	89.9664
Muestra 3	148.60	95.7260
Muestra 4	95.20	74.9611

Tabla 61 Análisis comparativos de esfuerzos últimos de cañas inmunizadas y en estado natural. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

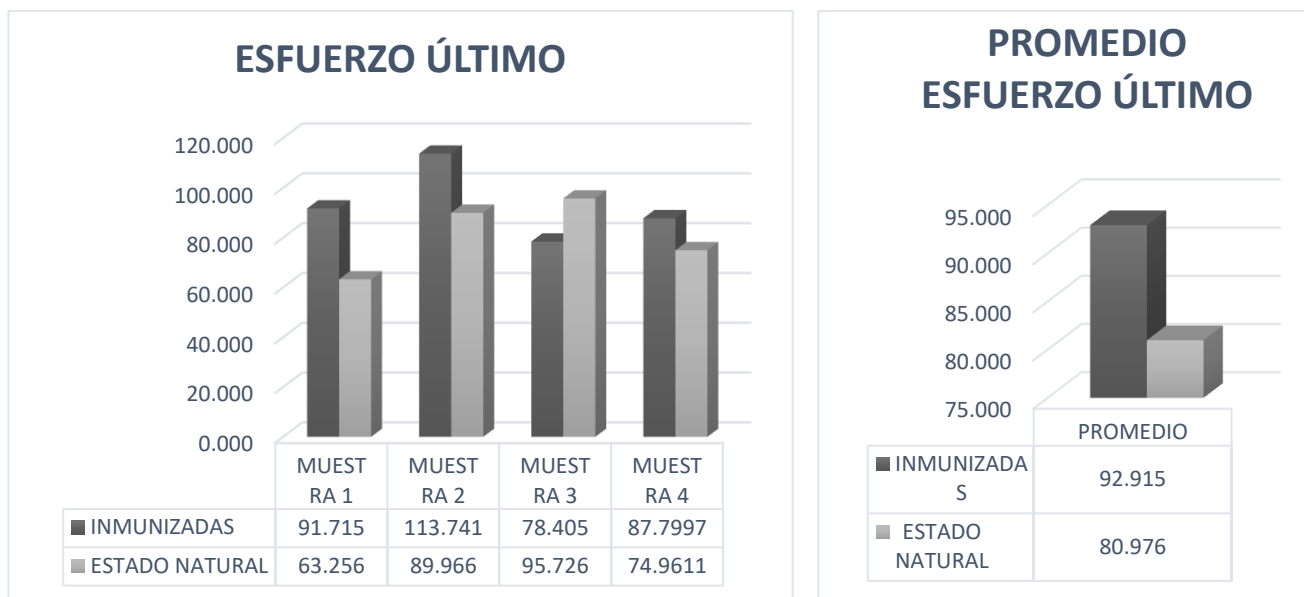


Figura 120 Análisis comparativos de esfuerzos últimos de cañas inmunizadas y en estado natural.  
Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

En la figura 120 se observa que las muestras de guadua con proceso de preservación tuvieron una mayor resistencia a comparación con las muestras en estado natural. El promedio del esfuerzo ultimo de las muestras inmunizadas fue de 92.915 (MPa) en comparación de las probetas en estado natural donde su esfuerzo último de falla fue de 80,976 (MPa); es decir, un 12.85% mejor.

Según estos resultados; podemos demostrar que las muestras preservadas con el método de inmersión en ácido bórico y bórax tienen una mejor reacción en cuanto a color, resistencia a compresión, y por ende una mayor duración para usos constructivos.

#### 7.2.4 Análisis comparativo del bambú frente a otros materiales.

Como se ha evidenciado en esta investigación, la caña guadua *angustifolia kunth GaK*, tiene diversas propiedades que la hacen un material que puede ser considerado en la construcción de viviendas, es por eso que ahora analizaremos diversas literaturas sobre las características de este material frente a otros que también se utilizan en la construcción.

##### 7.2.4.1 Bambú frente a otras maderas.

A continuación, analizaremos una investigación de Orosco Angela (2009), en su trabajo denominado el bambú como material alternativo en la construcción arquitectónica, donde nos

muestra una tabla realizada por la Universidad Nacional Agraria del Perú, donde se realiza la comparación de los coeficientes de resistencia del bambú con otras maderas: (tabla 62)

<b>ESPECIE</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>COMPRESIÓN</b>	<b>FLEXIÓN</b>
Roble Blanco	810	490	490
Eucalipto	700	490	530
Pino Orejón	560	400	350
<b>Bambú</b>	<b>2710</b>	<b>835</b>	<b>1700</b>
Álamo	230	200	340
Pino Blanco	560	240	280
Guayacán Negro	746	956	-
Algarrobo Negro	375	482	-
Caoba	368	513	-
Cedro Macho	333	354	-

*Tabla 62 Comparación de coeficientes de resistencia del bambú con otras maderas. Fuente: (Orosco, 2009)*

Otra investigación del blog forever Bamboo, expresa que: Las maderas, especialmente las de la familia de las maderas duras como el arce y el nogal, son más pesadas que el bambú, pero coinciden en su dureza (figura 121). El bambú tiene aproximadamente la misma dureza que el roble, lo que lo hace comparable a la madera dura en términos de robustez y longevidad. La madera natural está disponible en una amplia selección de estilos y colores, mientras que el bambú suele estar disponible en piezas planas o de veta vertical que presentan tonos naturales.

Además, Janssen Jules (1981) en su tesis doctoral expone que: La producción es mejor que la de la madera, donde al mismo tiempo se corta un área completa una vez cada 20 a 40 años.

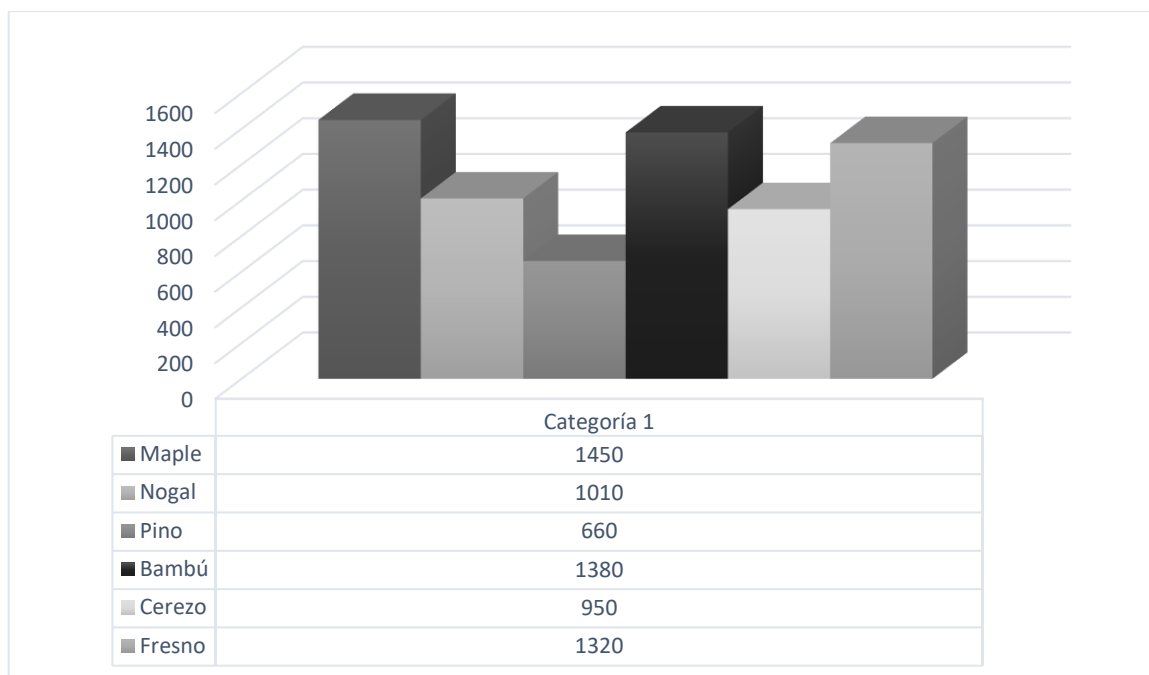


Figura 121 Comparación de dureza del bambú con otras maderas. (Unidad de medida. Lbs/ln2) Fuente: (Adaptado por el autor de esta investigación, 2023)

#### 7.2.4.1 Eficiencia de energía.

En la tesis doctoral de Janssen Jules (1981), realiza una comparación del bambú con otros materiales en lo relacionado a los aspectos ambientales; y es que como señala el autor: Una ventaja inmediata del bambú es que pertenece a las energías renovables; es más, durante el crecimiento tiene una buena influencia en el clima en la región y ayuda a controlar la erosión y las inundaciones. Una vez más en cuanto a la energía, es necesario realizar una comparación de la energía necesaria para la producción de materiales de construcción: (tabla 63).

MATERIAL	ENERGÍA PARA LA PRODUCCIÓN MJ/KG	DENSIDAD KG/M <sup>3</sup>	ENERGÍA PARA LA PRODUCCIÓN MJ/M <sup>3</sup>	SIGMA KN/CM <sup>2</sup>	RELACIÓN DE ENERGÍA POR UNIDAD SIGMA
Acero	30.0	7800	234.000	1600	150.000
Concreto	0.80	2.400	1920	0.080	24.000
<b>Bambú</b>	<b>0.50</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>0.100</b>	<b>3.000</b>
Madera	1.0	600	600	0.075	8.000

Tabla 63 Eficiencia de energía de producción del bambú frente a otros materiales. Fuente: (Janssen, 1981)

De acuerdo a Janssen, las cifras mostradas en la tabla anterior, no son exactas, sólo dan un orden de magnitud; sin embargo, en la última columna se puede ver que el acero y el hormigón hacen una gran demanda de los recursos energéticos de la Tierra, a diferencia de la madera y el bambú.

Así mismo, indica Soler (2017) que “prácticamente no hay desperdicio durante los procesos de manufacturación y se trata de procesos sencillos y limpios”.

#### 7.2.4.2 Propiedades de diseño.

Así mismo en su investigación Zambrano y Viteri (2021), explican que: en una revisión realizada por Ordóñez (1999) donde cita a Janssen (1980) quien en la tabla 64 presenta valores de diseño de acuerdo a sus propiedades mecánicas de materiales estructurales utilizados frecuentemente en la construcción y son comparados con el bambú, aunque en el estudio no especifica bajo qué tipo de sollicitación se determinaron los valores obtenidos, también se evidencia que los datos para concreto corresponden al material sin refuerzo de acero.

MATERIAL	RESISTENCIA AL DISEÑO (R) (Kg/cm <sup>2</sup> )	MASA POR VOLUMEN (M) (Kg/cm <sup>2</sup> )	RELACIÓN DE RESISTENCIA (R/M)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E) (Kg/cm <sup>2</sup> )	RELACIÓN DE RIGIDEZ (E/M)
Concreto	82	2.4	0,032	127.4	53
Acero	1.63	7.8	0,209	2.140.000	274
Madera	76	600	0,127	112	187
<b>Bambú</b>	<b>102</b>	<b>600</b>	<b>0,170</b>	<b>203.9</b>	<b>340</b>

*Tabla 64 Propiedades de diseño del bambú frente a otros materiales. Fuente: (Zambrano y Viteri, 2021)*

#### 7.2.4.3 Emisiones de CO<sub>2</sub>.

Una investigación revisada en el blog ingeniería en arquitectura y diseño medio ambiental (2012), expresa que: Las emisiones generadas por una edificación de bambú nos dejan ver que una construcción que utilice como material la guadua solo emitirá el 44% de CO<sub>2</sub> (tabla 65) en comparación con el generado por una que usa el acero y hormigón de forma tradicional (no contemplamos el resto de materiales y aplicaciones en que también



pueden ser remplazados por la guadua: puertas, ventanas, muebles etc.) Lo que reduce aún más su impacto medioambiental permitiéndonos llegar a un ahorro cercano al 40% de las emisiones totales a lo largo de toda la vida útil de la edificación. Cifra superior a la alcanzada por cualquier otro material natural conocido.

<b>100 m<sup>2</sup> de construcción (260 Kg CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup>)</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>PESO KG</b>	<b>EMISIONES Kg Co<sub>2</sub></b>	<b>TOTAL DE EMISIONES Kg Co<sub>2</sub></b>
Construcción en guadua	Cañas de guadua (350 u)	8000	1800	5600
	Acero	750	150	
	Hormigón	1800	2300	
Construcción en Hormigón Armado	Acero	2500	5000	12600
	Hormigón	60000	7600	

*Tabla 65 Comparativo de emisiones de Co<sub>2</sub> de materiales de construcción: bambú frente a construcción de Hormigón armado. Fuente: (Ingeniería en arquitectura y diseño medio ambiental, 2012)*

Así mismo el mismo blog en el artículo “el Co<sub>2</sub> derivado de la construcción y el papel captador del bambú guadua como material alternativo” expresa que: las políticas de eficiencia energética por ahora sólo inciden en reducir la energía consumida en la fase de uso de los edificios, proponiendo el empleo de mejores materiales aislantes y mayores secciones de envolventes, elevando de esta manera la energía incorporada, solo a futuro, se propondrán medidas correctoras para reducir la energía incorporada en los materiales y productos de construcción; así entonces, estamos perdiendo una gran oportunidad de actuar sobre la eficiencia desde la misma elección de los materiales. De esta forma para la comparativa de una construcción convencional y una que utilice Bambú Guadua como material de construcción tendríamos:

<b>Emisiones de Co<sub>2</sub> para una vivienda de 100 m<sup>2</sup> y 50 años de vida útil</b>	<b>Emisiones Construcción Ton. Co<sub>2</sub></b>	<b>Emisiones uso vida útil 50 años) Ton. Co<sub>2</sub></b>	<b>Emisiones totales Ton. Co<sub>2</sub></b>
Construcción convencional	83.9	134.5	218.4
Construcción en bambú	26.3	127.9	154.2
Ahorro de emisiones Ton. Co <sub>2</sub>	57.6	6.6	64.2
Ahorro emisiones Co <sub>2</sub> %	69%	5%	29%

*Tabla 66 Comparativo de emisiones de Co<sub>2</sub> una vivienda en bambú frente a vivienda de hormigón armado. Fuente: (Ingeniería en arquitectura y diseño medio ambiental, 2012)*

El análisis del estudio afirma que: Si consideramos únicamente lo correspondiente a los materiales incidentes en la estructura que equivalen a un 48 % en la construcción convencional y un 57% en la que incorpora la Guadua, tendremos un ahorro de emisiones del 63%, equivalente a 25 toneladas de CO2 para una vivienda de 100 m<sup>2</sup>, pasando de emitir 39,8 toneladas a solo 14,8 toneladas.

Si nos referimos a la totalidad de los materiales tenderíamos un ahorro del 69% o lo que es lo mismo: 57,6 toneladas de CO2 que sumadas a las emisiones ahorradas en el consumo hacen un total de 64,2 toneladas de CO2 equivalentes al 29% en ahorro de emisiones en los mismos 100 m<sup>2</sup> de construcción usando el bambú Guadua como material. (tabla 66)

En conclusión, al utilizar la Guadua como material de construcción en una vivienda unifamiliar estaremos dejando de emitir aproximadamente 1,3 toneladas de CO2 al año. Esto sin considerar los incontables beneficios aportados al cultivar y utilizar este material.

