

GUADUA, MATERIAL SOSTENIBLE APLICADO A VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL (VIS)

Maza, B.; Rodríguez, D.

Universidad Técnica Particular de Loja

bhmaza@utpl.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación muestra la caracterización física mecánica de la especie Guadua Angustifolia Kunth de la parroquia Malacatos en la provincia de Loja, por medio de ensayos de laboratorio basados en las normativas ISO 22157 e ISO 22156, con la finalidad de aplicarla como material principal de construcción para viviendas de interés social mediante el uso de software de modelación estructural basado en análisis de elementos finitos, con resultados y comportamientos estructurales correctos. Adicionalmente se presenta el análisis de costos de construcción de analizando la posibilidad de ingresar el cultivo y obtención de caña guadua a la cadena de producción de viviendas de interés social basadas en este material.

Palabras clave: Bamboo, guadua, sostenibilidad, construcción, vivienda de interés social.

ABSTRACT

This project shows the physical characterization of the species Guadua Angustifolia Kunth from the Malacatos parish in the province of Loja, through laboratory tests based on ISO 22157 and ISO 22156, with the purpose of applying it as the main building material for housing of social interest through the use of structural modeling software based on finite element analysis, with correct structural results and behaviors. Additionally, the analysis of construction costs is presented, analyzing the possibility of entering the cultivation and obtaining of cane guadua to the chain of production of social housing based on this material.

Keywords: Bamboo, guadua, sustainability, construction, housing social interest.

INTRODUCCIÓN

Para el año 2015, en el Ecuador, de los 3.8 millones de hogares ecuatorianos, el 45% de estos habita en viviendas inadecuadas. Este porcentaje abarca un 36% de hogares que sufren déficit cualitativo, y un 9% de los hogares que sufren déficit cuantitativo (Campoverde, 2015). De la misma manera Navarro Moreno (2012) reconoce la falta de vivienda como el origen de los más graves problemas sociales: el hacinamiento, la insalubridad, invasiones, delincuencia, entre otros son algunos de los problemas que tienen su origen dentro del déficit habitacional.

El sector de la construcción en busca de cubrir la demanda del déficit habitacional en Ecuador, se obliga a acelerar la implantación de nuevos conjuntos habitacionales mediante Proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS); sin embargo Builes Hoyos y Giraldo Montoya (2011) indica que el uso de las tecnologías actuales como hormigón y acero acarrea grandes costos y contaminación al planeta, al ser el sector de la construcción uno de los sectores que más recursos naturales consume y que en el desarrollo de sus procesos es el que más contamina al medioambiente, dejando en claro dos problemáticas adicionales: una problemática económica y otra no mucho menos importante, una problemática ambiental.

Para darle frente a estas tres problemáticas: social, económica y ambiental, el presente trabajo planea implementar la *Guadua Angustifolia Kunth* (GAK), un bambusoide de la familia de las gramíneas y endémica del Ecuador, como una solución integral y sostenible en la implantación de viviendas de interés social basadas en este material.

La *Guadua Angustifolia Kunth* posee características físicas que lo hacen un material apropiado para construcciones y mucho más aun por su relación resistencia/densidad que incluso puede compararse con la del acero, ganándose el calificativo entre muchos investigadores del "acero vegetal" (Salazar y Andrade, 2004). La capacidad para disipar energía y admitir una mayor flexión lo hace un excelente material para construcciones sismo resistentes (Villegas, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización físico mecánica de los culmos de guadua corresponden a especímenes extraídos de la parroquia Malacatos, en la provincia de Loja. Las tareas de corte han de realizarse siguiendo las recomendaciones dadas por personal experimentado en el tema y apoyándose en la Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-11 - Utilización de la *Guadua Angustifolia Kunth* en la Construcción otorgada por el MIDUVI & CAMICON (2011), que presenta varias recomendaciones al momento de identificar y realizar el corte de los culmos.

La caracterización de los parámetros físicos mecánicos viene dado por las normativas internacionales:

- ISO 22157-1. (2004). Bamboo - Determination of physical and mechanical properties Part 1: Requirements.
- ISO/TR 22157-2. (2004). Bamboo - Determination of physical and mechanical properties – Part 2: Laboratory Manual.

Para la obtención de los esfuerzos a flexión de las probetas se recurre a la norma técnica alemana DIN 52186 Testing of wood; bending test, la misma que permite la realización de los ensayos mediante especímenes más pequeños que se adapten al equipo existente en laboratorio.

Para el diseño de la vivienda de interés social (VIS) se debe apegar a los lineamientos otorgados por el MIDUVI, en cuanto a requerimientos arquitectónicos, estructurales, técnicos y económicos que debe poseer toda estructura para poder ser considerada como una VIS. Una vez definidas los esfuerzos a los que son sometidos los diferentes elementos de la estructura, se recurre al Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-Guadua - Estructuras de Guadua entregada por el MIDUVI en el año 2017.

Determinación de parámetros físico mecánicos de la guadua angustikolia kunth

Compresión

El ensayo de compresión paralelo a la fibra permite obtener el esfuerzo ultimo a compresión (carga última/área de la sección) de la Guadua Angustifolia Kunth.

El equipo utilizado una prensa para prueba a compresión calibrada a una velocidad de 2.5 KN/s y un deformímetro tipo reloj comparador analógico con una precisión de 0.01mm adaptado a la máquina de compresión.

Para el módulo de elasticidad a compresión se toma medidas cada 0.05mm de deformación, obteniendo una cantidad considerable de puntos para construir detalladamente la curva de esfuerzo deformación de cada probeta.

El esfuerzo último a compresión de los especímenes se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad (1)$$

En donde:

σ_{ult} = Esfuerzo último a compresión, en MPa (N/mm^2)

F_{ult} = Carga ultima de rotura de probeta, en N

A = Área de la sección transversal de la probeta, en mm^2

Corte paralelo a la fibra

La determinación de la resistencia última al esfuerzo cortante paralelo a las fibras en probetas de culmos de guadua se ejecutó en la misma prensa utilizada en el ensayo a compresión apoyando esta vez la probeta sobre dos cuartas partes de su superficie opuestas entre sí en su parte inferior y aplicando la carga en la parte superior sobre las otras dos cuartas partes restantes de su superficie.

La probeta debe estar centrada con respecto al cabezal móvil y también respecto a los cuartos de soporte de carga, para lograr una distribución uniforme de la carga.

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

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t \times L)} \quad (2)$$

En donde

τ_{ult} = Esfuerzo último a corte, en MPa (N/mm^2).

F_{ult} = Carga ultima de rotura de probeta, en N.

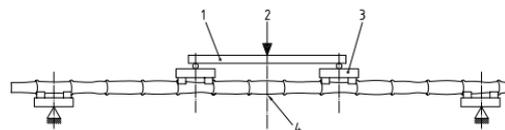
$\sum(t \times L)$ = Sumatoria de los cuatro productos de t y L, en mm^2 .

