

**DISEÑO DE UNA VIVIENDA MODELO ECO-AMIGABLE EN EL MUNICIPIO DE
GUADUAS CUNDINAMARCA**

IVÁN SEBASTIÁN NAVARRO CASTIBLANCO

TANIA MARCELA SAENZ LANDINEZ

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTA

2014

**DISEÑO DE UNA VIVIENDA MODELO ECO-AMIGABLE EN EL MUNICIPIO DE
GUADUAS CUNDINAMARCA**

IVÁN SEBASTIÁN NAVARRO CASTIBLANCO

TANIA MARCELA SAENZ LANDINEZ

Trabajo de grado presentado para optar al título de ingeniero civil

Asesor Disciplinar

Ingeniero Mateo Gutiérrez González

Asesor Metodológico

Lic: Laura Milena Cala Cristancho

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ

2014

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 9 |
| 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 12 |
| 3 JUSTIFICACIÓN | 15 |
| 4 OBJETIVOS | 16 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL..... | 16 |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 5 ANTECEDENTES..... | 17 |
| 6 MARCO REFERENCIAL..... | 23 |
| 6.1 MARCO CONCEPTUAL | 23 |
| 6.1.1 Sostenibilidad..... | 23 |
| 6.1.1.1 La construcción sostenible..... | 23 |
| 6.1.1.2 Aspectos a considerar en la construcción sostenible..... | 24 |
| 6.1.1.3 Materiales | 25 |
| 6.1.2 Bambú..... | 26 |
| 6.1.3 La guadua como material sostenible | 46 |
| 6.1.4 La guadua como material de construcción | 50 |
| 6.1.5 Viviendas en Guaduas Cundinamarca..... | 54 |
| 6.1.6 Beneficios tangibles e intangibles de la guadua en el sector de la construcción | 58 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.1.7 | ESTRUCTURAS DE GUADUA SEGÚN (NSR-10). CAPITULO G.12. | 60 |
| 6.2 | MARCO GEOGRÁFICO | 84 |
| 6.2.1 | Distribución Mundial del (" <i>Bambú</i> ")..... | 84 |
| 6.2.2 | Municipio de Guaduas Cundinamarca. | 85 |
| 6.2.3 | CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS..... | 89 |
| 6.2.4 | Guaduales en Guaduas Cundinamarca | 91 |
| 6.3 | MARCO LEGAL..... | 93 |
| 6.3.1 | NORMA SISMO RESISITENTE DEL 2010(NSR-10) | 93 |
| 6.3.2 | OTRAS NORMAS VIGENTES EN COLOMBIA | 94 |
| 7 | METODOLOGÍA | 96 |
| 7.1 | ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN | 96 |
| 7.2 | TIPO DE INVESTIGACIÓN | 96 |
| 7.3 | FASES DE LA INVESTIGACIÓN | 96 |
| 7.3.1 | Fase 1. | 96 |
| 7.3.2 | Fase 2 | 97 |
| 7.3.3 | Fase 3. | 98 |
| 8 | RESULTADOS | 99 |
| 8.1 | Identificación del tipo de vivienda Eco-Amigable..... | 99 |
| 8.2 | Modelación de la estructura de una vivienda | 100 |

| | | |
|----|------------------------------|-----|
| 9 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 120 |
| 10 | CONCLUSIONES | 126 |
| 11 | BIBLIOGRAFÍA..... | 128 |

TABLA DE ILUSTRACIONES

| | Pág. |
|--|-------------|
| Ilustración 1: Pabellón ZERI | 19 |
| Ilustración 2. Microestructura de la Guadua..... | 29 |
| Ilustración 3. Rizomas | 30 |
| Ilustración 4. Tallo o Culmo..... | 31 |
| Ilustración 5. Hojas y Flor..... | 32 |
| Ilustración 6. Semilla de guadua | 33 |
| Ilustración 7 Etapas sucesionales de la planta..... | 34 |
| Ilustración 8. Aprovechamiento de la guadua | 36 |
| Ilustración 9. Curado por inmersión de los tallos..... | 37 |
| Ilustración 10. Secado de la guadua | 38 |
| Ilustración 11. Ejemplo de secado de la guadua..... | 39 |
| Ilustración 12. Tratamiento contra insectos y hongos | 42 |
| Ilustración 13 presencia de hongos en las plantas de guadua..... | 43 |
| Ilustración 14. Preservación de la guadua | 44 |
| Ilustración 15 Calidad de vida | 46 |
| Ilustración 16 Pabellón ejemplo iniciativa de innovación..... | 47 |
| Ilustración 17 La guadua en sus diferentes formas..... | 48 |
| Ilustración 18 Cuadro comparativo de emisiones de CO ₂ | 49 |
| Ilustración 19 Guaduas a utilizar en la construcción | 51 |
| Ilustración 20 Partes comerciales de la guadua..... | 52 |
| Ilustración 21 Estructura de muros y forjados para una casa | 53 |
| Ilustración 22 Sección típica de guadua..... | 54 |
| Ilustración 23 vivienda en guagua a la entrada del Municipio | 55 |
| Ilustración 24 Vivienda de bajos recursos | 55 |
| Ilustración 25 Construcción en guadua | 56 |