#### 7.2.4.4 Tiempo de degradación

Una de las características que tiene el bambú es que su proceso de degradación es mucho más rápido que el cualquier otro material utilizado en la construcción; en la tabla 67 se mostrarán datos comparativos del tiempo que requiere un material para degradarse completamente:

<b>MATERIAL</b>	<b>TIEMPO DE DEGRADACIÓN Años Aprox.</b>
Vidrio	4000
Aluminio	10
Plástico	150 - 400
Acero	200 - 500
Metales finos	30
<b>Bambú</b>	<b>0.5 – 1</b>
Cartón - Papel	1

Tabla 67 Comparativo de tiempo de degradación del bambú frente a otros materiales de construcción.  
Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)

#### 7.2.4.5 Costos de construcción

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2023), en relación a los índices de precios de la construcción; expresa que: El Índice de Precios de la Construcción (IPCO) es un indicador que mide mensualmente la evolución de los precios, a nivel de productor y/o importador, de los materiales, equipo y maquinaria de la construcción para ser aplicados en las fórmulas polinómicas de los reajustes de precios de los contratos de la obra pública; además según los datos de la cámara de la Construcción del Ecuador los precios del metro cuadrado de construcción oscilan entre los siguientes: (tabla 68)

<b>Tipo de construcción</b>	<b>Costo de m<sup>2</sup> de construcción (\$)</b>	<b>Tipo de Acabado</b>	<b>Costo de Vivienda de 120 m<sup>2</sup></b>
	\$ 490,00	Medios	\$ 58.800,00
Construcción convencional	\$ 950,00	Altos	\$ 114.000,00
	\$ 280,00	Medios	\$ 33.600,00
Construcción en caña guadúa	\$ 380,00	Altos	\$ 45.600,00
	<b>\$ 210,00</b>	<b>Medios</b>	<b>57,14 %</b>
Ahorro En \$ y %	<b>\$ 570,00</b>	<b>Altos</b>	<b>40,00%</b>

*Tabla 68 Comparativo de costos de construcción de una vivienda en bambú frente a vivienda convencional. Fuente: (Autor de esta investigación, 2023)*

### 7.3 Conclusiones

De acuerdo a la investigación realizada podemos obtener las siguientes conclusiones:

- Luego de haber realizado el estudio del comportamiento de las viviendas durante el sismo; se puede concluir que las viviendas en caña guadua tienen ventajas sobre las viviendas de hormigón armado, pues su flexibilidad y ligereza hacen que el material se comporte de forma mas dinámica y menos rígida.
- Al poseer materiales más livianos, las viviendas de caña guadua logran generar menos peligro a sus habitantes, debido a que esta materialidad generalmente causa daños menores al entorno.

- Uno de los inconvenientes que se pudieron observar, es que muchas de las casas de caña guadua que colapsaron en el terremoto, lo hicieron por dos razones: Una de ellas es porque se encontraban colindantes a edificaciones de hormigón armado y no existían las juntas que la normativa exige y la otra razón es que fueron viviendas que no siguieron las recomendaciones de la normativa para construcciones en guadua y sus elementos no tuvieron el tratamiento técnico adecuado.
- Como sabemos a mayor masa o peso las estructuras se mueven con mayor severidad al ser sacudidas por un sismo y, por lo tanto, la exigencia de la fuerza actuante será mayor sobre los componentes de la edificación; una de las ventajas de construir en caña guadua de acuerdo a la experimentación realizada, es que se reduce aproximadamente el 70.73% del peso de la edificación con relación a las viviendas de hormigón armado.
- Las viviendas en caña guadua, como lo observamos en la experimentación tiene mayor desplazamiento que las viviendas de hormigón armado; lo cual puede resultar beneficioso ya que pueden sostenerse en pie; pero si quisiéramos solucionar este problema se lo puede hacer si aumentamos cañas diagonales a la estructura porque recordemos que la caña admite mayores deformaciones sin sufrir daños severos.
- En lo referente a las derivas de pisos, estas son mayores en casas de caña guadua, pero siguen estando dentro del límite permitido por la norma ecuatoriana, el estudio evidenció que el rango se encuentra por el 53.01% de la máxima deriva permitida, esto evidencia un excelente comportamiento sísmico; agregando que además, que el material de la caña guadua puede soportar mayores deformaciones sin sufrir daño a diferencia de otros materiales como lo son el hormigón armado, mampostería confinada, entre otros.

- Las pruebas de laboratorio demostraron que las cañas guaduas en estado natural son resistentes y pueden ser usadas en construcción; pero cuando son sometidas al proceso de inmersión en ácido bórico y bórax, sus propiedades estructurales mejoran en un 12.85% haciéndolas más resistentes y por ende más duraderas a través del tiempo.
- La caña guadua es un material natural que no requiere procesos especiales y largos para su fabricación, requiere una cantidad de energía mínima para su producción la que se estima aproximadamente en 0.12% con relación a la energía que se requiere para la producción del acero y un 15.65% con relación a la energía necesaria para el concreto; lo que hace de la caña guadua un material que no requiere demanda de los recursos energéticos de la tierra como los otros materiales mencionados.
- Podemos concluir que con el uso de la guadua se contribuye con un ahorro del 24% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> durante el ciclo de vida de una vivienda (50 años), sin contar con que el bambú guadua no libera prácticamente nada de CO<sub>2</sub> durante su vida útil, reteniéndolo en sus múltiples aplicaciones, sumado a los ahorros por eficiencia, mantenimiento y beneficios en la cadena productiva, ya que apenas genera emisiones en el proceso de corte, tratamiento y transformación artesanal.
- De acuerdo a la investigación, una de las ventajas del bambú al ser un material natural, es que el tiempo de degradación es muy corto con relación a los materiales tradicionales utilizados en la construcción; por lo que se puede descomponer de manera íntegra en un 0.50% del tiempo con relación por ejemplo al acero.
- En relación al costo de construcción, esta investigación ha demostrado que hay un ahorro aproximado del 48.57% realizando viviendas con acabados medios y altos; lo que genera menos inversión y mayor seguridad en casos de sismos.

- Este trabajo ha demostrado que las fichas de evaluación post evento existentes en el Ecuador no se aplican al caso de viviendas particulares y que adicionalmente, no existe algún elemento que sirva para evaluar viviendas exclusivamente de caña guadua, por lo tanto se concluye que la propuesta de ficha técnica será un instrumento necesario para evaluar, detectar daños, indicar la usabilidad de la vivienda y proponer soluciones iniciales de mantenimiento.

#### **7.4 Líneas de futuros trabajos**

Estos resultados, serán de gran utilidad para futuras investigaciones ya que se podrían realizar estudios similares en diferentes sitios donde se construya con caña guadua; a continuación, detallo las posibilidades de futuros trabajos:

- La ficha puede ser utilizada de manera generalizada en cualquiera de los municipios de la Costa ecuatoriana donde existan viviendas en caña guadua, porque actualmente para evaluación de viviendas en guadua no existe ficha; y, las fichas que existen son usadas de manera particular para instituciones específicas y no son de carácter público.
- En relación al estudio del comportamiento en sismos de las viviendas en guadua; no se ha realizado este tipo de investigaciones en Ecuador y va a servir como punto de partida para otras investigaciones.
- El estudio sísmico estructural de las casas de caña guadua, ayudará a conocer las propiedades estructurales de las viviendas y servirá como punto de partida para mejorar los sistemas estructurales de las mismas, con diseños más seguros.
- Finalmente, en lo referente a las pruebas físicas y mecánicas, como se ha realizado una experimentación con muestras de tres sitios de donde provienen las cañas guaduas para su uso en la construcción; se obtendrán los resultados para determinar el lugar ideal para adquirir el material dependiendo del tipo de estructura y de la zona donde se construirá. Además, por medio de este estudio pueden hacerse investigaciones similares a nivel nacional de los guaduales existentes.

## Referentes Bibliográficos

1. Agencia EFE (2019). Noticias. Ecuador recupera el "acero vegetal" en construcciones antisísmicas. <https://www.efe.com/efe/america/cronicas/ecuador-recupera-el-acerovegetal-en-construcciones-antisismicas/50000490-3955184>
2. Aguiar, R. (2010). Fallas frecuentes durante los terremotos. Revista ESPEctativa (4), 10-11.
3. Aguilar Zambrano, P. L. (2019). Análisis del comportamiento estructural del bambú del tipo " Guadúa Angustifolia Kunth" como material de construcción en sustitución del hormigón armado (Bachelor's thesis).
4. Alcívar, S., Mieles, Y., & Ostaiza, J. P. (2021). Estudio comparativo de análisis y diseño de estructuras aporticadas de hormigón armado, aplicando los espectros de la microzonificación sísmica del cantón Portoviejo y los espectros de la NEC-15. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 6(1), 26-35.
5. Alfaro, A. E., & Piso, M. A. G. A. P. (2016). Reporte post-sismo sobre estructuras de bambú, y recomendaciones para la reconstrucción con bambú en la costa Ecuatoriana.
6. Alvarez Urueña, M.F. (2001). Plantemos bambú para cosechar casas. Arquitectura monografías. Semanario en línea. Obtenido de: [http://www.arquitectura.com/arquitectura/monografias/tubos\\_de\\_papel/tubos2.asp](http://www.arquitectura.com/arquitectura/monografias/tubos_de_papel/tubos2.asp)
7. Andrade Vera, A. C., & Fernández Cedeño, M. B. (2014). Estudio para el fortalecimiento comercial de la caña guadúa producida en Manabí y su inserción en el mercado peruano.
8. Añazco, M. (2013). Estudio de vulnerabilidad del bambú (guadua angustifolia) al cambio climático. Quito, Ecuador: Red Internacional del Bambú y Ratán INBAR.

9. Añazco, M. y Rojas, S. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie *Guadua angustifolia*. <https://acortar.link/soYfZ>
10. Arce, O. (1993), *Fundamentals of the Design of Bamboo Structures*. Thesis Eindhoven University, 260 pp. ISBN: 90-6814-524-X. También disponible en el sitio web [www.tue.nl](http://www.tue.nl)
11. Arenas, F. (2000). Los materiales de construcción y el medio ambiente. Recuperado de: [http://huespedes.cica.es/gimadus/17/03\\_materiales.html](http://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html)
12. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10, Título E, Casas de uno y dos pisos y Título G estructuras de madera, estructuras de Guadúa. Bogotá D.C. 2010
13. Bambusa. (2015). CARACTERÍSTICAS DEL BAMBÚ. Obtenido de [bambusa.es](http://bambusa.es): <http://bambusa.es/bambu-caracteristicas/>
14. Baños, Elizabeth (2023). Las Provincias de la Costa. Recursos educativos. Educaplay Educational Resources. Obtenido de: [https://es.educaplay.com/recursos-educativos/4952653-las\\_provincias\\_de\\_la\\_costa.html](https://es.educaplay.com/recursos-educativos/4952653-las_provincias_de_la_costa.html)
15. Barreto, W., & Gutiérrez, M. (2018). Estudio de durabilidad en las estructuras de bambú *guadua angustifolia kunth* de la universidad la gran Colombia, seccional armenia-colo. departamento de engenharia de estructuras.
16. Benito, B., & Jiménez, E. (1999). Peligrosidad sísmica. *Física de la Tierra*, 11, 13-47.
17. Burgos, A. (2003). Revisión de las técnicas de preservación del bambú. *Revista Forestal Latinoamericana*.
18. C. Caicedo, A. Barbat, J. Canas y R. Aguiar, *Vulnerabilidad sísmica en edificios*, Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, 1994.
19. Cajigas Arroyo, S., Santos Gil, N., & Távara Rivera, E. D. P. (2020). Importancia del bambú como material alternativo en construcción de viviendas en el Centro Poblado Villa Vicus-Chulucanas en Piura 2020.



20. Cámara de Comercio de Quito (2018). Manabí es beneficiaria de créditos para la reducción del déficit de vivienda. <https://acortar.link/qbUGy>
21. Camino, A. (2011). La caña guadúa en la provincia de Manabí y el litoral de Ecuador. [https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011\\_9788469481073\\_p205-212\\_camino.pdf](https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p205-212_camino.pdf)
22. Camino, M., & Sáinz, J. L. (2014). Hábitat social, digno, sostenible y seguro en Manta, Manabí, Ecuador. pag.139
23. Cárdenas, P., & Aníbal, H. (2016). Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la Peligrosidad Sísmica en el Ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito. Recuperado de: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/2465>.
24. Castiblanco-Rodríguez, L. F., & Torres-Vásquez, H. O. (2020). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del culmo de *Guadua angustifolia* en la construcción y estudio de un método de protección a la intemperie.
25. Castro, A. K. S., Allaica, J. C. M., Veloz, R. B. U., & Rivera, M. M. G. (2019). Aplicación de la metodología STAR para el análisis del riesgo sísmico de la provincia Bolívar–Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(4), 227-249.
26. Castro, Á., & Darwin, F. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua Angustifolia* con fines estructurales.
27. Cevallos López, C. M. (2020). LA CAÑA GUADUA Y SU USO EN LA ARQUITECTURA: Intervención en la arquitectura vernácula y la arquitectura contemporánea en varios cantones de la Provincia de Manabí, Ecuador.
28. Chunga, K., León, C., Quiñónez, M. F., Benítez, S., & Montenegro, G. (2005). Seismic Hazard Assessment for Guayaquil City (Ecuador): Insights from Quaternary Geological Data. In Abstract Final Meeting, Dark Nature, Rapid natural Change and Human Responses (pp. 55-56).
29. Chunga, K., Michetti, A. M., Gorshkov, A. I., Panza, G. F., Soloviev, A., & Martillo, C. (2010). Aplicación del método de zonación morfo-estructural para identificar nudos

sismogénicos en la región costera y cadenas montañosas de los Andes septentrionales del Ecuador.

30. Cobos Fischer, J. A., & León Rodríguez, X. A. (2007). Propiedades físicas-mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/1562>
31. Comité de Reconstrucción y Reactivación, “Plan de Reconstrucción y Reactivación Productiva post terremoto - Mayo 2017”, Plan Reconstruyo Ecuador, Ecuador, Informe, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://djc.es/haErl>
32. Coral Rosero, R. A. (2019). Manual de construcción de viviendas en caña guadúa en el recinto San Bernabé, cantón San Miguel de los Bancos (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019).
33. Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador. *Revista Politécnica*, 50(1), 55-64.
34. De la Cerda, F. (2022). Comportamiento de la madera ante los terremotos: una eficiencia probada que aventaja al hormigón en estándares de seguridad. *Home / Ingeniería Y Construcción / Reportaje*.
35. Diario el Universo (2022). Cinturón de Fuego del Pacífico ¿Qué países se encuentran en él? Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/internacional/cinturon-de-fuego-del-pacifico-que-paises-se-encuentran-en-el-nota/>
36. Diario el Universo. (2016) Manta, Portoviejo y más localidades manabitas con graves daños tras terremoto. *Diario El Universo de Ecuador (Guayaquil)*. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/16/nota/5527542/manta-portoviejo-mas-localidades-manabitas-graves-danos/>
37. Echezuria, H. (2018). El Bambú como Recurso Sustentable para Construcción de Viviendas de Bajo Costo. *Revista Tekhne*, 21(2).
38. EcoCiencia–INBAR. Cosecha y preservado de la caña guadúa. Proyecto veedurías comunitarias para el monitoreo socioambiental en el Territorio Étnico Waorani. Ecuador 2021.