Flexión

La obtención del esfuerzo último a flexión se realizó acorde a la normativa DIN 52 186 utilizada para el ensayo de maderas aserrables en Europa, permitiendo su aplicación en bambú maderable.

A diferencia del ensayo a flexión acorde a ISO 22157 donde se requiere determinar la capacidad de flexión del culmo completo de la guadua mediante un ensayo de 4 puntos como se muestra en la normativa DIN 52 186 que permite el ensayo de especímenes más pequeños de bambú obtenidos del mismo culmo de la guadua, adaptándose así a los equipos presentes en el laboratorio de la UTP. La figura 1 muestra el esquema de ensayo a flexión para guadua rolliza.

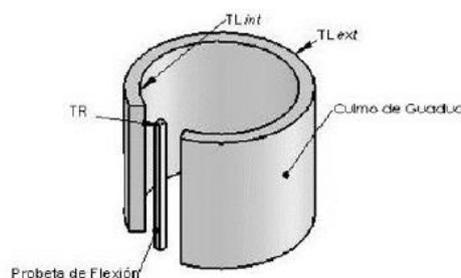
Figura 1. Esquema de ensayo a flexión para guadua rolliza



Fuente: NTC 5525 (2007).

Las probetas para el ensayo deben ser extraídas del culmo de la guadua como se muestra en la Figura 2 y sus medidas deben ser tomadas y tabuladas con una precisión de 0.1 mm.

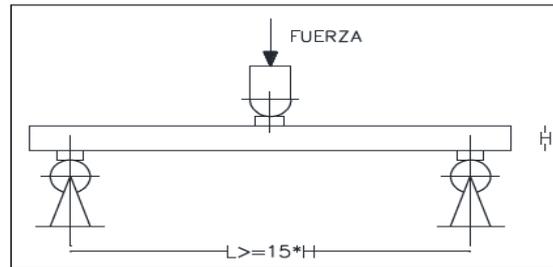
Figura 2. Extracción de probetas a flexión



Fuente: Pilco Díaz (2016).

El ensayo tiene como objetivo determinar la capacidad a flexión de la guadua mediante un ensayo de flexión de 3 puntos como se muestra en la Figura 3, además de obtener la curva de carga frente a la deflexión vertical y el módulo de elasticidad a flexión del material.

Figura 3. Esquema de ensayo a flexión de tres puntos



Fuente: Pilco Díaz (2016).

La normativa DIN 52 186 presenta la siguiente expresión para la obtención del esfuerzo último a flexión:

$$\sigma_{ult} = \frac{3 \times F_{ult} \times l_{apoyos}}{2 \times b \times h^2} \quad (3)$$

Esta expresión corresponde al esfuerzo máximo a flexión de una sección rectangular de Base "b" y Altura "h". Sin embargo las probetas al no ser del todo rectangulares su inercia fue obtenida mediante un software de tipo CAD, y así aplicar las ecuaciones básicas basadas en la resistencia de materiales:

$$\sigma_{ult} = \frac{M_{ult}}{S} \quad (4)$$

Donde:

M_{ult} = Momento último de fallo de la probeta, en N.mm

S = Módulo de sección de la probeta, en mm³

σ_{ult} = Esfuerzo último a flexión, en MPa (N/mm²)

El momento último en una viga simplemente apoyada corresponde a:

$$M_{ult} = \frac{F_{ult} \times l_{apoyos}}{4} \quad (5)$$

Donde:

F_{ult} = Carga última aplicada sobre la probeta, en N

l_{apoyos} = Longitud entre los apoyos de la probeta, en mm.

Finalmente el módulo de elasticidad a flexión se obtiene de la ecuación de flecha máxima en el centro de una viga simplemente apoyada cuya expresión es:

$$\delta_{max} = \frac{F_{ult} L^3}{48EI} \quad (6)$$

De la cual despejando el módulo de elasticidad se obtiene:

$$E = \frac{F_{ult} L^3}{48 \cdot \delta_{max} \cdot I} \quad (7)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad a flexión, en MPa.

F_{ult} = Carga ultima aplicada en el centro de la luz, en N.

L = Luz máxima entre apoyos, en mm.

δ_{max} = Flecha o deformación máxima medida en el ensayo, en mm.

I = Inercia de la probeta, en mm^4 .

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 1. Resultados de las probetas ensayadas a compresión

RESUMEN DE ENSAYOS A COMPRESIÓN				
NOMBRE PROBETA	AREA (mm ²)	CARGA ULTIMA (kN)	ESFUERZO ULTIMO (MPa)	MODULO DE ELASTICIDAD (MPa)
2 I CMP 1	2 773.12	179.30	64.66	12 045
2 I CMP 2	2 772.04	169.60	61.18	10 250
2 I CMP 3	2 825.39	181.49	64.23	11 619
3 I CMP 4	4 009.18	209.93	52.36	4 956
2 M CMP 5	1 870.21	126.00	67.37	13 472
2 M CMP 6	2 162.64	142.25	65.77	13 788
3 M CMP 7	2 959.73	173.30	58.55	10 751
4 M CMP 8	2 744.08	140.90	51.35	10 664
4 S CMP 9	1 789.65	104.70	58.50	9 018
3 I CMP 10	3 465.29	209.90	60.57	12 303
2 S CMP 11	1 744.55	132.10	75.72	16 481
3 I CMP 12	3 773.34	195.00	51.68	12 619
2 S CMP 13	1 617.95	111.90	69.16	12 512
Promedio =			61.62	11 575
Percentil 0.05 =			51.55	7 393
Percentil 0.5 =			61.18	12 045
Desviacion Estandar =			7.26	2 722
Varianza =			52.72	7 408 874
CV (%) =			11.78%	23.51%

Tabla 2. Geometría de las probetas para ensayos de corte paralelo a la fibra

RESUMEN DE ENSAYOS A CORTE			
MUESTRA	Area Total (mm ²)	Carga Ultima (kN)	Esfuerzo (Mpa)
3 I VSN 1	5 675.39	35.43	6.24
2 S VSN 2	2 420.33	14.43	5.96
4 M VSN 3	3 665.36	21.46	5.85
4 M VSN 4	4 066.17	21.51	5.29
3 I VSN 5	5 889.56	33.97	5.77
2 S VSN 6	2 654.08	15.71	5.92
3 I VN 7	5 802.17	32.05	5.52
2 I VN 8	3 807.03	23.43	6.15
4 M VN 9	4 789.03	30.75	6.42
4 M VN 10	5 105.78	28.39	5.56
3 S VN 11	4 273.62	27.13	6.35
2 S VN 12	3 132.38	16.72	5.34
Promedio =			5.87
Percentil 0.05 =			5.32
Percentil 0.5 =			5.89
Desviacion Estandar =			0.38
Varianza =			0.15
CV (%) =			6.52%