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| Ilustración 26 | Guadua en el sector de la construcción..... | 58 |
| Ilustración 27 | Figura G.12.8-2 - Detalle conectores secciones compuestas | 75 |
| Ilustración 28 | Distribución mundial del bambú | 85 |
| Ilustración 29 | Mapa del Municipio de Guaduas, Cundinamarca (Colombia)..... | 87 |
| Ilustración 30 | Parque principal en el municipio de Guaduas Cundinamarca | 88 |
| Ilustración 31 | Centro de Guaduas Cundinamarca | 89 |
| Ilustración 32 | Guadual | 91 |
| Ilustración 33 | Carga axial en elementos | 101 |
| Ilustración 34 | Solicitación de momento torsional | 101 |
| Ilustración 35 | Solicitación de cortante 2-2..... | 102 |
| Ilustración 36 | Solicitación de cortante 3-3..... | 102 |
| Ilustración 37 | Solicitación momento 2-2..... | 103 |
| Ilustración 38 | Solicitación momento 3-3..... | 103 |
| Ilustración 39 | Reacciones en la base..... | 104 |
| Ilustración 40 | Fuerza Axial | 105 |
| Ilustración 41 | Cortante 2-2 | 106 |
| Ilustración 42 | Cortante 3-3 | 106 |
| Ilustración 43 | Torsión | 107 |
| Ilustración 44 | Momento 2-2 | 107 |
| Ilustración 45 | Momento 3-3 | 108 |
| Ilustración 46 | Fuerza Axial | 109 |
| Ilustración 47 | Cortante 2-2 | 109 |
| Ilustración 48 | Cortante 3-3 | 110 |
| Ilustración 49 | Torsión | 110 |
| Ilustración 50 | Momento 2-2 | 111 |
| Ilustración 51 | Momento 3-3 | 111 |
| Ilustración 52 | Fuerza Axial | 112 |
| Ilustración 53 | Cortante 2-2 | 112 |
| Ilustración 54 | Cortante 3-3 | 113 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 55 Torsión..... | 113 |
| Ilustración 56 Momento 2-2..... | 114 |
| Ilustración 57 Momento 3-3..... | 115 |
| Ilustración 58 Fuerza Axial..... | 116 |
| Ilustración 59 Cortante 2-2..... | 117 |
| Ilustración 60 Cortante 3-3..... | 117 |
| Ilustración 61 Torsión..... | 118 |
| Ilustración 62 Momento 2-2..... | 118 |
| Ilustración 63 Momento 3-3..... | 119 |
| Ilustración 64 Fuerza Axial .Valor crítico..... | 122 |
| Ilustración 65 Cortante 2-2. Y momento 3-3 Valor crítico..... | 124 |
| Ilustración 67 Fuerza Axial valor crítico..... | 125 |

TABLA DE TABLAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabla 1 | Tabla G.12.7-3 NSR-10 Factores de reducción..... | 63 |
| Tabla 2 | G.12.7-4 NSR-10 Coeficientes de modificación por duración de carga ... | 64 |
| Tabla 3 | Tabla G.12.7-5 NSR-10 Coeficientes de modificación por contenido de humedad (Cm)..... | 65 |
| Tabla 4 | G.12.7-6. NSR-10 Coeficientes de modificación por temperatura (Ct) | 65 |
| Tabla 5 | Tabla G.12.8-1 NSR-10 Fórmulas para el cálculo de deflexiones | 68 |
| Tabla 6 | Tabla G.12.8-2 NSR-10 Deflexiones admisibles δ | 69 |
| Tabla 7 | Tabla G.12.8-3NSR-10 Valores de Cc..... | 69 |
| Tabla 8 | Tabla G.12.8-4 NSR-10 Cargas w para cálculo de sección y deflexiones | 70 |
| Tabla 9 | Tabla G.12.8-5 NSR-10 Coeficientes CL para diferentes relaciones d /b. | 71 |
| Tabla 10 | Tabla G. 12.9-1 NSR-10 Coeficiente de longitud efectiva..... | 78 |
| Tabla 11 | Tabla G.12.9-2 NSR-10 Clasificación de Columnas por esbeltez..... | 79 |
| Tabla 12. | Descripción general de la zona..... | 86 |