39. Encalada, J. (2016). Modelo de panel prefabricado en guadúa, aplicado a la industrialización de la construcción, para divisiones verticales. <https://core.ac.uk/download/pdf/38670651.pdf>
40. Espinel Rodas, J. A. (2014). Caña guadua en el espacio interior. Experimentación expresiva y tecnología para el diseño de panelería (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
41. F. Yépez, A. Barbat y J. Canas, Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería, Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, 1995.
42. Fernández, I., Gómez, A., Carchipulla, N., Bonucci, Y., & Pavón, M. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de 97 edificaciones de la “Comuna Santa Clara de San Millán”, Quito. EÍDOS UTE Revista
43. Gil Mancipe, Z. C. (2015). Evaluación de daño estructural post-sismo en edificaciones: estado del arte.
44. González Aura, M. (2008). Estudio preliminar de algunas propiedades físico-mecánicas del bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) preservado a través de compuestos químicos (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES).
45. González González, R., & Mendoza Avilés, H. (2016). Los Agro centros una alternativa de emprendimiento para las cadenas de exportación en los ecosistemas del estuario central del golfo de Guayaquil. IV Congreso Internacional de Emprendimiento.
46. GUADUA BAMBOO (2019). Durability of Bamboo (En línea). disponible en: <https://www.guaduabamboo.com/preservation>.
47. Herrera Juárez, N. V. (2021). La caña guadúa como sistema constructivo prefabricado. Propuesta para vivienda en el Cantón Yantzaza–Provincia Zamora Chinchipe.
48. Indian Standard I.S.6874, 1973, Method of Tests for Round Bamboos
49. Industrialización del bambú en Guatemala. Construcción con bambú. Obtenido de: <https://www.bambu.org.gt/bambu-2.html>. Recuperado el 22/09/2023.

50. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5301. Bogotá D.C.
51. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Uniones de estructuras con *Guadua angustifolia* Kunth. NTC 5407. Bogotá D.C.
52. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2011). Sismo de Bahía de Caráquez: 4 de agosto de 1998. Escuela Politécnica Nacional. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/457-sismo-de-bah%C3%ADa-de-car%C3%A1quez-4-de-agosto-de-1998>
53. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2016). Informe sísmico especial N°13: Informe técnico del sismo de pedernales. Escuela Politécnica Nacional. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1317-informe-sismico-especial-n-13-2016>
54. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural INPC. (2019). Ecuador. Guía técnica del proceso de evaluación rápida post evento.
55. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Bamboo. Determination of Physical and Mechanical Properties. Part 1: Requirements. Geneva: ISO, 2004, 19 p (ISO 22157-1:2000(E)).
56. ISO 22156: 2004 Bamboo - Structural Design.
57. ISO 22157-1: 2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements.
58. ISO 22157-2: 2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 2: Laboratory manual.
59. ISO 3130, Wood. Determination of Moisture Content for Physical and Mechanical Tests.
60. ISO 3131, Wood. Determination of Density for Physical and Mechanical Tests.
61. ISO 3133, Wood. Determination of Ultimate Strength in Static Bending.
62. ISO 3145, Wood. Determination of Ultimate Tensile Stress Parallel to Grain.
63. ISO 3149, Wood. Determination of Modulus of Elasticity in Static Bending.

64. ISO TR 22157-2:2004, Bamboo. Determination of Physical and Mechanical Properties. Part:Laboratory Manual.
65. Jabrane, F., Barnet, Y., & Nolte, L. (2013). Estudio de Vulnerabilidad de las Viviendas de Bambú al Cambio Climático en el Norte del Perú: Optimización de las Viviendas del Norte del Perú con el Uso del Bambú.
66. Janssen (1981), Bamboo in Building Structures. Thesis Eindhoven University.
67. Jaramillo, A., & Librelotto, L. (2019). Termografía infrarroja (TI) para detectar los defectos internos causados por los insectos xilófagos en los culmos de bambú. Revista Ingeniería de Construcción RIC.
68. K. Alvarado, "Mapa de Microzonificación Geotécnico y Modelo Geológico-Geotécnico 3D de la Ciudad de Portoviejo". Trabajo fin de grado, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleo, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2017
69. Kaminski, S., (2016). Structural use of bamboo. Part 2: Durability and preservation. The Structural Engineer, 94(10).
70. Kumar, S. and P.B. Dobriyal, 1992. Treatability and flow path studies in bamboo. Part I. Dendrocalamus sttictus Nees. Wood and Fiber Sci. 24(2).
71. Lara, M. L., Aguirre, H., & Gallegos, M. (2018). Estructuras Aporticadas de Hormigón Armado que Colapsaron en el Terremoto del 16 de Abril de 2016 en Tabuga–Ecuador. Revista Politécnica, 42(1), 37-46.
72. Liese, W. 1987. Research on bamboo. Wood Sci & Technol. 21: 189-209. Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del grupo andino para la preservación de la madera. Lima. Perú.
73. Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N., & López, Y. (2002). Characterization of the anatomy of Guadua angustifolia (Poaceae: Bambusoideae) culms. Bamboo Science and Culture, 16(1).
74. López, M. (2017). Evaluación y análisis estadístico de las principales causas que incidieron en el colapso y daño estructural de las edificaciones en la ciudad de

- Portoviejo por causa del terremoto del 16 de abril del 2016. Universidad Técnica de Manabí.
75. Lozano Sánchez, D. M., & Moreno Donado, Y. J. (2016). Análisis de la incidencia de agentes patógenos en la estructura de guadua de la Universidad la Gran Colombia sede Armenia.
76. Maiztegui, B. (2020). Soluciones tradicionales en proyectos contemporáneos: Cerramientos móviles de bambú". Plataforma Arquitectura.
77. Martínez García, S. (2015). Bambú como material estructural: generalidades, aplicaciones y modelización de una estructura tipo.
78. Mena Hernández, U. (2002). Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas. Universitat Politècnica de Catalunya.
79. Mendoza Castro, J. A., Rosales Salcedo, J. N. (2014). Uso de la caña guadua en la vivienda modular [en línea] disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5218>[consulta:7junio 2022]
80. Menéndez-Navarro, G. M., García-García, J. G., & Reyna-García, A. E. (2023). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo: Reflexiones del 16-A. Revista InGenio, 6(1), 73-86.
81. Mercado Cevallos, M. L., & Molina Franco, R. E. (2015). Estudio de factibilidad para la producción de caña Guadua en el recinto de Rio Chico, cantón Paján de la provincia de Manabí y propuesta de plan de exportación para el mercado Chileno (Bachelor's thesis).
82. Mero, M. (2019). Agencia EFE. Ecuador recupera el "acero vegetal" en construcciones antisísmicas. <https://acortar.link/yNdb7V>
83. MIDUVI- Dirección de desarrollo de hábitat y espacio público (2021) Ecuador. Formulario de Detección Visual Rápida de Vulnerabilidad Sísmica para edificaciones, referencia del FEMA P-154 (Actualizado)

84. MIDUVI-Secretaría de gestión de Riesgos (2016) Ecuador. Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. Capítulo 5.5)
85. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán (2018). Ecuador: Estrategia Nacional del Bambú 2018-2022. <https://acortar.link/r55572>
86. Morán, A. J. VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS DE BAMBÚ AL CAMBIO CLIMÁTICO.
87. Moreira, J. (2010). Diagnóstico: Cadena productiva de la caña guadúa en la provincia de Manabí. Obtenido de Gobierno Provincial de Manabí.
88. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2011). Significant Earthquake Colombia-Ecuador. National Centers for environmental information.
89. NEC-SE-GUADUA. N.E. (2016). Estructuras de Guadúa (GaK) (NEC-SE-GUADUA). Santo Domingo de los Tsachilas: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). Santo Domingo- Ecuador
90. Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, MIDUVI NEC–SE-GC-2015 [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-normaecuatoriana-de-la-construccion/>
91. Norma Sismo Resistente NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
92. Norma Técnica E 100 Bambú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, 2009.
93. NORMA, N. (2007). Norma Técnica Colombia NTC 5525. Bogotá, CO.
94. NSR-10-Capítulo G.12- "Estructuras de Guadua". (2010). Norma Sismo Resistente NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: - Capítulo G.12- "Estructuras de Guadua". Obtenido de <https://bambucachipay.jimdo.com/norma-colombiana/>
95. NTC 5300, Cosecha y postcosecha del culmo de Guadua angustifolia Kunth.

96. NTC 5407 Uniones de estructuras de Guadua angustifolia Kunth
97. NTE INEN-ISO 80000-1:2014 Cantidades y Unidades – Parte 1: Generalidades (ISO 800001:2009, IDT),
98. NTP341.026:1970 Barras de Acero al Carbono Laminadas en Caliente para Tuercas.
99. NTP341.028:1270 Barras de Acero
100. Ordóñez Candelaria, V., Mejía Saulés, M. T., Bárcenas Pazos, G., & Instituto de Ecología A.C (INECOL). (2002). Caracterización Tecnológica de las Especies Mexicanas de Guadua (Poaceae: Bambusoideae) y sus Aplicaciones en la Construcción. Obtenido de [https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/MANUAL\\_PARA\\_LA\\_CONSTRUCCION\\_SUSTENTABLE\\_CON\\_BAMBU.PDF](https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/MANUAL_PARA_LA_CONSTRUCCION_SUSTENTABLE_CON_BAMBU.PDF)
101. Orosco, A. (2009). El bambú como material alternativo en la construcción arquitectónica. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. (Bachelor's tesis)
102. Priego, M. C., Moreira, M. A. B., Ochoa, M. O. L., & Guagua, E. A. C. (2018). La guadua que se corta: paisajes culturales y patrimonio construido en la costa ecuatoriana (Manabí, Ecuador). *Revista Española de Antropología Americana*.
103. R. Aguiar y. Mieles, “Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016”, *Ingeniería de Estructuras*, vol. 21, no. 3, pp. 257-282, 2016.
104. R. Bonett, “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada”. Tesis Doctoral, Departamento de ingeniería del terreno, cartográfica y geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2003.
105. Ramón, J. (2006). Guía técnica del cultivo del bambú. Santo Domingo. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal.
106. RAY, A. K. et al. (2005). Bamboo: a functionally graded composite-correlation between microstructure and mechanical strength. *Journal of Materials Science*, Storrs, v. 40, n. 19.



107. Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR. (2016). Reporte post-sismo sobre estructuras de bambú, y recomendaciones para la reconstrucción con bambú en la costa ecuatoriana:
108. Rivera, W. L. M., Zambrano, H. G. C., Delgado, T. G. C., Tumbaco, G. G. S., & Véliz, C. J. M. (2023). Análisis de la vivienda vernácula de caña guadúa Manabita del Ecuador y puesta en valor de su sistema constructivo en la vivienda contemporánea. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 8291-8310.
109. Rodríguez Hernández, R. (2017). El bambú como refuerzo en materiales compuestos para la construcción. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
110. Romero, A. D. P. M. (2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos (Doctoral dissertation, Universidad de los Andes).
111. Romo, J. C. R. (2006). El bambú como material de construcción. *Conciencia tecnológica*, (31).
112. S. Safina, "Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales". Tesis Doctoral, Departamento de ingeniería del terreno, cartográfica y geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2003.
113. Salas Delgado, E. (2006). Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia: Simón Velez: símbolo y búsqueda de lo primitivo.
114. Sánchez Echeverri, L. A., & Rodríguez García, M. E. (2018). Morphological and structural characterization of bamboo fiber into culm-*Guadua angustifolia* Kunth. *Ciência Florestal*.
115. Sandoval, F. J., Machuca, J. S., & Cedeño, L. H. (2014). LA ARQUITECTURA VERNÁCULA EN EL MEDIO. En A. E. Desarrollo, Hábitat social, digno, sostenible y seguro en Manta, Manabí, Ecuador. Valladolid
116. Servicio Geológico colombiano. (2018). Un día como hoy en la historia sísmica de Colombia. Gobierno de Colombia. Disponible en:

<https://www2.sgc.gov.co/Noticias/Paginas/Un-d%C3%ADa-como-hoy-en-la-historia-s%C3%ADsmica-de-Colombia.aspx>

117. Soler, P. (2018). Uso del bambú en la arquitectura contemporánea (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
118. Suizo, F. D. C. E. (2001). Sembrando esperanzas: una experiencia alternativa de manejo de caña guadúa. In Sembrando esperanzas: una experiencia alternativa de manejo de caña guadúa (pp. 22).
119. Takeuchi, C. P. (2014). Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural (Doctoral dissertation).
120. Tena Colunga, A., Cano Licona, J., López Blancas, A., & Pérez Osornio, M. Á. (2010). Revisión y actualización del método simplificado de análisis de estructuras de mampostería de los reglamentos de diseño sísmico de México. Ingeniería sísmica, (82), 1-34.
121. Tewari, M.C.1993. A monograph on bamboo. International Book. Distributors, Dehra Dun.  
  
[https://www.researchgate.net/publication/311583383\\_Reporte\\_postsismo\\_sobre\\_e\\_structuras\\_de\\_bambu\\_y\\_recomendaciones\\_para\\_la\\_reconstruccion\\_con\\_bambu\\_en\\_la\\_costa\\_Ecuatoriana](https://www.researchgate.net/publication/311583383_Reporte_postsismo_sobre_e_structuras_de_bambu_y_recomendaciones_para_la_reconstruccion_con_bambu_en_la_costa_Ecuatoriana)Soler, P. (2017). Uso del bambú en la arquitectura contemporánea.
122. UNDRO, 1980. Natural disasters and vulnerability analysis. Report Expert Group Meeting, Geneva, 49 Pp.
123. Yedra, O. (2014). Caracterización del bambú Guadua (Guadua Angustifolia) para el diseño e industrialización en España. <https://acortar.link/gyNHE>
124. Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., & Cotton, F. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment. Tectonics, 35(5). American Geophysical Union.