Figura 1. Resultados de los ensayos de corte paralelo a la fibra

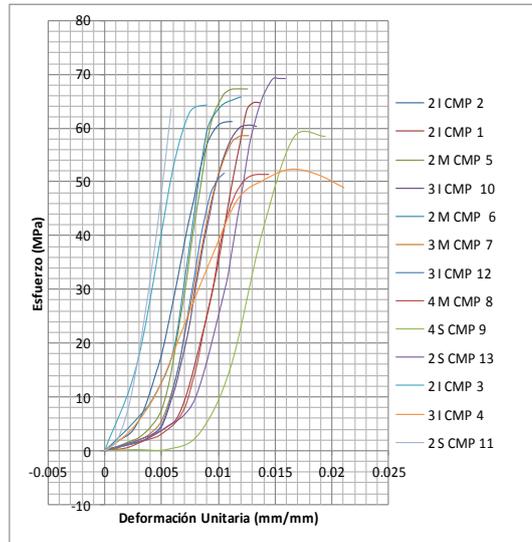


Figura 2. Deformación-esfuerzo de los resultados obtenidos de los ensayos a compresión

GEOMETRIAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA ENSAYOS																		
MUESTRA	EXTERIOR			INTERIOR			H			LONGITUD (mm)	AREA (mm ²)	INERCIA (mm ⁴)	SECCIÓN (mm ²)	CARGA U (N)	M max (N.mm)	Def Max (mm)	Fb (MPa)	E (MPa)
	SUP	INF	PROM.	SUP	INF	PROM.	SUP	INF	PROM.									
FLEXIÓN																		
2 I 001	14.15	14.35	14.25	12.65	12.50	12.58	9.55	10.40	9.98	202.00	133.79	1 109.78	222.51	324.90	16 245.00	3.65	73.01	13 368
2 I 002	15.90	15.40	15.65	13.25	13.65	13.45	9.65	10.00	9.83	201.50	142.95	1 149.51	234.00	425.85	21 292.50	3.30	90.99	18 710
2 I 003	16.95	15.25	16.10	14.10	12.70	13.40	10.10	9.70	9.90	201.30	146.03	1 192.66	240.94	414.40	20 720.00	4.05	86.00	14 299
2 I 004	16.95	16.10	16.53	13.00	12.60	12.80	9.05	9.60	9.33	201.05	136.73	990.77	212.50	357.00	17 849.82	3.35	84.00	17 926
2 S 005	18.10	17.10	17.60	14.90	14.35	14.63	8.30	8.80	8.55	201.00	137.76	836.98	195.78	289.75	14 487.50	4.45	74.00	12 966
2 S 006	16.10	16.30	16.20	12.55	13.55	13.05	9.50	9.50	9.50	206.30	138.94	1 040.89	219.13	394.45	19 722.50	3.50	90.00	18 045
2 S 007	13.75	16.25	15.00	10.90	13.70	12.30	9.65	9.65	9.65	206.70	131.72	1 018.86	211.16	363.20	18 160.00	4.50	86.00	13 203
2S 008	16.40	16.55	16.48	13.45	13.70	13.58	9.20	8.40	8.80	200.95	132.22	853.26	193.92	290.90	14 545.00	3.65	75.00	15 567
4 M 009	15.85	14.50	15.18	13.65	11.65	12.65	9.80	9.65	9.73	206.30	135.30	1 065.23	219.07	381.20	19 060.00	5.60	87.00	10 651
4 M 0010	14.75	13.35	14.05	12.00	11.40	11.70	9.85	9.95	9.90	206.80	127.46	1 038.16	209.73	373.35	18 667.50	3.50	89.01	17 125
4 M 0011	16.60	17.60	17.10	12.90	14.45	13.68	9.65	9.70	9.68	206.85	148.87	1 158.49	239.48	469.49	23 474.50	6.00	98.02	11 257
4 M 0012	14.35	15.00	14.68	10.15	11.25	10.70	9.90	9.65	9.78	206.60	124.02	981.12	200.74	365.35	18 267.40	5.15	91.00	12 044

Promedio =	85.34	14 596.82
Percentil 0.05 =	73.55	10 984.20
Percentil 0.5 =	86.50	13 833.39
Desviación Estandar =	7.71	2 807.12
Varianza =	59.37	7 879 931.89
CV (%) =	9.03%	19.23%

Tabla 3. Resultados de los ensayos a flexión

GEOMETRIAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA ENSAYOS																		
MUESTRA	EXTERIOR			INTERIOR			H			LONGITUD (mm)	AREA (mm ²)	INERCIA (mm ⁴)	SECCIÓN (mm ³)	CARGA U (N)	M max (N.mm)	Def Max (mm)	Fb (MPa)	E (MPa)
	SUP	INF	PROM.	SUP	INF	PROM.	SUP	INF	PROM.									
FLEXIÓN																		
2 I 001	14.15	14.35	14.25	12.65	12.50	12.58	9.55	10.40	9.98	202.00	133.79	1 109.78	222.51	324.90	16 245.00	3.65	73.01	13 368
2 I 002	15.90	15.40	15.65	13.25	13.65	13.45	9.65	10.00	9.83	201.50	142.95	1 149.51	234.00	425.85	21 292.50	3.30	90.99	18 710
2 I 003	16.95	15.25	16.10	14.10	12.70	13.40	10.10	9.70	9.90	201.30	146.03	1 192.66	240.94	414.40	20 720.00	4.05	86.00	14 299
2I 004	16.95	16.10	16.53	13.00	12.60	12.80	9.05	9.60	9.33	201.05	136.73	990.77	212.50	357.00	17 849.82	3.35	84.00	17 926
2 S 005	18.10	17.10	17.60	14.90	14.35	14.63	8.30	8.80	8.55	201.00	137.76	836.98	195.78	289.75	14 487.50	4.45	74.00	12 966
2 S 006	16.10	16.30	16.20	12.55	13.55	13.05	9.50	9.50	9.50	206.30	138.94	1 040.89	219.13	394.45	19 722.50	3.50	90.00	18 045
2 S 007	13.75	16.25	15.00	10.90	13.70	12.30	9.65	9.65	9.65	206.70	131.72	1 018.86	211.16	363.20	18 160.00	4.50	86.00	13 203
2S 008	16.40	16.55	16.48	13.45	13.70	13.58	9.20	8.40	8.80	200.95	132.22	853.26	193.92	290.90	14 545.00	3.65	75.00	15 567
4 M 009	15.85	14.50	15.18	13.65	11.65	12.65	9.80	9.65	9.73	206.30	135.30	1 065.23	219.07	381.20	19 060.00	5.60	87.00	10 651
4 M 0010	14.75	13.35	14.05	12.00	11.40	11.70	9.85	9.95	9.90	206.80	127.46	1 038.16	209.73	373.35	18 667.50	3.50	89.01	17 125
4 M 0011	16.60	17.60	17.10	12.90	14.45	13.68	9.65	9.70	9.68	206.85	148.87	1 158.49	239.48	469.49	23 474.50	6.00	98.02	11 257
4 M 0012	14.35	15.00	14.68	10.15	11.25	10.70	9.90	9.65	9.78	206.60	124.02	981.12	200.74	365.35	18 267.40	5.15	91.00	12 044

Promedio =	85.34	14 596.82
Percentil 0.05 =	73.55	10 984.20
Percentil 0.5 =	86.50	13 833.39
Desviacion Estandar =	7.71	2 807.12
Varianza =	59.37	7 879 931.89
CV (%) =	9.03%	19.23%

Determinación de esfuerzos admisibles

La determinación de los esfuerzos admisibles a ser tomados en cuenta en el diseño estructural de la vivienda, se encuentra en la ISO 22156, Bamboo-Structural Design, y contemplada también en la NSR-10 capítulo G.12.7.4, donde esos esfuerzos admisibles se obtienen a partir del valor característico de cada esfuerzo.