1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la visita ocular realizada al municipio de Guaduas ubicado en el departamento de Cundinamarca, se pudo evidenciar que existe una gran brecha de separación entre los diversos estratos socioeconómicos, en donde esta demarcación más se refleja es en el tipo de vivienda que tienen los habitantes del sector, así mismo el crecimiento demográfico cumple un papel muy importante ya que debido al aumento de la población, hay más personas necesitadas por un techo digno que no solo deben abastecer las necesidades básicas de una persona, sino que también garantizarle un verdadero ambiente de paz, tranquilidad, libre desarrollo, y uno de los puntos más importantes un ambiente de seguridad.

En el municipio encontramos guadua que es un material de grandes propiedades ya que posee versatilidad, ligereza, flexibilidad, resistencia, dureza, adaptabilidad climática, sismo-resistencia, de crecimiento rápido, fácil manejo, buena calidez visual y que se presta para incluir como materia prima de construcción ya que los proyectos sostenibles buscan la implementación de materiales biodegradables que tengan un impacto ambiental mínimo y logre mitigar el daño que se le hace constantemente al planeta con la utilización de materiales de construcción tradicionales como lo son el acero y el Hormigón.

Las viviendas existentes en el municipio de Guaduas están compuestas por una arquitectura propia de su cultura autóctona, se diferencian unas de otras por el tipo de materiales en que están construidas y el cuidado que se ve en algunas viviendas no ha sido suficiente para conservarlas. La mayoría de viviendas construidas en materiales que causan bajo impacto ambiental como lo es la

guadua, pertenecen en su gran mayoría a personas de bajos recursos económicos. Éstas viviendas carecen de diseños tanto arquitectónicos como estructurales, es aquí donde se propone la creación de un diseño de vivienda modelo eco-amigable en el municipio de guaduas bajo los parámetros de la norma sismo resistente, NSR-10, que contemple la gran mayoría los diferentes aspectos ya mencionados.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guaduas es un municipio Colombiano conocido por su gran atractivo turístico y su legado como agricultor, dando así un espacio propicio para construcciones vanguardistas capaces de unificar los ambientes urbanísticos con la naturaleza, sin dejar de lado los aspectos de innovación arquitectónicos e ingenieriles que fortalecen el desarrollo de una comunidad con una visión altamente turística.

En la actualidad la gran mayoría de proyectos de vivienda que son construidos para mejorar la infraestructura regional, producen una importante huella ecológica sobre el planeta. Además durante su construcción, operación y eventualmente, su demolición consumen una gran cantidad de recursos y se producen muchos residuos contaminantes. Se calcula que el sector residencial consume el 40% de los recursos de todo el mundo, especialmente de energía, y es responsable del 40% de las emisiones de CO₂ que van a la atmósfera.¹

Es por estas razones, que se hace imprescindible realizar un llamado a colegas constructores sobre la utilización de materiales bio-amigables. La guadua es uno de los materiales más usados desde tiempos remotos por el hombre se caracteriza por una gran resistencia, durabilidad y fácil manejo, lo que llevó a denominarla el acero vegetal. Crece de manera muy rápida, alcanzando en cinco años la altura de treinta metros. En el clima adecuado, puede crecer hasta once centímetros al día y lograr su altura total en seis meses. Es un recurso sostenible y renovable, que se auto multiplica vegetativamente.

¹Disponible en:
<http://www.soyecolombiano.com/site/Portals/0/documents/biblioteca/A_PUBLICACIONES/1_FASCICULOS_COLECCIONABLES_EL_ESPECTADOR/Fasciculo_9_Soy%20Ecolombiano_FINAL_BAJA_65-72.pdf>.

La guadua, posee, además, características ecológicas, siendo una fuente importante de agua, ayudando, al mismo tiempo, en la regulación de los caudales, en la captura de CO₂ y en la purificación del ambiente.

El municipio de Guaduas Cundinamarca se escoge en la implementación del diseño para la modelación de una vivienda en guadua, porque cumple con unos parámetros que facilitan la utilización de este material como materia base de construcción, pues al ser un lugar donde la guadua se da de forma natural es propicia para la obtención de materias primas.

Esta condición garantiza el cumplimiento de algunos requisitos básicos que deben tener las construcciones sostenibles como los son el uso de materiales locales, la disminución de los costos energéticos producto del transporte de los materiales, el uso de materiales altamente renovables y que requieren muy poca transformación.