125. Zambrano, J. A. B., & Viteri, C. G. V. (2021). Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(9), 1987-2011.
126. Zambrano, R. V. H., Montero, O. P., & Batista, C. M. (2021). La vivienda de los tres espacios de Portoviejo como patrimonio cultural de las comunidades rurales manabitas. *Módulo Arquitectura CUC*, 27, 219-246

## Índice de tablas

Tabla 1 Módulos de Elasticidad del bambú .....	20
Tabla 2 Esfuerzos admisibles del bambú .....	21
Tabla 3 Comparativo entre tipos de uniones en bambú .....	26
Tabla 4 Superficie de las principales zonas con presencia de bambú .....	41
Tabla 5 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2001 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país .....	49
Tabla 6 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2010 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país .....	50
Tabla 7 Resumen del N°. de viviendas de bambú en censos 201 y 2010 .....	51
Tabla 8 Cantidad de viviendas de bambú en Guayaquil y Portoviejo en censos 2001 y 2010.....	53
Tabla 9 Combinaciones de cargas para el diseño.....	91
Tabla 10 Esfuerzos admisibles $F_i$ (MPa), CH=12%.....	95
Tabla 11 Esfuerzos últimos $F_u$ (MPa), CH=12%.....	95
Tabla 12 Módulos de elasticidad, $E_i$ (MPa), CH=12%.....	95
Tabla 13 Factores de reducción de resistencia .....	96
Tabla 14 Coeficientes de modificación por duración de carga.....	97
Tabla 15 Coeficientes de modificación por contenido de humedad .....	98
Tabla 16 Coeficientes de modificación por temperatura (Ct) .....	99
Tabla 17 Fórmulas para el cálculo de deflexiones.....	102
Tabla 18 Deflexiones admisibles $\delta$ (mm). *Nota 3.....	102
Tabla 19 Valores de $C_c$ .....	103
Tabla 20 Cargas $w$ par cálculo de sección y deflexiones .....	104
Tabla 21 Coeficientes $C_L$ para diferentes relaciones $d/b$ .....	105
Tabla 22 Coeficiente de longitud efectiva (*) .....	110
Tabla 23 Coeficiente de longitud efectiva de columna $k_e$ .....	111

Tabla 24 Valores factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	121
Tabla 25 Parámetros variables de los espectros de diseño para PMR=475 años ....	128
Tabla 26 Secciones ficha de evaluación rápida post evento .....	156
Tabla 27 Detalles de las pruebas para ensayos de propiedades físicas .....	176
Tabla 28 Detalles de las pruebas para ensayos de propiedades físicas .....	177
Tabla 29 Masa participativa en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	188
Tabla 30 Derivas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	189
Tabla 31 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	189
Tabla 32 Desplazamientos máximos en X-X. en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	190
Tabla 33 Desplazamientos máximos en Y-Y. en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	190
Tabla 34 Desplazamientos máximos en Z-Z. en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	190
Tabla 35 Masa participativa en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado .....	195
Tabla 36 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.....	197
Tabla 37 Desplazamientos máximos en X-X en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. ....	198
Tabla 38 Desplazamientos máximos en Y-Y en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. ....	198
Tabla 39 Desplazamientos máximos en Z-Z en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado. ....	198
Tabla 40 Análisis del contenido de humedad de las muestras. Propiedades físicas.	201

Tabla 41 Media anual de humedad de equilibrio en Ecuador.....	202
Tabla 42 Análisis de los ensayos de contracción en estado húmedo de las muestras. Propiedades físicas.....	202
Tabla 43 Análisis de los ensayos de contracción en estado seco de las muestras. Propiedades físicas.....	203
Tabla 44 Promedios de contracción de las muestras. Propiedades físicas .....	204
Tabla 45 Promedios de alturas por contracción de las muestras. Propiedades físicas .....	205
Tabla 46 Análisis de resistencia a la compresión de las muestras. Propiedades mecánicas.....	206
Tabla 47 Esfuerzos últimos de resistencia .....	207
Tabla 48 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. .....	207
Tabla 49 Módulos de elasticidad.....	208
Tabla 50 Análisis de ensayos de corte con nudos de las muestras. Propiedades mecánicas.....	209
Tabla 51 Análisis comparativo de ensayos de corte sin nudos de las muestras. Propiedades mecánicas.....	209
Tabla 52 Análisis de ensayos de resistencia a tensión de las muestras. Propiedades mecánicas.....	211
Tabla 53 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. .....	212
Tabla 54 Análisis del ensayo a flexión de las muestras. Propiedades mecánicas. ....	213
Tabla 55 Peso total de estructura en 100% GaK.....	232
Tabla 56 Peso total de estructura con pórticos hormigón armado.....	232
Tabla 57 Desplazamiento máximo en vivienda 100% caña guadua.....	234
Tabla 58 Desplazamiento máximo en vivienda de pórticos de hormigón armado ....	234
Tabla 59 Deriva máxima en vivienda 100% caña guadua.....	235

Tabla 60 Deriva Máxima en vivienda de pórticos de hormigón armado.....	235
Tabla 61 Análisis comparativos de esfuerzos últimos de cañas inmunizadas y en estado natural.....	238
Tabla 62 Comparación de coeficientes de resistencia del bambú con otras maderas. ....	240
Tabla 63 Eficiencia de energía de producción del bambú frente a otros materiales.	241
Tabla 64 Propiedades de diseño del bambú frente a otros materiales. ....	242
Tabla 65 Comparativo de emisiones de Co2 de materiales de construcción: bambú frente a construcción de Hormigón armado.....	243
Tabla 66 Comparativo de emisiones de Co2 una vivienda en bambú frente a vivienda de hormigón armado.....	243
Tabla 67 Comparativo de tiempo de degradación del bambú frente a otros materiales de construcción.....	244
Tabla 68 Comparativo de costos de construcción de una vivienda en bambú frente a vivienda convencional.....	245

## Índice de Figuras

Figura 1 Estructura de la Guadúa .....	14
Figura 2 Edades de la guadua. ....	15
Figura 3 Haz vascular de la guadua angustifolia kunth .....	16
Figura 4 Haz vascular de la fibra guadua angustifolia kunth .....	17
Figura 5 Partes de la guadua y su uso en la construcción .....	18
Figura 6 Detalle de apoyo de columnas en sobrecimiento .....	22
Figura 7 Anclajes sumergidos en concreto.....	23
Figura 8 Cortes para uniones.....	25
Figura 9 Mapa de la distribución mundial del bambú .....	39
Figura 10 Distribución del bambú en el Ecuador .....	42
Figura 11 Tipología de vivienda vernácula Manabita .....	48
Figura 12 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2001 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país.....	50
Figura 13 Resultados del Censo de Población y Vivienda del año 2010 referido al N°. De viviendas de bambú por regiones del país.....	50
Figura 14 Casas de caña en la Costa, censos 2001 y 2010.....	51
Figura 15 Casas de caña en la Sierra, Oriente y Galápagos, censos 2001 y 2010 ....	52
Figura 16 Número de casas de bambú en las provincias de la Costa ecuatoriana.....	52
Figura 17 Planta arquitectónica de vivienda manabita al nivel del suelo .....	55
Figura 18 Secciones de vivienda manabita a nivel del suelo.....	56
Figura 19 Fachadas de vivienda manabita a nivel del suelo .....	56
Figura 20 Planta arquitectónica de vivienda manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo .....	58
Figura 21 Secciones de vivienda manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo .....	58



Figura 22 Fachadas de vivienda manabita elevada entre 1.20 m y 1.80 m sobre el suelo .....	59
Figura 23 Planta arquitectónica de vivienda manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo .....	60
Figura 24 Secciones de vivienda manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo .....	61
Figura 25 Fachadas de vivienda manabita elevada entre 3.00 m y 3.50 m sobre el suelo .....	61
Figura 26 Máquina de compresión.....	77
Figura 27 Esquema del ensayo de flexión .....	80
Figura 28 Ensayo de corte .....	84
Figura 29 Ejemplo de probeta para ensayo de tensión .....	87
Figura 30 Ejemplo de sección compuesta.....	105
Figura 31 Detalle de conectores secciones compuestas.....	108
Figura 32 Cinturón de fuego del Pacífico .....	119
Figura 33 Zonas sísmicas de Ecuador para propósitos de diseño .....	120
Figura 34 Eventos sísmicos entre 1906 y 2016 en el Ecuador.....	123
Figura 35 Distribución de réplicas y sismo principal.....	124
Figura 36 Ubicación de la zona con mayor cantidad de réplicas.....	125
Figura 37 Acelerogramas obtenidos del terremoto 2016 .....	126
Figura 38 Microzonas sísmicas zona urbana del Cantón Portoviejo .....	128
Figura 39 Microzonas sísmicas de la zona cero.....	131
Figura 40 Daños por columna corta registrado en Portoviejo.....	135
Figura 41 Daños en columna de nivel 5 en Portoviejo .....	136
Figura 42 Fallas por falta de confinamiento en columnas.....	137
Figura 43 Fallas por piso blando. Edificio antes y después del terremoto .....	138
Figura 44 Columna con traslape y detallado deficiente .....	139
Figura 45 Fallas estructurales por licuefacción de suelos .....	139

Figura 46 Desplazamiento de mamposterías de viviendas en caña .....	142
Figura 47 Inexistencia de cimientos en viviendas en caña .....	142
Figura 48 Desplazamientos de viviendas por efectos de licuefacción del suelo .....	143
Figura 49 Mal armado de elementos estructurales en viviendas en caña .....	143
Figura 50 Separación de elementos en viviendas en caña .....	144
Figura 51 Mantenimiento inadecuado en viviendas en caña .....	144
Figura 52 Desprendimiento de recubrimientos en viviendas en caña.....	145
Figura 53 Estructuras sin protección de aleros en viviendas en caña .....	145
Figura 54 Formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica edificaciones del MIDUVI .....	149
Figura 55 Ficha de evaluación rápida post evento bienes culturales inmuebles.....	159
Figura 56 Planta arquitectónica vivienda en caña guadua .....	166
Figura 57 Elevaciones/Fachadas de vivienda en caña guadua.....	166
Figura 58 Planta de cimentación vivienda en caña guadua.....	167
Figura 59 Cerchas y pórticos de vivienda en caña guadua .....	167
Figura 60 Ubicación del Cantón Olmedo – Provincia de Manabí.....	168
Figura 61 Planta arquitectónica vivienda en hormigón armado .....	169
Figura 62 Elevaciones/Fachadas de vivienda hormigón armado.....	170
Figura 63 Planta de cimentación vivienda en caña guadua.....	170
Figura 64 Pórticos de vivienda en hormigón armado .....	171
Figura 65 Ubicación del Cantón Olmedo – Provincia de Manabí.....	171
Figura 66 Ubicación de guaduales de Muestra 1. Jipijapa .....	173
Figura 67 Ubicación de guaduales de Muestra 2. Paján .....	174
Figura 68 Ubicación de guaduales de Muestra 3. San Isidro .....	174
Figura 69 Cañaveral de donde se obtendrá una de las muestras. ....	175
Figura 70 Toma de medidas y cortes de las muestras para los ensayos. ....	175
Figura 71 Materiales empleados (caña) en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	186

Figura 72 Materiales empleados (galvalume) en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	187
Figura 73 Espectro de respuesta en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	187
Figura 74 Comportamiento torsional en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	188
Figura 75 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	189
Figura 76 Desplazamientos máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	191
Figura 77 Revisión de torsión en planta X-X en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	191
Figura 78 Revisión de torsión en planta Y-Y en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	192
Figura 79 Diagrama de esfuerzos cortantes máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	193
Figura 80 Diagrama de esfuerzos axiales máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en caña guadúa GAK.....	193
Figura 81 Materiales empleados (hormigón) en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado GAK.....	194
Figura 82 Materiales empleados (acero) en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.....	194
Figura 83 Espectro de respuesta en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.....	195
Figura 84 Comportamiento torsional en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.....	196
Figura 85 Derivas máximas de piso en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.....	197

Figura 86 Desplazamientos máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.....	198
Figura 87 Revisión de torsión en planta X-X en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado .....	199
Figura 88 Revisión de torsión en planta Y-Y en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado .....	199
Figura 89. Diagrama de momentos en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado.....	200
Figura 90 Diagrama de esfuerzos axiales máximos en el análisis sísmico estructural de viviendas en hormigón armado .....	200
Figura 91 Análisis del contenido de humedad de las muestras. Propiedades físicas. ....	201
Figura 92 Análisis de los ensayos de contracción en estado húmedo de las muestras. Propiedades físicas.....	203
Figura 93 Análisis de los ensayos de contracción en estado seco de las muestras. Propiedades físicas.....	204
Figura 94 Muestras de probetas colocadas en el horno.....	205
Figura 95 Análisis de resistencia a la compresión de las muestras. Propiedades mecánicas.....	206
Figura 96 Muestra de probetas en ensayo de compresión.....	207
Figura 97 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. ....	208
Figura 98 Análisis de ensayos de corte con nudos de las muestras. Propiedades mecánicas.....	209
Figura 99 Análisis de ensayos de corte sin nudos de las muestras. Propiedades mecánicas.....	210
Figura 100 Muestra de probetas en ensayo de corte .....	210

Figura 101 Análisis de ensayos de resistencia a tensión de las muestras. Propiedades mecánicas.....	211
Figura 102 Análisis del módulo de elasticidad de las muestras. Propiedades mecánicas. ....	212
Figura 103 Corte y ensayo a tensión de las muestras.....	212
Figura 104 Análisis del ensayo a flexión de las muestras. Propiedades mecánicas.	213
Figura 105 Corte y ensayo a flexión de las muestras.....	214
Figura 106 Guadua de Manabí e identificación de culmos. ....	216
Figura 107 Transporte y acopio del material. ....	217
Figura 108 Proceso de limpieza del material. ....	217
Figura 109 Procedimiento de inmersión.....	219
Figura 110 Procedimiento de secado al sol.....	220
Figura 111 Propuesta de ficha técnica de evaluación rápida post evento, detección de daños y usabilidad de las viviendas en caña guadua.....	222
Figura 112 Peso específico de cada material, hormigón armado y caña guadua. ....	231
Figura 113 Peso total de cada tipología de vivienda, pórticos de hormigón y 100% caña guadua.....	233
Figura 114 Desplazamiento máximo de cada tipología de vivienda. ....	234
Figura 115 Deriva Máxima en vivienda de pórticos de hormigón armado. ....	235
Figura 116 Resistencia de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto .....	236
Figura 117 Demostración de ligereza de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto.....	237
Figura 118 Demostración de desplazamiento de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto .....	237
Figura 119 Demostración de daños menores de viviendas de caña vs viviendas de hormigón durante el terremoto. ....	238

Figura 120 Análisis comparativos de esfuerzos últimos de cañas inmunizadas y en estado natural .....	239
Figura 121 Comparación de dureza del bambú con otras maderas. (Unidad de medida. Lbs/ln2).....	241

## ANEXOS

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos  
**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.  
**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin  
**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 1  
**ESTUDIO:** Compresión Inferior  
**SECCIÓN:**  
**FISCALIZADOR:**  
**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M1inCOM-1	115.00	11.00	190.00	5.90	3.84	0.02%	0.02%	77.16	23.18	25.67	8.18	5.39	7.3807
2	M1inCOM-2	115.00	10.00	216.00	6.20	4.52	0.02%		99.96	30.3		18.05	3.63	
3	M1inCOM-3	124.00	12.00	194.00	5.60	3.96	0.02%		102.37	28.07		7.98	6.83	
4	M1inCOM-4	118.00	12.00	173.00	7.13	4.59	0.03%		63.82	18.48		0.81	39.7	
5	M1inCOM-5	113.00	10.00	170.00	5.20	4.01	0.01%		31.98	9.88		7.12	2.36	
6	M1inCOM-6	112.00	9.00	193.00	5.90	4.87	0.01%		86.57	29.73		33.94	1.69	
7	M1inCOM-7	115.00	10.00	192.00	5.40	3.90	0.02%		79.7	24.16		9.08	5.11	
8	M1inCOM-8	115.00	10.00	235.00	5.50	3.95	0.02%		92.85	28.15		42.28	1.56	
9	M1inCOM-9	116.00	10.00	215.00	6.70	5.12	0.02%		87.88	26.39		23.53	2.41	
10	M1inCOM-10	120.00	12.00	212.00	4.96	3.20	0.02%		102.16	29.04		24.55	2.51	
11	M1inCOM-11	118.00	11.00	160.00	6.20	4.10	0.02%		91.27	26.66		2.19	19.47	
12	M1inCOM-12	114.00	11.00	244.00	4.90	2.20	0.03%		106.17	32.2		16.85	4.66	
13	M1inCOM-13	128.00	13.00	184.00	5.83	3.10	0.03%		110.38	28.98		5.95	8.96	
14	M1inCOM-14	120.00	11.00	208.00	4.70	2.90	0.02%		95.92	27.51		13.04	4.39	
15	M1inCOM-15	120.00	12.00	190.00	5.42	3.15	0.02%		78.53	22.32		20.8	2.04	