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right] \quad (8)$$

Donde:

f_{ki} = valor característico en la sollicitación i

$f_{0.05i}$ = valor correspondiente al percentil 5 de los datos de las pruebas de laboratorio en la sollicitación i

s = desviación estándar de los datos de las pruebas de laboratorio

m = valor promedio de los datos de las pruebas de laboratorio

n = numero de ensayos

i = subíndice que depende del tipo de sollicitación (**b** para flexión, **t** para tracción paralela a las fibras, **c** para compresión paralela a las fibras, **p** para compresión perpendicular a las fibras, **v** para cortante paralelo a las fibras)

Una vez determinado el valor característico para cada sollicitación se procede a calcular los valores de esfuerzos admisibles aplicando los coeficientes de reducción indicados en la tabla 4.

$$F_i = \frac{FC}{F_s \cdot F_{DC}} f_{ki} \quad (9)$$

Donde:

F_i = Esfuerzo admisible en la sollicitación i

F_s = Factor de seguridad

FC = Factor de reducción por diferencia entre las condiciones de ensayo en laboratorio y las condiciones reales de servicio en la estructura

FDC = Factor de duración de carga

Los valores de esfuerzos admisibles obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio se presentan en la Tabla 5.

Tabla 4. Coeficientes de reducción para esfuerzos admisibles

Factor	Flexión	Tracción	Compresión Paralela	Compresión Perpendicular	Corte
FC	1	0.5	1	1	0.6
Fs	2	2	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

Fuente: NSR-10 (AIS, 2010)

Tabla 5. Valores de esfuerzos admisibles para los ensayos obtenidos en laboratorio

RESUMEN DE ENSAYOS				
Tipo de Ensayo	Esfuerzo Último (MPa)			Módulo de Elasticidad (MPa)
	Compresión (c)	Corte Paralelo (v)	Flexión (b)	
Promedio =	61.62	5.87	85.34	11 575
Percentil 0.05 =	51.55	5.32	73.55	7 393
Percentil 0.5 =	61.18	5.89	86.50	12 045
Desv. Estand. =	7.26	0.38	7.71	2 722
Varianza =	52.72	0.15	59.37	7 408 874
CV (%) =	11.78%	6.52%	9.03%	23.51%
f_{ki}	47.00	5.05	68.38	12 044.91
F_i	26.11	1.53	22.79	

Diseño estructural de la vivienda de interés social

Modelación de la estructura

El diseño de la vivienda se basó inicialmente en el aspecto social de este proyecto, en base a las necesidades más solicitadas por los hogares ecuatorianos que sufran de algún tipo de déficit habitacional. Según el Compendio de Resultados: Encuestas de Calidad de Viva (ECV) Sexta Ronda 2015 (INEC, 2015a) se puede evidenciar que los hogares conformados por 3 a 4 miembros son los más habituales, definiendo un modelo preferencial para este tipo de hogares.

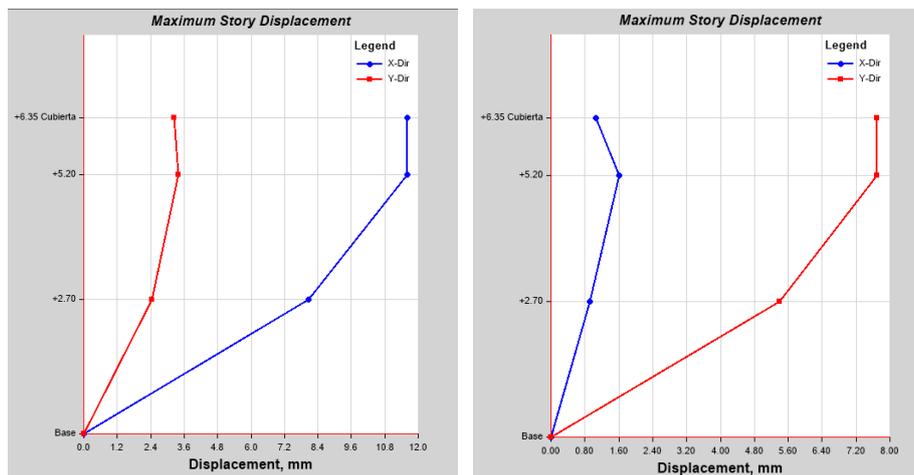
Los elementos estructurales se consideran lineales y homogéneos para el cálculo de los esfuerzos generados bajo la acción de cargas de servicio. Las conexiones entre los miembros de la estructura son consideradas como articuladas, y no debe existir transmisión de momentos entre los miembros que convergen a la conexión, excepto en el caso de elementos continuos, en tal caso serán transferidos únicamente los momentos en el elemento continuo.

Según la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (2015) el modelo de la estructura tiene irregularidad en planta por efecto de "esquinas entrantes", una irregularidad debido a la geometría en planta del edificio, por tal razón la normativa exige realizar un análisis dinámico a toda estructura que entre dentro del concepto de irregular.

Control de deformaciones (derivas de piso y deflexiones diferidas)

Para el control de deformaciones en la estructura se debe considerar las deformaciones laterales o derivas de piso debido a la acción de fuerzas sísmicas sobre la estructura y el control de deformaciones por deflexiones diferidas en elementos estructurales sometidos a cargas permanentes. En la figura 6 se muestra los desplazamientos máximos por piso obtenidos del análisis estructural

Figura 3. Desplazamientos máximos por piso obtenidos del análisis estructural



SISMO EN DIRECCIÓN X

SISMO EN DIRECCIÓN Y

La deriva máxima para cualquier piso (Δ_M) no debe exceder los límites de la deriva estipulada en la normativa ecuatoriana que define como un 2% de la altura del edificio para estructuras de madera.

$$\Delta_M \leq \Delta_M^{\text{máx}} \quad (10)$$

Para el caso de nuestro proyecto con una altura máxima del edificio de 6.35m se tiene un desplazamiento máximo de:

$$\Delta_M^{\text{máx}} = 0.02 \times H_{\text{max}} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Delta_M^{\text{máx}} &= 0.02 \times 6350 \text{ mm} \\ \Delta_M^{\text{máx}} &= 127 \text{ mm} \end{aligned}$$

Las deflexiones en vigas, viguetas y entablados de piso y cubierta dependen de su uso posterior. Las deformaciones deben ser limitadas de tal forma que los elementos

cumplan su función correctamente a lo largo de su vida útil, evitando daños a elementos estructurales y acabados.