**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 1

**ESTUDIO:** Compresión

**SECCIÓN:** Media

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M1meCOM-1	110.00	8.00	220.00	5.20	3.63	1.60%	1.52%	95.2	37.14	29.66	3.55	23.04	4.4453
2	M1meCOM-2	100.00	8.00	215.00	4.15	2.19	2.00%		68.74	29.73		28.24	2.26	
3	M1meCOM-3	104.00	8.00	199.00	4.80	2.62	2.20%		51.69	21.42		31.85	1.34	
4	M1meCOM-4	100.00	7.00	202.00	5.20	3.15	2.10%		81.87	40.03		13.04	6.2	
5	M1meCOM-5	103.50	7.50	212.00	4.63	2.96	1.70%		83.77	37.9		16.22	4.95	
6	M1meCOM-6	102.00	8.00	202.00	3.85	2.10	1.80%		89.54	37.9		34.97	2.19	
7	M1meCOM-7	108.00	8.00	224.00	4.25	3.25	1.00%		71.5	28.45		43.97	1.45	
8	M1meCOM-8	105.00	8.50	214.00	4.02	3.10	0.90%		80.14	31.1		9.09	7.32	
9	M1meCOM-9	107.00	8.00	202.00	496.00	3.19	1.80%		29.94	12.03		18.66	1.3	
10	M1meCOM-10	110.00	9.00	212.00	5.10	4.02	1.10%		77.46	27.13		16.44	3.5	
11	M1meCOM-11	115.00	9.00	226.00	4.10	2.96	1.10%		70.7	23.59		19.27	2.77	
12	M1meCOM-12	110.00	8.00	215.00	3.25	2.50	0.80%		67.95	26.51		14.58	3.91	
13	M1meCOM-13	114.00	10.00	205.00	4.50	2.79	1.70%		75.81	23.2		15.71	3.03	
14	M1meCOM-14	102.00	8.50	216.00	5.21	3.36	1.90%		83.6	33.48		39.56	1.83	
15	M1meCOM-15	97.00	7.50	203.00	3.98	2.85	1.10%		74.49	35.32		45.02	1.59	

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 1

**ESTUDIO:** Compresión Superior

**SECCIÓN:**

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M1suCOM-1	100.00	10.00	198.00	3.80	2.10	1.70%	1.25%	53.3564	18.871	28.10	21.0311	1.7766	6.1675
2	M1suCOM-2	98.00	7.00	198.00	4.60	2.65	2.00%		53.8888	26.9283		4.1923	12.7182	
3	M1suCOM-3	91.00	7.00	180.00	3.30	2.12	1.20%		65.1631	35.2756		20.4283	3.1082	
4	M1suCOM-4	102.00	7.00	200.00	3.30	2.70	0.60%		41.5799	19.9027		8.0845	4.9237	
5	M1suCOM-5	83.00	7.00	180.00	4.40	2.80	1.60%		51.6949	30.9304		30.7949	1.8079	
6	M1suCOM-6	105.00	7.00	183.00	4.35	3.50	0.90%		59.2876	27.5099		29.755	1.6919	
7	M1suCOM-7	99.00	8.00	199.00	4.22	3.00	1.20%		51.6533	22.5848		19.4625	2.3092	
8	M1suCOM-8	101.00	8.00	196.00	3.55	2.50	1.10%		51.9052	22.2069		40.7216	1.0689	
9	M1suCOM-9	100.00	12.00	200.00	3.90	2.10	1.50%		62.3541	25.3054		25.642	4.1053	
10	M1suCOM-10	99.00	8.00	198.00	4.50	2.55	1.20%		57.4506	31.0156		8.1869	4.7263	
11	M1suCOM-11	101.00	9.50	170.00	3.50	2.15	1.10%		53.5941	30.2842		9.1581	4.0268	
12	M1suCOM-12	103.00	10.00	195.00	4.50	2.60	0.90%		45.2645	29.5428		3.2564	18.6529	
13	M1suCOM-13	102.00	11.00	185.00	4.40	2.70	1.00%		41.5896	31.2548		2.9874	15.9046	
14	M1suCOM-14	100.00	8.00	183.00	4.90	3.40	1.10%		61.4585	34.2658		4.6598	14.4911	
15	M1suCOM-15	98.00	7.00	199.00	4.90	2.50	1.70%		59.2684	35.5698		20.4963	1.2015	

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 2

**ESTUDIO:** Compresión Inferior

**SECCIÓN:**

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M2inCOM-1	105.00	10.00	204.00	6.30	5.12	1.20%	1.59%	107.6	36.0529	38.20	7.1853	10.2327	19.1418
2	M2inCOM-1	202.00	11.00	209.00	6.20	4.90	1.30%		10.425	35.8113		12.4566	6.0085	
3	M2inCOM-1	11.00	12.00	210.00	4.95	4.05	0.90%		101.631	31.7793		35.0719	1.9028	
4	M2inCOM-1	202.00	15.00	207.00	5.98	3.20	2.80%		113.624	37.6451		52.0719	1.4965	
5	M2inCOM-1	106.00	11.00	205.00	5.26	3.98	1.30%		107.208	35.2321		5.22248	13.8298	
6	M2inCOM-1	103.00	13.00	207.00	6.85	4.80	2.10%		120.902	40.3058		0.465631	179.1827	
7	M2inCOM-1	128.00	14.00	214.00	7.15	4.50	2.60%		189.27	49.2596		10.4673	10.0709	
8	M2inCOM-1	104.50	15.00	204.00	5.63	4.02	1.60%		113.037	36.6497		15.5556	4.8063	
9	M2inCOM-1	105.00	10.00	210.00	4.60	5.00	-0.40%		109.769	36.7794		25.4804	3.0312	
10	M2inCOM-1	102.50	13.00	203.00	4.90	3.86	1.00%		113.27	37.9663		14.0687	5.4782	
11	M2inCOM-1	105.00	12.00	204.00	6.12	4.52	1.60%		111.168	36.5949		27.0675	2.7581	
12	M2inCOM-1	105.00	13.00	210.00	6.00	4.10	1.90%		109.441	35.7145		2.3006	32.6004	
13	M2inCOM-1	103.00	13.00	210.00	5.90	4.23	1.70%		118.429	39.4812		11.6715	7.1037	
14	M2inCOM-1	120.00	11.00	240.00	4.80	2.95	1.90%		159.044	45.0036		19.4582	5.5508	
15	M2inCOM-1	127.00	14.00	250.00	5.60	3.18	2.40%		179.066	38.7923		31.5519	3.0737	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos  
**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.  
**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin  
**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 2  
**ESTUDIO:** Compresión  
**SECCIÓN:** Media  
**FISCALIZADOR:**  
**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M2meCOM-1	107.00	12.00	200.00	4.10	3.12	1.00%	1.41%	199.366	38.4817	40.64	16.4221	4.6866	27.9050
2	M2meCOM-2	108.00	9.00	208.00	5.12	2.98	2.10%		106.191	37.9366		9.1757	8.5997	
3	M2meCOM-3	94.00	8.00	198.00	4.82	3.20	1.60%		99.8058	46.1761		0.514984	177.5369	
4	M2meCOM-4	108.00	11.00	192.00	5.05	4.00	1.10%		118.749	38.2275		0.627836	116.9044	
5	M2meCOM-5	110.00	11.00	202.00	3.90	2.80	1.10%		119.193	37.6021		12.2347	6.2083	
6	M2meCOM-6	108.00	9.00	199.00	3.86	3.00	0.90%		125.198	44.727		4.0478	21.9889	
7	M2meCOM-7	107.00	12.00	198.00	4.55	3.15	1.40%		113.982	36.7461		49.2378	1.477	
8	M2meCOM-8	105.00	11.00	196.00	5.22	3.36	1.90%		64.3939	21.3849		17.3245	2.4194	
9	M2meCOM-9	105.00	11.00	189.00	3.96	2.90	1.10%		104.665	34.7588		27.3631	2.4008	
10	M2meCOM-10	102.30	9.00	198.00	4.45	3.20	1.30%		123.751	39.4304		56.8903	1.3723	
11	M2meCOM-11	107.00	9.00	196.00	4.12	3.00	1.10%		124.99	45.1084		1.4933	59.2061	
12	M2meCOM-12	110.00	8.00	199.00	3.80	2.10	1.70%		119.054	46.4413		30.162	3.0641	
13	M2meCOM-13	106.00	7.50	198.00	4.60	2.65	2.00%		113.461	48.8876		49.8378	1.9422	
14	M2meCOM-14	103.00	8.50	197.00	4.12	2.12	2.00%		123.253	48.8423		11.1205	8.6524	
15	M2meCOM-15	102.00	9.00	186.00	3.50	2.70	0.80%		118.072	44.9026		39.4849	2.1152	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 2

**ESTUDIO:** Compresión Superior

**SECCIÓN:**

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M2suCOM-1	75.00	18.10	181.00	4.20	3.95	0.30%	0.99%	97.3045	74.814	55.44	18.3524	7.3785	4.5236
2	M2suCOM-2	72.00	18.00	180.00	5.05	2.86	2.10%		82.1491	51.072		20.0688	4.5807	
3	M2suCOM-3	85.00	18.00	180.00	3.90	2.50	1.40%		86.2842	57.9433		53.4793	1.9502	
4	M2suCOM-4	88.00	17.80	178.00	3.85	2.62	1.20%		87.3631	49.045		51.9745	1.6797	
5	M2suCOM-5	85.00	18.40	184.00	4.21	3.90	0.30%		87.2455	50.8629		45.3796	2.0623	
6	M2suCOM-6	80.00	17.20	172.00	4.60	4.00	0.60%		85.8704	53.49		62.3024	1.4767	
7	M2suCOM-7	82.00	18.00	180.00	3.85	3.50	0.40%		1053863	64.185		15.0875	7.6575	
8	M2suCOM-8	81.00	16.80	168.00	3.96	3.20	0.80%		96.9175	59.5556		29.9777	3.3376	
9	M2suCOM-9	98.00	17.70	177.00	4.02	3.25	0.80%		119.21	49.8793		53.7303	1.6431	
10	M2suCOM-10	92.00	17.90	179.00	5.12	4.10	1.00%		114.903	61.4699		73.5222	1.4966	
11	M2suCOM-11	88.00	17.90	178.00	5.20	3.98	1.20%		96.1632	50.6993		27.4205	3.2911	
12	M2suCOM-12	85.00	17.70	177.00	3.89	2.90	1.00%		94.9681	52.0074		58.9769	1.5608	
13	M2suCOM-13	98.00	18.10	181.00	3.99	3.05	0.90%		131.32	58.056		14.391	7.3019	
14	M2suCOM-14	83.00	16.80	168.00	4.62	3.50	1.10%		93.0612	49.3705		5.65378	14.6703	
15	M2suCOM-15	86.00	18.20	182.00	5.70	4.02	1.70%		90.7918	49.0869		11.5012	7.7677	

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 3

**ESTUDIO:** Compresión Inferior

**SECCIÓN:**

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M3inCOM-1	118.00	16.00	40.00	6.40	5.20	0.01%	0.01%	145.68	28.41	30.93	18.48	3.69	23.9700
2	M3inCOM-2	105.00	15.00	200.00	5.20	4.62	0.01%		125.23	29.53		36.84	1.6	
3	M3inCOM-3	103.00	13.00	200.00	4.30	3.96	0.00%		123.3	33.54		50.49	1.33	
4	M3inCOM-4	120.00	19.00	240.00	6.45	5.12	0.01%		168.41	27.94		16.51	4.06	
5	M3inCOM-5	103.00	14.00	202.00	6.20	4.15	0.02%		118.82	30.36		16.85	3.64	
6	M3inCOM-6	113.00	11.00	240.00	5.90	4.20	0.02%		130.37	36.98		8.18	10.85	
7	M3inCOM-7	114.00	13.00	240.00	5.60	4.00	0.02%		142.16	34.46		48.16	1.72	
8	M3inCOM-8	101.00	15.00	200.00	6.30	4.98	0.01%		131.35	32.41		22.23	2.92	
9	M3inCOM-9	105.00	13.00	192.00	6.20	5.12	0.01%		119.45	31.79		0.22	281.38	
10	M3inCOM-10	106.00	15.00	201.00	6.70	4.50	0.02%		108.02	25.19		25.66	1.97	
11	M3inCOM-11	118.00	14.00	240.00	7.15	6.10	0.01%		144.07	31.5		14.14	5.35	
12	M3inCOM-12	117.00	16.00	240.00	5.90	4.20	0.02%		153.08	29.57		23.4	3.03	
13	M3inCOM-13	116.00	17.00	238.00	5.95	4.30	0.02%		156.39	29.58		2.04	34.46	
14	M3inCOM-14	112.00	13.00	239.00	7.12	5.12	0.02%		143.29	35.85		35.62	2.41	
15	M3inCOM-15	120.00	18.00	240.00	6.82	4.20	0.02%		154.88	26.85		56.52	1.14	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 3

**ESTUDIO:** Compresión

**SECCIÓN:** Media

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M3meCOM-1	103.00	9.00	200.00	3.50	2.96	0.50%	0.85%	82.7831	31.1474	38.18	12.833	4.8543	5.2547
2	M3meCOM-2	108.00	11.00	230.00	3.20	2.85	0.40%		123.219	36.7589		4.2135	20.0756	
3	M3meCOM-3	107.00	14.00	200.00	4.60	3.62	1.00%		118.036	28.8571		22.1248	2.6086	
4	M3meCOM-4	105.00	10.00	190.00	4.30	3.70	0.60%		94.1768	31.5552		52.1149	1.1504	
5	M3meCOM-5	106.00	14.00	198.00	4.40	3.95	0.50%		123.712	30.5735		20.1747	2.9551	
6	M3meCOM-6	108.00	10.00	202.00	3.70	3.00	0.70%		94.9166	30.8295		13.4853	4.618	
7	M3meCOM-7	103.00	10.00	185.00	5.10	4.02	1.10%		103.273	35.3471		51.1772	1.2778	
8	M3meCOM-8	100.00	8.00	200.00	5.15	4.16	1.00%		104.349	45.1295		6.06521	14.8814	
9	M3meCOM-9	103.50	10.00	188.00	4.75	4.00	0.80%		115.281	39.2462		11.3196	6.5182	
10	M3meCOM-10	105.00	10.00	202.00	4.80	3.85	1.00%		118.318	39.644		17.487	4.5795	
11	M3meCOM-11	103.00	10.00	199.00	4.50	2.95	1.60%		105.781	36.2054		9.89159	7.2838	
12	M3meCOM-12	100.00	10.00	198.00	4.50	3.45	1.10%		89.651	31.7075		42.7493	1.4686	
13	M3meCOM-13	85.00	7.00	191.00	3.90	3.10	0.80%		87.985	51.294		51.3308	1.9086	
14	M3meCOM-14	108.00	11.00	195.00	4.70	3.87	0.80%		126.436	37.7187		30.0404	2.4484	
15	M3meCOM-15	84.00	7.00	203.00	3.50	2.70	0.80%		112.81	66.6207		61.6972	2.192	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos  
**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.  
**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin  
**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 3  
**ESTUDIO:** Compresión Superior  
**SECCIÓN:**  
**FISCALIZADOR:**  
**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPEJOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
1	M3suCOM-1	87.00	7.00	198.00	3.20	2.45	0.80%	1.12%	71.5241	55.9632	58.84	6.22296	14.0412	12.6208
2	M3suCOM-2	78.00	10.00	195.00	3.90	2.62	1.30%		83.094	59.8745		2.4864	10.2246	
3	M3suCOM-3	90.00	8.00	200.00	3.85	2.50	1.40%		74.2145	59.8329		17.4958	11.6922	
4	M3suCOM-4	79.00	9.00	200.00	2.98	2.10	0.90%		70.0019	62.6988		4.07791	17.3465	
5	M3suCOM-5	90.00	8.50	200.00	4.05	2.95	1.10%		89.5548	48.9504		27.70503	11.2257	
6	M3suCOM-6	80.00	17.20	172.00	4.60	4.00	1.30%		85.8704	69.3655		62.3024	14.7698	
7	M3suCOM-7	82.00	18.00	180.00	3.85	3.50	1.00%		1053863	66.5874		15.0875	9.8523	
8	M3suCOM-8	81.00	16.80	168.00	3.96	3.20	1.10%		96.9175	59.5556		29.9777	12.6584	
9	M3suCOM-9	98.00	17.70	177.00	4.02	3.25	1.20%		119.21	52.5841		53.7303	13.6985	
10	M3suCOM-10	92.00	17.90	179.00	5.12	4.10	1.00%		114.903	61.4699		73.5222	15.9871	
11	M3suCOM-11	94.00	8.00	193.00	4.15	3.20	1.00%		64.7151	68.9876		17.5986	12.8001	
12	M3suCOM-12	89.00	9.00	195.00	4.12	3.02	1.10%		77.1409	51.6987		27.0503	11.0196	
13	M3suCOM-13	87.00	7.00	200.00	3.85	2.15	1.70%		75.7034	60.5874		35.1373	9.9851	
14	M3suCOM-14	95.00	9.50	199.00	3.80	3.05	0.80%		96.8977	50.0706		53.377	9.8852	
15	M3suCOM-15	75.00	6.00	197.00	4.25	3.12	1.10%		70.8004	54.4359		54.0783	14.1258	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**



**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 1

**ESTUDIO:** Corte

**SECCIÓN:** Inferior

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M1in s/n COR-1	120.00	10.00	187.00	6.10	4.80	1.30%	1.13%	48.24	13.96	13.04	0.21	126.19	31.9414
2	M1in s/n COR-2	115.00	12.00	190.00	5.90	4.20	1.70%		48.62	13.22		9.41	2.67	
3	M1in s/n COR-3	113.00	11.00	227.00	4.20	3.90	0.30%		35.67	10.92		0.46	53.41	
4	M1in s/n COR-4	113.00	9.00	215.00	6.25	5.10	1.15%		38.27	13.02		3.12	8.96	
5	M1in s/n COR-5	106.00	8.50	224.00	4.56	3.90	0.66%		29.21	11.22		8.54	2.94	
6	M1in s/n COR-6	112.00	10.00	230.00	6.23	5.20	1.03%		43.8	13.67		1.46	21.54	
7	M1in s/n COR-7	105.00	8.50	237.00	5.90	4.15	1.75%		39.32	15.26		4.59	7.88	
CON NUDO														
1	M1in c/n COR-1	114.00	11.00	234.00	6.23	5.40	0.83%	1.31%	34.62	12.29	13.09	19.47	1.48	2.7343
2	M1in c/n COR-2	120.00	15.00	233.00	7.25	5.60	1.65%		40.69	12.97		17.83	1.69	
3	M1in c/n COR-3	105.00	14.00	249.80	6.17	4.90	1.27%		32.89	11.02		15.43	1.78	
4	M1in c/n COR-4	120.00	11.00	240.00	6.10	4.98	1.12%		52.67	15.04		3.46	10.42	
5	M1in c/n COR-5	118.00	10.00	240.00	6.25	5.13	1.12%		34.52	11.2		24.82	1.08	
6	M1in c/n COR-6	123.00	11.00	237.00	5.68	4.12	1.56%		54.83	15.31		25.64	1.41	
7	M1in c/n COR-7	118.00	13.00	229.00	5.65	4.05	1.60%		42.55	13.81		24.68	1.28	

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 1

**ESTUDIO:** Corte

**SECCIÓN:** Media

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M2me s/n COR-1	102.00	8.00	178.00	5.24	3.16	2.08%	1.32%	43.37	18.36	13.50	0.46	70.97	12.3086
2	M2me s/n COR-2	102.00	8.50	178.00	4.51	3.05	1.46%		39.46	15.8		10.71	2.63	
3	M2me s/n COR-3	106.00	8.00	195.00	3.96	2.85	1.11%		38.7	15.71		4.59	6.68	
4	M2me s/n COR-4	96.00	7.50	178.00	3.95	2.80	1.15%		28.01	13.43		20.28	1.18	
5	M2me s/n COR-5	88.00	8.00	178.00	3.84	2.50	1.34%		24.25	10.72		15.46	1.23	
6	M2me s/n COR-6	105.00	9.00	198.00	4.16	3.10	1.06%		29.33	10.81		21.51	0.99	
7	M2me s/n COR-7	110.00	9.00	200.00	4.11	3.05	1.06%		27.7	9.7		7.82	2.48	
CON NUDO														
1	M2me c/n COR-1	86.00	6.00	200.00	5.20	3.95	1.25%	1.42%	25.41	16.85	16.98	2.72	12.37	15.2986
2	M2me c/n COR-2	107.00	8.50	180.00	4.85	3.84	1.01%		41.82	15.9		0.47	60.79	
3	M2me c/n COR-3	98.00	8.00	180.00	4.99	3.44	1.55%		40.56	17.93		22.8	1.42	
4	M2me c/n COR-4	93.00	7.00	179.00	5.06	3.56	1.50%		31.58	16.7		27.89	1.07	
5	M2me c/n COR-5	88.00	7.00	180.00	5.25	3.10	2.15%		29.21	16.4		2.07	14.23	
6	M2me c/n COR-6	99.00	8.00	180.00	4.81	2.98	1.83%		40.47	17.7		2.27	14.06	
7	M2me c/n COR-7	95.00	7.50	182.00	3.52	2.87	0.65%		35.8	17.37		10.05	3.15	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 1

**ESTUDIO:** Corte Superior

**SECCIÓN:**

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M2su s/n COR-1	90.00	6.00	178.00	3.55	2.35	1.20%	0.98%	25.15	15.89	14.39	16.87	1.86	15.4857
2	M2su s/n COR-2	84.00	6.00	201.00	4.51	311.00	1.40%		32.74	22.27		0.48	92.32	
3	M2su s/n COR-3	86.00	7.50	178.00	4.12	3.05	1.07%		17.36	9.38		12.63	1.34	
4	M2su s/n COR-4	85.00	7.00	178.00	3.95	2.97	0.98%		20.85	12.15		17.56	1.23	
5	M2su s/n COR-5	85.00	6.00	183.00	3.85	3.04	0.81%		12.51	8.4		11.21	1.48	
6	M2su s/n COR-6	88.00	6.00	198.50	3.80	3.10	0.70%		24.04	15.56		3.69	8.38	
7	M2su s/n COR-7	82.00	7.00	184.00	3.65	2.96	0.69%		28.22	17.11		19.02	1.79	
CON NUDO														
1	M2su c/n COR-1	105.00	7.50	192.00	3.40	2.90	0.50%	1.02%	27.38	11.92	12.10	1.55	14.73	7.9143
2	M2su c/n COR-2	98.00	8.00	192.00	4.12	2.98	1.14%		26.65	11.78		0.79	28.58	
3	M2su c/n COR-3	80.00	7.50	178.00	3.98	2.55	1.43%		16.69	9.77		7.34	2.37	
4	M2su c/n COR-4	85.00	7.00	180.00	3.65	2.45	1.20%		23.33	13.6		5.54	4.42	
5	M2su c/n COR-5	85.00	6.00	187.00	2.98	1.98	1.00%		21.99	14.77		12.44	2.22	
6	M2su c/n COR-6	98.00	7.00	198.00	3.62	2.90	0.72%		21.67	10.83		13.15	1.63	
7	M2su c/n COR-7	84.00	7.00	180.00	3.84	2.66	1.18%		20.38	12.04		14.9	1.45	

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 2

**ESTUDIO:** Corte

**SECCIÓN:** Inferior

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M2in s/n COR-1	133.00	15.00	227.00	5.95	4.70	1.25%	1.30%	86.1	25.47	22.46	19.62	2.95	2.5283
2	M2in s/n COR-2	129.00	16.00	240.00	6.15	4.51	1.64%		90.65	22.99		21.34	2.59	
3	M2in s/n COR-3	127.00	16.00	232.00	5.20	4.20	1.00%		98.96	25.5		26.54	2.23	
4	M2in s/n COR-4	125.00	11.00	235.00	6.10	5.23	0.87%		53.88	14.78		27.43	1.27	
5	M2in s/n COR-5	128.00	14.00	237.00	6.00	4.50	1.50%		78.8	20.51		25.61	1.9	
6	M2in s/n COR-6	126.00	13.00	237.00	4.65	3.10	1.55%		95.44	25.49		14.29	4.23	
CON NUDO														
1	M2in c/n COR-1	124.00	11.00	234.00	6.23	5.35	0.88%	1.19%	59.31	16.41	18.35	17.12	2.24	5.6943
2	M2in c/n COR-2	125.00	15.00	233.00	7.25	5.55	1.70%		84.48	22.37		11.13	4.68	
3	M2in c/n COR-3	128.00	14.00	249.80	6.17	5.23	0.94%		66.1	17.51		5.67	7.72	
4	M2in c/n COR-4	122.00	11.00	240.00	6.10	5.65	0.45%		62.56	17.62		19.98	2.12	
5	M2in c/n COR-5	125.00	10.00	240.00	6.25	5.10	1.15%		69.33	18.2		4.45	9.81	
6	M2in c/n COR-6	121.00	11.00	237.00	5.68	4.10	1.58%		59.54	16.92		15.31	2.62	
7	M2in c/n COR-7	128.50	13.00	229.00	5.65	4.01	1.64%		74.2	19.4		4.16	10.67	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 2

**ESTUDIO:** Corte

**SECCIÓN:** Media

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M2me s/n COR-1	103.00	8.50	218.00	4.50	3.20	1.30%	1.21%	33.51	13.28	14.09	19.01	1.52	2.3929
2	M2me s/n COR-2	104.00	10.00	198.00	4.55	3.44	1.11%		56.11	19		26.84	1.4	
3	M2me s/n COR-3	107.00	10.00	216.00	3.44	2.62	0.82%		40.22	13.2		5.58	5.11	
4	M2me s/n COR-4	94.00	8.50	196.00	3.99	2.91	1.08%		40.06	17.5		11.64	2.95	
5	M2me s/n COR-5	102.00	9.00	217.00	4.70	3.12	1.58%		34.83	13.25		9.43	3.05	
6	M2me s/n COR-6	201.00	8.00	197.00	5.22	3.14	2.08%		27.84	11.78		16.79	1.38	
7	M2me s/n COR-7	107.00	10.00	217.00	3.43	2.92	0.51%		32.36	10.62		17.19	1.34	
CON NUDO														
1	M2me c/n COR-1	95.00	8.00	196.00	4.20	3.22	0.98%	1.28%	36.63	16.75	15.47	13.49	2.43	3.0486
2	M2me c/n COR-2	107.00	8.50	211.00	3.50	2.14	1.36%		44.24	16.82		4.04	8.79	
3	M2me c/n COR-3	97.00	9.00	218.00	4.30	3.40	0.90%		28.76	11.56		18.78	1.34	
4	M2me c/n COR-4	103.00	9.00	217.00	4.60	3.15	1.45%		42.28	15.91		12.51	2.76	
5	M2me c/n COR-5	103.00	10.00	217.00	3.60	3.00	0.60%		28.44	9.74		15.43	1.37	
6	M2me c/n COR-6	103.00	9.00	214.00	5.10	3.10	2.00%		60.31	22.69		40.68	1.19	
7	M2me c/n COR-7	113.00	8.00	220.00	4.55	2.90	1.65%		39.04	14.79		9.42	3.46	

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 2

**ESTUDIO:** Corte Superior

**SECCIÓN:**

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M2su s/n COR-1	76.00	7.00	173.00	3.14	2.15	0.99%	1.06%	37.25	24.55	24.62	28.1	1.51	8.0008
2	M2su s/n COR-2	88.00	8.50	180.00	4.65	2.94	1.71%		44.85	21.13		9.37	4.06	
3	M2su s/n COR-3	90.00	7.00	178.00	3.90	3.01	0.89%		45.67	25.02		23.19	1.92	
4	M2su s/n COR-4	95.00	7.50	176.00	3.80	2.85	0.95%		41.2	19.98		24.24	1.45	
5	M2su s/n COR-5	67.00	7.00	180.00	4.10	3.12	0.98%		44.57	33.78		1.6	37.94	
6	M2su s/n COR-6	89.00	7.80	180.00	4.10	2.96	0.85%		43.25	23.25		25.5	1.125	
CON NUDO														
1	M2su c/n COR-1	94.00	7.50	180.00	3.51	2.55	0.96%	1.10%	46.01	22.58	23.25	11.67	3.48	3.0371
2	M2su c/n COR-2	68.00	6.00	173.00	4.15	3.10	1.05%		38.85	33.25		22.98	2.5	
3	M2su c/n COR-3	93.00	8.00	179.00	2.95	2.01	0.94%		33.49	15.68		5.08	5.52	
4	M2su c/n COR-4	91.00	8.00	175.00	3.90	2.03	1.87%		46.89	22.48		17.27	2.28	
5	M2su c/n COR-5	90.00	8.00	187.00	3.15	2.40	0.75%		46.54	22.58		13.05	3.24	
6	M2su c/n COR-6	83.00	7.00	184.00	4.50	3.21	1.29%		43.48	26.02		26.25	1.82	
7	M2su c/n COR-7	94.00	7.50	182.00	3.85	2.98	0.87%		41.1	20.17		15.18	2.42	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 3