Las deformaciones diferidas son calculadas como un porcentaje de las deformaciones instantáneas.

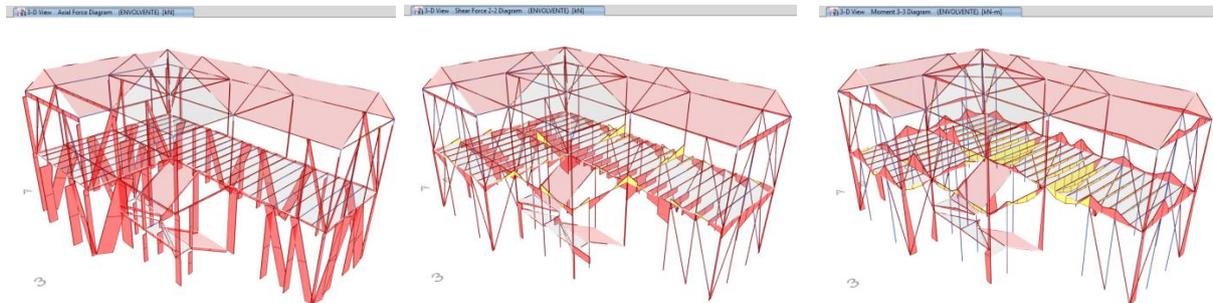
$$\Delta_{diferida} = 0.80 \Delta_{instantanea} \quad (12)$$

$$\therefore \Delta_{TOTAL} = 1.8 \Delta_{instantanea}$$

Diseño de los elementos estructurales de la Vivienda modelada

Los elementos estructurales de la vivienda son diseñados bajo el método de los esfuerzos admisibles como se define en el Reglamento Colombiano de Construcción NSR-10 en su capítulo G.12.7-MÉTODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL. Se muestra en la Fig. 7 los diagramas de carga axial, cortante y momento de los miembros de la estructura.

Figura 4. Diagramas de carga axial, cortante y momento de los miembros de la estructura



Para facilitar el diseño de los elementos se consideró diseñar una hoja de cálculo en Microsoft Excel que permita el análisis de varios tipos de secciones compuestas de una manera más rápida y eficaz. Los esfuerzos ocasionados en los miembros por las cargas de servicio, son obtenidos de los resultados del software utilizado para modelar y analizar la estructura.

Coefficientes de modificación para esfuerzos admisibles

Con base en los valores de esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad obtenidos en la sección 5, se determinan los requerimientos de todo miembro estructural con los esfuerzos admisibles modificados por efecto de: nudos, grietas, contenido de humedad, duración de carga, esbeltez y cualquier otra condición modificatoria.

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c \quad (13)$$

Donde:

- C_D = coeficiente de modificación por duración de carga
- C_m = coeficiente de modificación por contenido de humedad
- C_t = coeficiente de modificación por temperatura
- C_L = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas
- C_F = coeficiente de modificación por forma
- C_r = coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta
- C_p = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas

C_c = coeficiente de modificación por cortante
 F_i = esfuerzo admisible en la sollicitación i
 F'_i = esfuerzo admisible modificado para la sollicitación i
 i = subíndice que depende del tipo de sollicitación (**b** para flexión, **t** para tracción paralela a las fibras, **c** para compresión paralela a las fibras, **p** para compresión perpendicular a las fibras, **v** para cortante paralelo a las fibras).

En la tabla 6, se encuentran los esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad obtenidos de las probetas ensayadas en laboratorio, y en la Tabla, se encuentran los esfuerzos admisibles modificados por los coeficientes de consignados en el capítulo G.12.7.5 — *COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN de la NSR-10.*

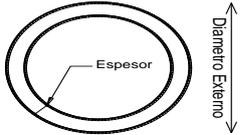
Tabla 6. Esfuerzos admisibles de los resultados obtenidos en laboratorio

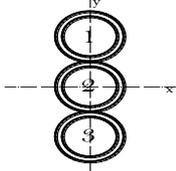
ESFUERZOS ADMISIBLES, F_i (MPa), CH=14%					MÓDULO DE ELASTICIDAD, E (MPa), CH=14%		
F_b	F_t	F_c	F_{p^*}	F_v	$E_{0.5}$	$E_{0.05}$	E_{min}
Flexión	Tracción	Compresión Paralela	Compresión Perpendicular	Corte	Módulo Promedio	Módulo Percentil 5	Módulo mínimo
22.79	18	26.11	1.4	1.53	12 045	7 393	4 956

Tabla 7. Esfuerzos admisibles modificados para condiciones de servicio

ESFUERZOS ADMISIBLES MODIFICADOS (MPa), CH=14%					MÓD. DE ELASTICIDAD MODIFICADO (MPa), CH=14%		
F_b	F_t	F_c	F_{p^*}	F_v	$E_{0.5}$	$E_{0.05}$	E_{min}
Flexión	Tracción	Compresión Paralela	Compresión Perpendicular	Corte	Módulo Promedio	Módulo Percentil 5	Módulo mínimo
19.69	15.71	22.56	1.22	1.33	11924	7319	4906

Tabla 8. Diseño de elementos estructurales sometidos a flexión

DATOS DEL CULMO	
	Diametro Externo = 100 mm
	Espesor = 10 mm
	Diametro Interno = 80 mm
	Inercia Unitaria = 2898119.223 mm ⁴
Area Unitaria = 2827.433388 mm ²	
Módulo de Sección = 57962.38446 mm ³	

INERCIA EN SECCIONES COMPUESTAS																										
	Nro de Elementos = 3 culmos																									
	Inercia Sección Compuesta = 65243025.43 mm ⁴																									
	Area Sección Compuesta = 8482.30 mm ²																									
	Módulo de Sección (y) = 434953.50 mm ³																									
Distancia la fibra mas lejana = 150.00 mm																										
Radio de Giro = 87.70 mm																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nro (i)</th> <th>Inercia I_i (mm²)</th> <th>Area A_i (mm²)</th> <th>Distancia d (mm)</th> <th>$A_i \cdot d_i^2$ (mm⁴)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2898119.22</td> <td>2827.43</td> <td>100.00</td> <td>28274333.88</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2898119.22</td> <td>2827.43</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2898119.22</td> <td>2827.43</td> <td>-100.00</td> <td>28274333.88</td> </tr> <tr> <td>SUM=</td> <td>8694357.669</td> <td></td> <td></td> <td>56548667.76</td> </tr> </tbody> </table>	Nro (i)	Inercia I_i (mm ²)	Area A_i (mm ²)	Distancia d (mm)	$A_i \cdot d_i^2$ (mm ⁴)	1	2898119.22	2827.43	100.00	28274333.88	2	2898119.22	2827.43	0.00	0.00	3	2898119.22	2827.43	-100.00	28274333.88	SUM=	8694357.669			56548667.76	
Nro (i)	Inercia I_i (mm ²)	Area A_i (mm ²)	Distancia d (mm)	$A_i \cdot d_i^2$ (mm ⁴)																						
1	2898119.22	2827.43	100.00	28274333.88																						
2	2898119.22	2827.43	0.00	0.00																						
3	2898119.22	2827.43	-100.00	28274333.88																						
SUM=	8694357.669			56548667.76																						

En la Tabla 8 se muestra el diseño de elementos estructurales sometidos a flexión, de esa manera cuando se empleen varios culmos para conformar un elemento a flexión, la inercia del conjunto se calcula como la suma las inercias individuales de cada uno de los culmos $I = \sum I_i$. Sin embargo, si el constructor garantiza un trabajo en conjunto de los elementos, la inercia podrá ser calculada con el teorema de los ejes paralelos:

$$I = \sum(A_i d_i^2) + \sum I_i \quad (14)$$

El diseño a flexión sigue los mismos procedimientos de la resistencia de materiales en donde el valor del esfuerzo a flexión actuante f_b sobre la sección no debe superar al esfuerzo admisible a flexión modificado F'_b .

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b \quad (15)$$

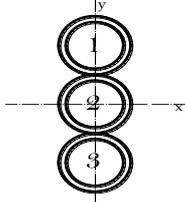
Donde:

M= Momento aplicado a la sección de diseño

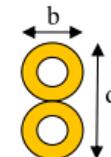
S= Módulo de sección de la sección

Para vigas de sección compuesta por dos o más guaduas se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión F'_b , por el valor del coeficiente de estabilidad de C_L .

Tabla 9. Diseño de elementos de guadua sometidos a flexión

DISEÑO DE ELEMENTOS DE GUADUA SOMETIDOS A FLEXIÓN		NSR 10 - G.12.8
DATOS DE LA SECCIÓN		
Diametro Externo =	100 mm	Nro Elementos = 3 Culmo(s)
Espesor =	10 mm	
Inercia Total =	65243025.43 mm ⁴	
Area Total=	8482.30 mm ²	
Módulo de sección =	434953.50 mm ³	
F _b =	19.69 N/mm ²	
E =	11924 MPa	
Longitud del elemento =	4 m	

DISEÑO A CORTE DE MIEMBROS A FLEXIÓN		12.8.11
Esfuerzo admisible a corte		
F' _v =	1.33 N/mm ²	
Cortante máximo resistente		
V _{max} =	5.28 kN	$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Cumple</div>
Cortante obtenido del calculo estructural		
V =	5 kN	
Esfuerzo a corte actuante		
f _v =	1.27 MPa	
Distribución de conectores en vigas de sección compuesta		12.8.11.3
a. Tres veces el alto de la viga	3xd = 900 mm	$j = \frac{7 \cdot \ell}{V}$
b. Un cuarto de la luz	l/4 = 1000 mm	
c. El valor de j	j = 5600 mm	
Espaciamiento de conectores adoptado	= 900 mm	

DISEÑO BASADO EN RESISTENCIA		12.8.10													
Estabilidad lateral de vigas compuestas															
d/b =	3	<table border="1"> <tr><th>d/b</th><th>C_L</th></tr> <tr><td>1</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.87</td></tr> </table>	d/b	C _L	1	1.00	2	0.98	3	0.95	4	0.91	5	0.87	
d/b	C _L														
1	1.00														
2	0.98														
3	0.95														
4	0.91														
5	0.87														
C _L =	0.95														
F' _b =	18.71 N/mm ²														
Momento máximo resistente															
M _{max} =	8.14 kN.m														
Momento obtenido del calculo estructural		$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Cumple</div>													
M =	3.27 kN.m														
Esfuerzo a flexión actuante															
f _b =	7.52 MPa														

Diseño de elementos bajo cargas axiales

Los elementos tipos columna y riostras deben ser verificados para resistir los esfuerzos actuantes sobre su sección tanto a fuerzas de compresión como de tensión. El cálculo de elementos a compresión está condicionado principalmente por la esbeltez del elemento que determina su clasificación como columna corta, intermedia o larga. La esbeltez se encuentra determinada por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{\ell_e}{r} \quad (16)$$

Donde:

λ = Relación de esbeltez del elemento

ℓ_e = Longitud efectiva del elemento, en mm

r = Radio de giro de la sección del elemento, en mm

La longitud efectiva es la longitud teórica del elemento considerando que tiene ambos apoyos articulados. La longitud efectiva del elemento puede calcularse con la fórmula:

$$\ell_e = \ell_u \cdot k \quad (17)$$

Donde:

ℓ_e = Longitud efectiva del elemento, en mm

ℓ_u = Longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm

k = Coeficiente de longitud efectiva. Se puede tomar de la Tabla 10.

Tabla 10. Coeficiente de longitud efectiva

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

Fuente: NSR - 10, Capitulo G.12.9.2

La esbeltez C_k es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas y esta dado por la siguiente fórmula:

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}} \quad (18)$$

Con estos datos se puede clasificar las columnas según su esbeltez siguiendo la siguiente tabla 11:

Tabla 11. Clasificación de columnas según su relación de esbeltez

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

Fuente: NSR - 10, Capítulo G.12.9.2

Los esfuerzos máximos resistentes por la sección del elemento consideran su esbeltez y por lo tanto son diferentes para cada tipo de columna de acuerdo a su clasificación como corta, intermedia o larga.

El esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante (f_c) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo de compresión paralela a las fibras admisibles (F'_c) modificado por los factores correspondientes.

$$f_c = \frac{N}{A_n} \leq F'_c \quad \text{Columna corta} \quad (19)$$

$$f_c = \frac{N}{A_n \left(1 - \frac{2}{5} \left[\frac{\lambda}{C_k}\right]^3\right)} \leq F'_c \quad \text{Columna intermedia} \quad (20)$$

$$f_c = 3.3 \frac{E_{0.05}}{\lambda^2} \leq F'_c \quad \text{Columna larga} \quad (21)$$

Donde:

f_c = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa

F'_c = esfuerzo de compresión paralela al fibra admisible, modificado, en MPa

N = fuerza de compresión paralela a la fibra actuante, en N

A_n = área neta de la sección transversal, en mm^2

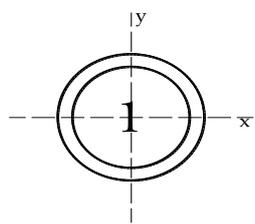
λ = Relación de esbeltez

C_k = esbeltez que marca el límite entre columnas intermedias y largas

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

Del cálculo estructural tenemos un valor de 6.49kN a tensión y 9.25 kN a compresión, para un elemento tipo riostra compuesto por una sola guadua. La tabla 12 muestra las características principales de la sección transversal del elemento.