**ESTUDIO:** Corte

**SECCIÓN:** Inferior

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M3in s/n COR-1	103.00	15.00	195.00	5.65	4.87	0.78%	1.53%	59.49	14.35	14.56	18.34	1.53	3.1033
2	M3in s/n COR-2	101.00	11.00	211.00	5.98	4.10	1.88%		54.54	17.54		3.5	10.57	
3	M3in s/n COR-3	103.00	11.00	200.00	6.10	3.54	2.56%		57.72	18.15		14.7	2.47	
4	M3in s/n COR-4	98.50	13.00	199.00	5.13	3.44	1.69%		54.01	15.47		20.45	1.51	
5	M3in s/n COR-5	104.00	14.00	199.00	5.10	3.98	1.12%		49.51	12.51		12.98	1.92	
6	M3in s/n COR-6	98.00	18.00	201.00	5.24	4.10	1.14%		42.27	9.34		30.45	0.62	
CON NUDO														
1	M3in c/n COR-1	100.00	12.00	202.00	5.60	4.18	1.42%	1.11%	54.19	16.33	16.96	13.35	2.47	3.8814
2	M3in c/n COR-2	98.50	11.50	200.00	6.10	4.90	1.20%		55.2	17.56		4.14	8.48	
3	M3in c/n COR-3	105.00	17.00	201.00	4.90	4.00	0.90%		80.83	17.2		9.88	3.5	
4	M3in c/n COR-4	105.00	16.00	202.00	5.97	4.90	1.07%		57.38	12.83		3.7	7	
5	M3in c/n COR-5	106.00	15.00	195.00	5.64	4.78	0.86%		72.91	17		23.78	1.39	
6	M3in c/n COR-6	104.00	15.00	189.00	5.20	4.15	1.05%		71.11	16.95		33.39	0.96	
7	M3in c/n COR-7	101.00	11.00	213.00	5.25	3.97	1.28%		64.83	20.84		13.17	3.37	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 3

**ESTUDIO:** Corte

**SECCIÓN:** Media

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M3me s/n COR-1	107.50	10.00	198.00	3.50	2.85	0.65%	1.13%	26.96	8.8	13.87	10.39	1.68	2.4843
2	M3me s/n COR-2	106.00	8.50	200.00	4.78	3.62	1.16%		48.13	18.4		12.36	2.99	
3	M3me s/n COR-3	104.00	8.50	198.00	4.90	3.41	1.49%		36.51	14.32		7	4.05	
4	M3me s/n COR-4	107.00	10.00	199.00	4.85	3.51	1.34%		37.12	12.18		11.54	2.1	
5	M3me s/n COR-5	109.00	10.00	196.00	4.95	3.66	1.29%		38.96	11.5		16.41	1.37	
6	M3me s/n COR-6	103.00	9.00	200.00	4.95	3.98	0.97%		43.81	16.49		14.04	2.35	
7	M3me s/n COR-7	110.00	10.00	207.00	4.78	3.80	0.98%		48.35	15.39		11.18	2.85	
CON NUDO														
1	M3me c/n COR-1	108.00	9.00	200.00	5.05	3.98	1.07%	1.03%	43.46	16.35	46.22	7.23	4.52	7.7850
2	M3me c/n COR-2	102.00	9.00	200.00	4.20	3.55	0.65%		47.4	18.03		10.09	3.57	
3	M3me c/n COR-3	103.00	8.00	210.00	4.16	3.40	0.76%		49.49	20.73		7.79	5.59	
4	M3me c/n COR-4	101.00	9.00	198.00	4.33	3.20	1.13%		41.21	15.84		14.51	2.16	
5	M3me c/n COR-5	111.00	10.00	200.00	4.55	3.15	1.40%		65.28	188.9		13.24	28.53	
6	M3me c/n COR-6	105.00	8.50	197.00	3.98	2.80	1.18%		45.01	17.47		14.68	2.34	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**



**PROYECTO:** Análisis de las propiedades de la caña guadua angustifolia kunth (GaK) como elemento estructural en la construcción de viviendas y su comportamiento durante eventos sísmicos

**TOMA POR:** Arq. Danny Alcivar Velez.

**PROBADA POR:** Lcdo. Klever Zambrano San Martin

**FECHA:** abr-23

**MUESTRA #:** 3

**ESTUDIO:** Corte Superior

**SECCIÓN:**

**FISCALIZADOR:**

**RESIDENTE:**

N°	CODIGO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR (mm)	ALTURA (mm)	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	FUERZA (kn)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIO	DESPLAZAMIENTO (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	PROMEDIO
SIN NUDO														
1	M3su s/n COR-1	64.00	7.00	200.00	3.66	2.80	0.86%	0.68%	33.59	26.79	24.50	5.75	9.32	3.3713
2	M3su s/n COR-2	91.00	7.50	203.00	4.33	2.90	1.43%		43.63	22.17		10.92	4.12	
3	M3su s/n COR-3	85.00	7.00	201.00	4.30	3.95	0.35%		48.71	36.92		24.81	2.99	
4	M3su s/n COR-4	67.00	7.00	191.90	3.15	2.88	0.27%		43.22	22.33		37.82	1.13	
5	M3su s/n COR-5	86.00	7.00	192.00	4.10	3.60	0.50%		42.15	18.71		11.95	1.15	
6	M3su s/n COR-6	75.00	7.50	198.00	3.40	2.90	0.65%		38.45	20.1		9.5	1.518	
CON NUDO														
1	M3su c/n COR-1	81.00	7.00	177.00	3.45	2.88	0.57%	1.11%	29.2367	17.9656	18.66	23.62	1.35	10.2171
2	M3su c/n COR-2	90.50	7.00	178.00	3.98	2.95	1.03%		32.5626	17.7331		0.51	61.41	
3	M3su c/n COR-3	89.00	7.00	175.00	3.65	2.65	1.00%		27.7502	15.3888		19.3	1.4	
4	M3su c/n COR-4	75.00	7.00	178.00	3.75	2.43	1.32%		26.9608	17.8486		21.65	1.47	
5	M3su c/n COR-5	67.00	7.00	180.00	3.55	2.20	1.35%		27.1213	20.5547		17.88	2.07	
6	M3su c/n COR-6	83.00	7.00	179.00	4.12	3.10	1.02%		36.4083	21.784		17.24	2.26	
7	M3su c/n COR-7	75.00	7.00	179.00	4.51	3.02	1.49%		28.8196	19.3708		22.23	1.56	

ING. GABRIEL SABANDO BRAVO  
**RESPONSABLE TECNICO**

## Anexo 2: Certificados de calidad de los materiales utilizados



Versa Construcciones S.A.  
Manabí - Rocafuerte "Sector El Cerezo"  
Vía Portoviejo - Crucita -0.904975, -  
80.499917

# Centro de preservado "Versa Construcciones" Especificaciones Técnicas del Material Manabí-Rocafuerte

De mis consideraciones

A través de la presente, doy sustento del proceso que mantenemos con la caña guadua. Están en su conocimiento que trabajamos con la especie *Guadua Angustifolia* Kunth, con el bio tipo Macana, dicha especie cumple con las especificaciones que usted requiere en la presentación de rolliza y picada.

- Diámetros de 10cm hasta 12cm por 6mt de largo en caña rolliza.
- Anchos de 25 a 35cm y largo de 6mt en caña picada.
- Madurez necesaria para ser utilizada de forma estructural.
- Preservado por inmersión acorde a la NEC GAK (Normativa Ecuatoriana de Construcción en *Guadua Angustifolia* Kunth).

El proceso de preservado que mantenemos es un proceso que nos llega a tomar un mes detallo registro fotográfico del proceso.

1. Recepción y selección de culmos para rolliza y picada
- 2.



3. Limpieza de las cañas con la utilización de lana metálica #6-8





4. Inmersión en el tanque con sales de ácido bórico y bórax.



El proceso de preservado se realiza en frío, por ende, toma de 5 a 6 días preservar un lote de caña en las sales de boro.

5. Proceso de Blanqueamiento o secado al sol por 2 a 3 semanas.



Debido a que las fibras del bambú van en sentido longitudinal, se dejan de 2 a 3 semanas bajo el sol para poder obtener ese tono ámbar característico del bambú "seco", el material se rota cada 2 días para tener un secado homogéneo en el bambú, el resto del proceso de secado se continua bajo sombra en bodega.

Destacamos que el material es higroscópico, lo cual según la ubicación en donde vaya a ser usado para construir, este se hidrata o deshidrata, hasta encontrar su punto de equilibrio que va relacionado con:

- Humedad del relativa del medio y la temperatura.

A su vez indico que dentro de la NEC GAK se contempla la dosificación de sales, lo cual menciona una solución al 4% de sales por cada 96lts de agua (2kg de ácido bórico y 2 kg de bórax), este proceso de preservado prolonga la durabilidad de la caña de 20 a 40 años con el respectivo mantenimiento de la estructura, cabe recalcar que las sales aprobadas por la NEC GAK son perseverantes para la caña mas no un termicida. Adicional al proceso con sales de boro, adicionamos un termicida amplio espectro para complementar el proceso.

La garantía del producto es en base al proceso de preservado, mas no por el daño por agentes exógenos como pueden ser:

1. Pudrición por humedad
2. Exposición al sol
3. Impactos de alguna índole en obra o en el transporte.

Adjunto una parte de la NEC GAK como respaldo a lo ya mencionado.

- 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 substancias 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.
- 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.

17

Espero el documento este en conforme a lo requerido

Saludos.

Portoviejo, 11 de abril de 2023

## CERTIFICADO DE CALIDAD

Por medio del presente, yo César Andrés Cabrera Andrade, con cédula de identidad 1315606408 y registro SENESCYT 1007-2019-2038222 como arquitecto y técnico especializado en el uso del bambú en construcciones domiciliarias, certifico que el bambú otorgado por el Señor Nilo Joaquín Palma Quevedo, de su centro de acopio y preservado, cumple con los siguientes parámetros:

### **Con respecto a la especie:**

El bambú entregado pertenece a la especie Guadúa Angustifolia Kunth, de la variedad "Caña Brava".

### **Con respecto a la cosecha:**

Los culmos de bambú son maduros, de alrededor de 5 años de edad. El corte se realizó de acuerdo al calendario lunar, en un momento de cuarto menguante.

### **Con respecto al preservado:**

Se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la NEC-SE-GUADUA. Se realizó un preservado por inmersión en piscinas con solución de bórax y ácido bórico al 5%, inmersos en la solución durante 5 días. El secado se realizó de manera natural, en tijeras, hasta que el bambú obtuviera un porcentaje de humedad de entre 20% a 30%, para luego ser almacenado. Al momento de la construcción de los kit, el bambú mantiene un contenido de humedad menor al 20%, lo que permite su adaptación a la humedad del ambiente de cada localidad, logrando bajar su contenido de humedad del 12% a 15%, dependiendo del entorno.

El contratista puede hacer uso del presente certificado a su conveniencia.

Responsabilidad técnica:

César Andrés Cabrera Andrade  
Arquitecto  
CI: 1315606408  
SENESCYT: 1007-2019-2038222

Nilo Joaquín Palma Quevedo  
Dueño del Centro de Acopio y Preservado  
de Bambú  
RUC: 1308186887-001

## Anexo Fotográfico



Culmos de bambú previo al ingreso en la piscina



Preservado de Culmos de bambú en solución de bórax y ácido bórico



Secado de culmos de bambú en tijeras al sol



Almacenado de culmos preservados bajo sombra y elevados del suelo





Porcentaje de humedad de los culmos al momento de la entrega

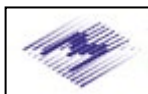


Prueba de curcua para comprobar la calidad del preservado, lazo izquierdo, culmo de bambú preservado, dado derecho, culmo de bambú sin preservar



**Anexo 3: Certificados de calibración de los equipos usados en la experimentación**

## **CERTIFICADO TÉCNICO DE AJUSTES DE CALIBRACIÓN**



*Informe No:* LABOTEC-0123-FM16-2801  
*Fecha de emisión:* 02 de febrero del 2023

**CLIENTE:** LABOTEC  
**UBICACIÓN:** Proyecto Gran Bay, Barbasquillo, Manta - Manabí  
**FECHA DE CALIBRACIÓN:** 28 de enero del 2023  
**CONDICIONES AMBIENTALES:** 27 °C +/- 2 °C; 45 +/- 5 % HR

### **IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO BAJO PRUEBA**

<b>PRENSA HIDRÁULICA UNIAXIAL</b>		<b>UNIDAD DE LECTURA</b>	
<b>MARCA:</b>	SOILTEST	<b>MARCA:</b>	FIDELITY
<b>MODELO:</b>	CT-710	<b>MODELO:</b>	FM16
<b>SERIE:</b>	1110AP69347	<b>SERIE:</b>	D073FM165010
<b>CAPACIDAD:</b>	100 000 kgf	<b>RESOLUCIÓN:</b>	10 kgf

### **IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO DE CALIBRACIÓN**

#### **UNIDAD DIGITAL DE LECTURA**

**MARCA:** MATEST  
**MODELO:** C138PN295  
**SERIE:** C138PN295/AI/0001  
**RESOLUCIÓN:** 0,000 1 kN / 0,001 kN

#### **CELDA DE CARGA 3 000 kN**

**MARCA:** MATEST  
**MODELO:** C140-08  
**SERIE:** C140-08/AI/0006

#### **RANGO de 20 kN a 200 kN**

**Certificado INEN:** LNM-F-202000053D  
**Fecha de calibración:** 2020/08/26

#### **RANGO de 300 kN a 3 000kN**

**Certificado INEN:** LNM-F-202000054D  
**Fecha de calibración:** 2020/08/26  
**Certificado ACCREDIA:** LAT 093 55819F  
**Fecha de calibración:** 2019/03/15

### **REFERENCIAS Y NORMAS UTILIZADAS**

**DOCUMENTOS:** Norma ASTM E74-04: Standard Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines.

**CRITERIO DE ACEPTACIÓN:** Error máximo aceptable +/-1 % de la carga aplicada (ASTM E4-03)

**VIGENCIA:** Se recomienda realizar una nueva verificación y/o ajustes de calibración en 12 meses o menos y no más de 18 meses, cuando el equipo es movido a otro sitio y/o se tenga duda de su precisión (ASTM E4-03)

### **DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD**

*De acuerdo con los resultados obtenidos y tolerancias estimadas el equipo se encuentra trabajando:*

**Correctamente:**  X       **En Tolerancias:**  X       **Uso Condicionado:**    

**OBSERVACIONES:** Se realiza revisión técnica, ajustes y verificación de la calibración. Se utiliza una celda de carga digital certificada de 3000 kN con trazabilidad a ACCREDIA de Italia y al INEN.