Tabla 12. Características principales de la sección transversal del elemento

DATOS DE LA SECCIÓN			
Diametro Externo =	120 mm	Nro Elementos =	1 Culmo(s)
Espesor =	12 mm		
Inercia Total =	6009540.02 mm ⁴		
Area Total=	4071.50 mm ²		
Módulo de sección =	100159.00 mm ³		
F _c =	22.56 N/mm ²		
E =	11924.46 MPa		
Longitud del elemento =	2.8 m		
			
ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL			12.9.2
Longitud efectiva			
k =	1.00	Elemento tipo celosia =	No
l _e =	2800.00 mm	Reducción de Inercia =	N/a
		$\ell_e = \ell_u k$	
Radio de giro			
r =	38.42 mm	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$	$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$
		$\lambda = \frac{l_e}{r}$	$\lambda = 72.88$
		Ck =	46.20
Esbeltez			
Clasificación de Columna			
Columna	Esbeltez	COLUMNA LARGA	
Corta	$\lambda < 30$		
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$		
Larga	$C_k < \lambda < 150$		
ESFUERZOS MÁXIMOS PARA COLUMNA LARGA			
Esfuerzo admisible a compresión			
F' _c =	22.56 N/mm ²		
Fuerza axial máxima admisible de la sección			
N _{max} =	18.51 kN	$f_c = 3.3 \frac{E_{0.05}}{\lambda^2} \leq F'_c$	
Carga Axial del Calculo Estructural			
A _n =	9.25 kN	Cumple	
Esfuerzo a compresión actuante			
f _c =	4.55 N/mm ²		

Análisis costo económico para la producción de VIS basadas en guadua

Para obtener el costo estimado de la vivienda, y al tratarse de un proyecto de orden social, ha sido pertinente considerar el precio de la estructura primeramente sin acabados, o como se denomina vulgarmente en "obra gris", esto en razón de que muchos hogares prefieren acoplar y amueblar sus viviendas acorde a sus preferencias personales y/o económicas, otorgado así mayor flexibilidad al momento de adquirir una vivienda; y una segunda propuesta con acabados regulares, con la finalidad de obtener el valor final de la vivienda lista para su amueblado y uso. En la tabla se incluyen los rubros incluyendo acabados y utilerías regulares a ser considerados en la vivienda.

Con un valor total de 19 420,50 USD y un área total de construcción de 110m² de acuerdo a la Tabla13, el valor por m²de construcción resulta en 176.49 USD/m²;

mientras que al tomar en cuenta los acabados y utilerías finales se incrementa el costo total de la vivienda hasta 24 110,10 USD dejando un valor por m^2 de construcción de 219.14 USD/ m^2

Tabla 13. Cuadro de áreas para vivienda de proyecto

CUADRO DE AREAS	
Pl ant a Baj a	58.73 m ²
Pl ant a Alta	51.29 m ²
Ar ea Tot al =	110.02 m ²

Para determinar los costos de producción de viviendas incluyendo la cadena de producción de bambú se recurre a la tesis de "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.", realizada en la Universidad Politécnica de Cuenca.

Tabla 14. Diferencia entre el valor de compra y valor de producción de caña guadua

	USO ESTRUCTURAL	USO EN ESTERILLA
Longitud culmo =	9 m	11 m
Costo de producción =	\$ 2.82 /culmo	\$ 2.82 /culmo
Costo unitario =	\$ 0.31 /m	\$ 0.26 /m
Costo comercial unit. =	\$ 1.54 /m	\$ 0.35 /m
Diferencia =	\$ 1.23	\$ 0.09

En este proyecto se prevé la utilización de 20 ha de terreno destinadas a la producción de caña guadua con un rendimiento mensual de 800 culmos /ha/año, con un costo de producción total de \$45040.34, lo que se traduce a un costo de producción unitario de 2.82 dólares/culmo.

En la tabla 14 se muestran la diferencia entre los valores de compra y los valores de producción por cada culmo de guadua. Con una diferencia de 1.23 dólares por metro de guadua estructural se supone un ahorro de 1,314.98 dólares por cada vivienda, mientras que en el caso de un proyecto de 100 viviendas supondría un ahorro de 13,1498.33 dólares, un monto relativamente considerable.

CONCLUSIONES

Finalmente se puede concluir en la siguiente tabla 15 que muestra el listado de rubros y precios para el levantamiento de una vivienda.

Tabla 15. Listado de rubros y precios para el levantamiento de una vivienda

COD.	DESCRIPCION DEL RUBRO	CANTIDAD	UNID.	P.UNIT.	P. TOTAL
1	PREPARACIÓN DEL TERRENO				
1.1	Replanteo y Nivelación	58.83	m2	\$ 0.60	\$ 35.30
2	CIMENTACION				
2.1	Excavación a mano sin clasificar	6.39	m3	\$ 8.15	\$ 52.08
2.2	Hormigón simple en replantillo f'c: 14 MPa	0.80	m3	\$ 106.15	\$ 85.09
2.3	Hormigón simple en plintos f'c: 21 MPa	0.98	m3	\$ 130.38	\$ 127.12
2.4	Hormigón simple en cadenas f'c: 21 MPa	2.38	m3	\$ 130.60	\$ 311.20
2.5	Acero de refuerzo estructural fy: 42 MPa. Corte, figurado y colocado	377.44	kG	\$ 1.90	\$ 717.13
3	PISOS				
3.1	Contrapiso de hormigón simple f'c:18MPa e:5cm con malla electrosoldada 15x15x5	57.30	m2	\$ 13.05	\$ 747.77
4	ESTRUCTURA DE LA VIVIENDA				
4.1	Guadua estructural. Incluye corte y uniones emperradas.	954.00	m	\$ 7.11	\$ 6 779.61
4.2	Hormigón simple en losa de entrepiso f'c:21MPa	3.46	m3	\$ 148.68	\$ 514.03
5	MAMPOSTERIA				
5.1	Guadua no estructural para mampostería interna y externa	126.00	m	\$ 7.00	\$ 882.00
5.2	Guadua picada en esterilla para revestimientos y entrepiso	429.73	m2	\$ 2.18	\$ 937.28
6	REVESTIMIENTOS				
6.1	Revestido de mortero, incluye malla de gallinero	380.93	m2	\$ 9.16	\$ 3 489.32
6.2	Empastado de paredes exteriores	151.81	m2	\$ 2.48	\$ 376.49
6.3	Empastado de paredes interiores	203.73	m2	\$ 2.07	\$ 421.73
7	CUBIERTA				
7.1	Cubierta metálica tipo teja	65.20	m2	\$ 10.50	\$ 684.60
7.2	Canal de tool galvanizado 0,8mm para AA.LL (1/32), H=20cm, H=10cm, a=20cm	36.87	m	\$ 13.58	\$ 500.69
7.3	Cumbrero metálico	30.00	m	\$ 5.17	\$ 155.10
8	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS				
8.1	Punto de agua potable	8.00	Pto	\$ 10.33	\$ 82.64
8.2	Tubería PVC roscable 1/2" (Red de agua potable)	24.00	m	\$ 1.53	\$ 36.73
8.3	Tubería PVC desagüe 4"	16.58	m	\$ 1.85	\$ 30.68
8.3	Tubería PVC desagüe 2"	7.40	m	\$ 1.85	\$ 13.69
8.4	Punto de Desagüe PVC 2"	6.00	Pto	\$ 6.19	\$ 37.14
8.5	Punto de Desagüe PVC 4"	2.00	Pto	\$ 7.87	\$ 15.74
8.6	Caja de Revisión de mampostería de ladrillo revestida 0.60*0.60*0.60, tapa hormigón	2.00	Unidad	\$ 54.92	\$ 109.84
9	CARPINTERIA				
9.1	Ventanas incrustadas en bambú marco de aluminio, vidrio 4mm	10.35	m2	\$ 40.00	\$ 414.00
9.2	Puerta madera lacada para exterior incluye cerradura llave-llave	4.36	m2	\$ 119.83	\$ 522.46
9.3	Puerta madera lacada para interior incluye cerradura llave-seguro	10.80	m2	\$ 119.83	\$ 1 294.16
10	ACABADOS Y UTILERIA				
10.1	Pintura en fachada e interiores	355.54	m2	\$ 2.15	\$ 764.42
10.2	Cielo raso de gypsum	102.64	m2	\$ 11.50	\$ 1 180.36
10.3	Cerámica de piso	97.64	m2	\$ 19.03	\$ 1 858.09
10.4	Cerámica para pared	25.39	m2	\$ 19.79	\$ 502.40
10.5	Mesón en cocina	3.82	ml	\$ 32.40	\$ 123.86
10.6	Juego Sanitario (Incluye: Inodoro-Lavamanos con pedestal-Acces.-Llave para lavamanos; e instalación)	1.00	Unidad	\$ 110.27	\$ 110.27
10.7	Lavaplatos de aluminio (1 Pozo, Incluye: Llave, sifón, acople y colocada)	1.00	Unidad	\$ 35.60	\$ 35.60
10.8	Inodoro tanque bajo con accesorios	1.00	Unidad	\$ 63.42	\$ 63.42
10.9	Lavamanos económico. Una llave (Provisión, montaje y grifería)	1.00	Unidad	\$ 42.22	\$ 42.22
SUB TOTAL DE ACABADOS Y UTILERIA =					\$ 6 869.04
TOTAL INCL. ACABADOS =					\$ 24 054.26

- Con la realización de este proyecto se ha demostrado numéricamente la gran resistencia que posee la guadua angustifolia kunth y su capacidad para reemplazar materiales actuales de construcción.
- Es una alternativa ecológica y sostenible frente a una problemática ambiental que cada día pasa menos desapercibida.
- Los valores últimos a compresión obtenidos de las probetas (62 MPa) superan incluso a resistencias nominales de hormigones de uso común.
- Valores adicionales obtenidos de esfuerzo a corte y a flexión se aproximan a valores consignados en las normativas aplicadas en esta investigación.
- Las características físicas y mecánicas obtenidas hacen posible que la guadua angustifolia kunth a la construcción de un modelo de vivienda de

interés social, obteniendo resultados satisfactorios con plazos de construcción de 4 semanas por vivienda.

- Los costos de producción para cada vivienda de este proyecto basada en caña guadua se encuentran en 219.14 USD por m² de construcción, un valor que se encuentra ligeramente por debajo de otras viviendas de interés social propuestas por el MIDUVI y basadas en hormigón estructural.
- Sin embargo se obtendría una reducción de 6% en el costo por unidad de vivienda en el caso de incluir el cultivo de caña guadua en la cadena de producción de VIS basadas en este material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIS. (2010). *NSR-10. Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Builes Hoyos, T. & Giraldo Montoya, C. (2011). *Estado del arte de la guadua como material alternativo para la construcción sostenible*. Bogotá: Universidad EAFIT.

INEC. (2015). *Compendio de resultados*. Quito: INEC.

ISO 22156. (2004). Bamboo — Structural design. INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO.

ISO 22157-1. (2004). Bamboo-Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements. International Organization for Standardization ISO.

Mercado Cevallos, M. & Molina Franco, R. (2015). *Estudio de factibilidad para la producción de caña Guadua en el recinto de Rio Chico, cantón Paján de la provincia de Manabí*. Quito: Repositorio UPS.

MIDUVI. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de madera de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito: MIDUVI.

MTE INEN 2. (2004). *Manual de laboratorio sobre métodos de ensayo para la determinación de propiedades físicas y mecánicas del Bambú*.

Navarro Moreno, L. (2012). *Alternativa al déficit de vivienda de interés social y la dificultad de financiamiento en Ecuador*.

Navas, E. (2011). Aplicaciones estructurales de la guadua. Proyecto de estructura modular multifuncional en Colombia, 271.

NEC 11 (2011). *Norma ecuatoriana de la construcción, utilización de la guadua angustifolia kunth en la construcción*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda.

NTE. 100 Bambú. (2011). *Norma Técnica E. 100 Perú-Bambú*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

NTC 5525. (2007). *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Olarte, A. (2012). *Diseño de conexiones en elementos estructurales de bambú-gadua laminada pegada prensada, para un proyecto de vivienda*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

INECOL (2011). *Manual para la construcción sustentable con bambú*. Comisión Nacional Forestal.

Palacios López, D. (2009). *Desarrollo de un sistema de construcción a partir de estructuras en guadua*. Bogotá: UNIVERSIDAD EAFIT.

Patricia, L. et al. (2011). Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. *Revista Educación en Ingeniería*, 66–75.

Pilco Díaz, E. (2016). *Estudio de las propiedades Físico Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth de Loja e implementación de este como material de construcción*. Loja: UTPL.

Rea Lozano, V. (2012). *Uso de la caña guadua como material de construcción: evaluación medioambiental frente a sistemas constructivos tradicionales*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Revista Líderes. (2015). *Seis de cada 10 casas se ofertan en menos de USD 70 000*. Quito: Revista Líderes.

Schröder, S. (2009). *Bamboo Species of Ecuador*. Disponible en: <https://bit.ly/2rSloeq>

Vallejo Salazar, C. (2011). *Análisis de las políticas y programas de vivienda del Ecuador: 2007-2010*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Villada Castañeda, L. (2015). *La guadua una alternativa para la construcción de viviendas de interes social*. Bogotá: UNAD.