**PROCEDIMIENTO UTILIZADO:** P-MVC-PRENSA-010-REV.11

**Realizado:** Ing. Andrés Méndez B.  
**ASISTENCIA TÉCNICA**

**Firma:**



## HOJA DE DATOS DE VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN

IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO BAJO PRUEBA			
<b>UNIDAD DIGITAL DE LECTURA</b>		<b>PRENSA HIDRÁULICA UNIAXIAL</b>	
<b>MARCA:</b>	SOILTEST	<b>MARCA:</b>	FIDELITY
<b>MODELO:</b>	CT-710	<b>MODELO:</b>	FM16
<b>SERIE:</b>	1110AP69347	<b>SERIE:</b>	D073FM165010
<b>RESOLUCIÓN:</b>	100 000 kgf	<b>CAPACIDAD:</b>	10 kgf

### LECTURAS OBTENIDAS ANTES DE LOS AJUSTES DE CALIBRACIÓN

LECTURAS	PRENSA	LECTURAS PATRÓN	ERROR	ERROR	EMP
FUERZA	APLICADA	TEST 1	ABSOLUTO	%	%
kgf	kN	kgf	kgf		
5000	49,03	5040	40	-0,80	1,0
10000	98,07	9985	15	0,15	1,0
20000	196,14	20102	102	-0,51	1,0
30000	294,20	30084	84	-0,28	1,0
40000	392,27	40200	200	-0,50	1,0
50000	490,34	50224	224	-0,45	1,0
60000	588,41	60461	461	-0,77	1,0
70000	686,48	70506	506	-0,72	1,0
80000	784,54	80614	614	-0,77	1,0

EMP=Error Máximo Permisible



### LECTURAS OBTENIDAS DESPUÉS DE LOS AJUSTES DE CALIBRACIÓN

LECTURAS PRENSA		CELDA DIGITAL PATRÓN 3 000 kN				ERROR	INCERTIDUMBRE	ERROR	EMP
FUERZA	APLICADA	TEST 1	TEST 2	TEST 3	PROMEDIO	PROMEDIO	U (k=2)	%	%
kgf	kN	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf		
5000	49,03	5023	5015	5007	5015	-15,00	+/- 16,78	-0,30	1,0
10000	98,06	10009	10013	10005	10009	-9,00	+/- 12,39	-0,09	1,0
20000	196,12	20012	20014	20007	20011	-11,00	+/- 19,53	-0,06	1,0
30000	294,18	30033	30010	30005	30016	-16,00	+/- 40,05	-0,05	1,0
40000	392,23	40043	40063	40044	40050	-50,00	+/- 41,65	-0,13	1,0
50000	490,29	50043	50089	50042	50058	-58,00	+/- 68,92	-0,12	1,0
60000	588,35	60044	60114	60079	60079	-79,00	+/- 86,73	-0,13	1,0
70000	686,41	70083	70082	70015	70060	-60,00	+/- 97,79	-0,09	1,0
80000	784,47	80096	80088	80059	80081	-81,00	+/- 77,27	-0,10	1,0

EMP=Error Máximo Permissible

Curva: (Error +/- Incertidumbre) en % vs (Fuerza Aplicada Celda Patrón) en kN



EMP=Error Máximo Permissible



## EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



# LABORATORIO NACIONAL DE METROLOGÍA - LNM

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Fuerza

**Número de Certificado:** LNM-F-202000053D

**Adhesivo N°:** 07698

**Fecha de Calibración:** 2020-08-26

**Equipo/Instrumento de Medida:** CELDA DE CARGA

**Dispositivo de lectura:** DIGITAL

**Marca:** MATEST

**Modelo o Tipo:** C140.08C140.08

**Serie:** C140-08/AI/0006 - 18-26815

**Intervalo de Medición:** DESDE 20 kN HASTA 200 kN

COMPRESIÓN

**Código de Identificación:** CELDA 1

**Propietario:** METREXLAB EQUIPOS TECNICOS Y SERVICIO ESPECIAL

**Dirección:** AV. ELOY ALFARO N44-349. D.M.QUITO - PICHINCHA

**Observaciones:** El presente documento se emite de manera electrónica.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización, realizó en el LNM, la calibración del instrumento arriba descrito, utilizando Patrones de Referencia trazables a la unidad de Fuerza del Sistema Internacional de Unidades (SI) al Patrón Nacional, pertenecientes al Laboratorio Nacional de Metrología.

La calibración fue realizada bajo un Sistema de Gestión de la Calidad conforme con la norma internacional ISO/IEC 17025:2017.

Los resultados, incertidumbres y condiciones en que se realizó la calibración del equipo/instrumento de medida arriba descrito, se exponen en las páginas siguientes y son parte del presente documento.

El LNM no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento calibrado.

Es responsabilidad del cliente establecer la nueva fecha de calibración del equipo/instrumento de medida. El tiempo de validez de los resultados contenidos en este Certificado, depende tanto de las características del equipo/instrumento de medida como de las prácticas de manejo y uso.

El usuario está obligado a tener el equipo/instrumento de medida recalibrado en los intervalos analizados para su control apropiado.

El presente certificado de calibración, certifica los valores obtenidos expresados como los resultados de las calibraciones y no constituye un certificado de aptitud para el uso del equipo/instrumento de medida.

Este documento no significa certificación de calidad y no debe ser utilizado con fines publicitarios. Prohibida su reproducción parcial. La reproducción total deberá hacerse con la autorización escrita de la Dirección Ejecutiva, al igual que la emisión de copias certificadas.

**Fecha de emisión:** 2020-10-13

Ing. Sebastián Vicente  
**Responsable de División de Presión y Fuerza**

**Propietario: METREXLAB EQUIPOS TECNICOS Y SERVICIO ESPECIAL**
**Número de Certificado: LNM-F-202000053D**
**Equipo/Instrumento de Medida: CELDA DE CARGA**
**Fecha de Calibración: 2020-08-26**

**INCERTIDUMBRE DE MEDIDA:** La incertidumbre de medida obtenida equivale al doble de la incertidumbre combinada, es decir cubre un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 % asumiendo una distribución normal, y se la estimó de acuerdo a la Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM) publicada por la ISO.

**PROCEDIMIENTO UTILIZADO:** Procedimiento LNM PC 39 "Procedimiento de calibración de máquinas de ensayos uniaxiales", basado en la Norma Internacional ISO 7500-1

**INTERVALO DE CALIBRACIÓN:** DESDE 20 kN HASTA 200 kN **COMPRESIÓN**  
**Rango:** 200 kN **División de Escala:** 0,02 kN

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)
18,85	19,44

**PATRONES Y EQUIPOS UTILIZADOS:**
**Celda de Carga**
**Marca:** HBM **Serie:** 142530042 **Certificado:** 33756 DKD-K-0010

**Amplificador MGCplus; ML38B**
**Marca:** HBM **Serie:** 801128372 **Certificado:** 24944 DKD-K-00101

**TABLA DE CALIBRACIÓN EN UNIDADES DEL INSTRUMENTO**

Fuerza Indicada kN	Fuerza Verdadera Aplicada					Error kN	U k=2 kN	U k=2 %
	1ª serie kN	2ª serie kN	3ª serie kN	4ª serie kN	Promedio kN			
0,00	0,00	0,00	0,00	*****	0,00	0,00	*****	*****
20,00	20,28	20,31	20,29	*****	20,29	-0,29	0,02	0,11
40,00	40,47	40,47	40,44	*****	40,46	-0,46	0,03	0,07
60,00	60,63	60,64	60,62	*****	60,63	-0,63	0,02	0,04
80,00	80,82	80,83	80,78	*****	80,81	-0,81	0,04	0,05
100,00	101,03	101,03	100,97	*****	101,01	-1,01	0,05	0,05
120,00	121,21	121,22	121,18	*****	121,20	-1,20	0,04	0,04
140,00	141,41	141,41	141,39	*****	141,40	-1,40	0,04	0,03
160,00	161,60	161,61	161,57	*****	161,59	-1,59	0,05	0,03
180,00	181,73	181,73	181,73	*****	181,73	-1,73	0,05	0,03
200,00	201,90	201,86	201,84	*****	201,87	-1,87	0,07	0,03

**TABLA DE PARÁMETROS RELATIVOS SEGÚN LA NORMA ISO 7500-1**

Fuerza Indicada kN	Exactitud q (%)	Repetibi. b (%)	Reversibili. v (%)	Cero f0 (%)	Resolución relativa a (%)	Clase de exactitud
20,00	1,45	0,13	*****	0,00	0,10	*****
40,00	1,13	0,08	*****	0,00	0,05	*****
60,00	1,04	0,04	*****	0,00	0,03	*****
80,00	1,00	0,06	*****	0,00	0,02	*****
100,00	1,00	0,06	*****	0,00	0,02	*****
120,00	0,99	0,04	*****	0,00	0,02	*****
140,00	0,99	0,01	*****	0,00	0,01	*****
160,00	0,99	0,03	*****	0,00	0,01	*****
180,00	0,95	0,00	*****	0,00	0,01	*****
200,00	0,92	0,03	*****	0,00	0,01	*****

Calibrado por: \_\_\_\_\_

 Sr. Wilson Angulo Cruz  
 Técnico de Laboratorio

Revisado por: \_\_\_\_\_

 Ing. Sebastián Vicente  
 Responsable de División de P. y F.

# LABORATORIO NACIONAL DE METROLOGÍA - LNM

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Fuerza

**Número de Certificado:** LNM-F-202000054D

**Adhesivo N°:** 07700

**Fecha de Calibración:** 2020-08-26

**Equipo/Instrumento de Medida:** CELDA DE CARGA

**Dispositivo de lectura:** DIGITAL

**Marca:** MATEST

**Modelo o Tipo:** C140.08C140.08

**Serie:** C140-08/AI/0006 - 18-26815

**Intervalo de Medición:** DESDE 300 kN HASTA 3000 kN

COMPRESIÓN

**Código de Identificación:** CELDA 1

**Propietario:** METREXLAB EQUIPOS TECNICOS Y SERVICIO ESPECIAL

**Dirección:** AV. ELOY ALFARO N44-349. D.M.QUITO - PICHINCHA

**Observaciones:** El presente documento se emite de manera electrónica.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización, realizó en el LNM, la calibración del instrumento arriba descrito, utilizando Patrones de Referencia trazables a la unidad de Fuerza del Sistema Internacional de Unidades (SI) al Patrón Nacional, pertenecientes al Laboratorio Nacional de Metrología.

La calibración fue realizada bajo un Sistema de Gestión de la Calidad conforme con la norma internacional ISO/IEC 17025:2017.

Los resultados, incertidumbres y condiciones en que se realizó la calibración del equipo/instrumento de medida arriba descrito, se exponen en las páginas siguientes y son parte del presente documento.

El LNM no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento calibrado.

Es responsabilidad del cliente establecer la nueva fecha de calibración del equipo/instrumento de medida. El tiempo de validez de los resultados contenidos en este Certificado, depende tanto de las características del equipo/instrumento de medida como de las prácticas de manejo y uso.

El usuario está obligado a tener el equipo/instrumento de medida recalibrado en los intervalos analizados para su control apropiado.

El presente certificado de calibración, certifica los valores obtenidos expresados como los resultados de las calibraciones y no constituye un certificado de aptitud para el uso del equipo/instrumento de medida.

Este documento no significa certificación de calidad y no debe ser utilizado con fines publicitarios. Prohibida su reproducción parcial. La reproducción total deberá hacerse con la autorización escrita de la Dirección Ejecutiva, al igual que la emisión de copias certificadas.

**Fecha de emisión:** 2020-10-07

Ing. Sebastián Vicente  
**Responsable de División de Presión y Fuerza**



**Propietario: METREXLAB EQUIPOS TECNICOS Y SERVICIO ESPECIAL**
**Número de Certificado: LNM-F-202000054D**
**Equipo/Instrumento de Medida: CELDA DE CARGA**
**Fecha de Calibración: 2020-08-26**

**INCERTIDUMBRE DE MEDIDA:** La incertidumbre de medida obtenida equivale al doble de la incertidumbre combinada, es decir cubre un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 % asumiendo una distribución normal, y se la estimó de acuerdo a la Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM) publicada por la ISO.

**PROCEDIMIENTO UTILIZADO:** Procedimiento LNM PC 39 "Procedimiento de calibración de máquinas de ensayos uniaxiales", basado en la Norma Internacional ISO 7500-1

**INTERVALO DE CALIBRACIÓN:** DESDE 300 kN HASTA 3000 kN **COMPRESIÓN**  
**Rango:** 3000 kN **División de Escala:** 0,02 kN

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)
18,14	20,14

**PATRONES Y EQUIPOS UTILIZADOS:**
**Celda de Carga**
**Marca:** HBM **Serie:** 00284RUT **Certificado:** 12636 PTB 18

**Amplificador MGCplus; ML38B**
**Marca:** HBM **Serie:** 801128372 **Certificado:** 24944 DKD-K-00101

**TABLA DE CALIBRACIÓN EN UNIDADES DEL INSTRUMENTO**

Fuerza Indicada kN	Fuerza Verdadera Aplicada					Error kN	U k=2 kN	U k=2 %
	1ª serie kN	2ª serie kN	3ª serie kN	4ª serie kN	Promedio kN			
0,00	0,00	0,00	0,00	*****	0,00	0,00	*****	*****
300,00	299,89	299,87	299,79	*****	299,85	0,15	0,19	0,06
600,00	599,73	599,68	599,59	*****	599,67	0,33	0,36	0,06
900,00	899,66	899,54	899,49	*****	899,57	0,43	0,53	0,06
1200,00	1199,76	1199,61	1199,55	*****	1199,64	0,36	0,71	0,06
1500,00	1499,89	1499,69	1499,62	*****	1499,73	0,27	0,89	0,06
1800,00	1799,89	1799,74	1799,68	*****	1799,77	0,23	1,05	0,06
2100,00	2099,97	2099,78	2099,62	*****	2099,79	0,21	1,24	0,06
2400,00	2399,92	2399,68	2399,48	*****	2399,69	0,31	1,42	0,06
2700,00	2699,99	2699,71	2699,54	*****	2699,74	0,26	1,59	0,06
3000,00	3000,13	2999,94	2999,74	*****	2999,94	0,06	1,76	0,06

**TABLA DE PARÁMETROS RELATIVOS SEGÚN LA NORMA ISO 7500-1**

Fuerza Indicada kN	Exactitud q (%)	Repetibi. b (%)	Reversibili. v (%)	Cero f0 (%)	Resolución relativa a (%)	Clase de exactitud
300,00	0,05	0,03	*****	0,00	0,01	*****
600,00	0,06	0,02	*****	0,00	0,00	*****
900,00	0,05	0,02	*****	0,00	0,00	*****
1200,00	0,03	0,02	*****	0,00	0,00	*****
1500,00	0,02	0,02	*****	0,00	0,00	*****
1800,00	0,01	0,01	*****	0,00	0,00	*****
2100,00	0,01	0,02	*****	0,00	0,00	*****
2400,00	0,01	0,02	*****	0,00	0,00	*****
2700,00	0,01	0,02	*****	0,00	0,00	*****
3000,00	0,00	0,01	*****	0,00	0,00	*****

Calibrado por: \_\_\_\_\_

 Sr. Wilson Angulo Cruz  
 Técnico de Laboratorio

Revisado por: \_\_\_\_\_

 Ing. Sebastián Vicente  
 Responsable de División de P. y F.

#### Anexo 4: Imágenes de trabajo de campo y de laboratorio