Esta visión no se enfoca solo en cubrir una de las necesidades básicas del hombre como lo es el tener un techo, sino va más allá, está orientada en proveer un ambiente limpio, seguro y cómodo, haciendo que el propietario tome conciencia de que la naturaleza no debe ser extraída de la urbe y que por el contrario es capaz de propiciar un ambiente tan bueno o mejor que el que le brinda una vivienda construida en concreto reforzado.

A pesar de estas características y condiciones favorables en el municipio se realizó una visita de campo para observar el estado actual de las edificaciones en guadua de la zona donde se encontró que la gran mayoría de estas no presentan los requerimientos mínimos especificados en la norma NSR-10, haciendo que estas estructuras no sean aprobadas por las normas y reglamento constructivo existente en Colombia.

Otro aspecto importante de mencionar es que se encontró que en este municipio las casas construidas en guadua no cuentan con un buen diseño arquitectónico que baste para cumplir no solo las necesidades básicas de una persona, sino que

también propicien un ambiente de paz, tranquilidad y al mismo tiempo de seguridad, ya que las personas de la región manifiestan un grado de inconformidad con las estructuras de guadua existentes en el municipio.

Con base en lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se puede mitigar la afectación del medio ambiente que se está presentando en el sector de la construcción civil con la utilización de materiales no renovables, desde la implementación de materiales eco-amigables como la guadua, y que cumplan los requerimientos de la norma sismo resistente del 2010 (NSR-10) en las viviendas del sector de Guaduas Cundinamarca?

3 JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha venido alterando la naturaleza con el deseo de mejorar su calidad de vida, adaptándola a sus necesidades. Para ello ha hecho uso de todo tipo de materiales naturales que con el paso del tiempo y los constantes avances de la tecnología, han cambiado para convertirse de recursos naturales renovables a productos que afectan de manera negativa a la naturaleza.

Gracias a los procesos industrializados que se le aplican a materiales como el concreto, el cual no es renovable debido a sus componentes químicos, este trabajo de investigación plantea que se debe volver a los materiales naturales utilizados por el hombre en la antigüedad para mitigar el impacto ambiental, pero con el conocimiento ya obtenido gracias a la industrialización y al desarrollo tecnológico.

Esta investigación busca romper los tabúes de la gente en cuanto a realizar construcciones con materiales eco-amigables como los son la guadua y la madera, ya que en Colombia se ha venido utilizando el sistema estructural basado en guadua de manera artesanal, y sin mayor supervisión técnica. Son pocos los ingenieros que realizan diseños y construcciones con materiales eco-amigables en comparación a los ingenieros que diseñan en Concreto o en acero, sabiendo de antemano que el concreto y el acero tienen un mayor impacto negativo en el medioambiente al no ser materiales renovables.

Esta investigación servirá como guía para los futuros ingenieros quienes busquen realizar proyectos con materiales renovables donde el diseño y la construcción con este tipo de materiales todavía presentan dudas y falencias desde el punto de

vista técnico ya que no existen muchos puntos de referencia en Colombia acerca del Diseño y construcción en materiales como la guadua.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una edificación sostenible en guadua, localizada en el municipio de Guaduas Cundinamarca, con principios básicos de sostenibilidad y que siga los parámetros establecidos en la Norma Sismo resistente 2010 (NSR-10).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar la estructura de una vivienda basada en elementos estructurales de guadua ubicada en el municipio de Guaduas Cundinamarca.
- Aplicar los parámetros de diseño estructural para guadua (*“Angustifolia kunth”*) Contemplados en la Norma Sismo resistente 2010 (NSR-10).
- Elaborar los planos estructurales en guadua (*“Angustifolia kunth”*), para el diseño arquitectónico de la vivienda escogida.

5 ANTECEDENTES

En el mercado de la construcción existe una gran variedad de materiales que poseen sustancias y elementos naturales de tipo biodegradables, que no contaminan en gran magnitud la tierra ni el agua pues son fabricados con el fin de proteger el medio ambiente. Actualmente estos materiales tienen una mayor accesibilidad comparada a la que se tenía hace 10 años, haciendo de esta época la apropiada para realizar construcciones de bajo impacto ambiental.

Hoy en día gracias a los diferentes experimentos realizados y nuevas técnicas de construcción puestas en marcha, los ingenieros Germán Forero Marín y Hermann Souza Weichen su investigación, estimaron que la diferencia de costos directos de obra entre un sistema constructivo que incluya guadua como elemento principal y un sistema constructivo convencional (concreto + mampostería) puede estar en un 40%. y que los materiales directos y el alquiler de equipos varían aproximadamente un 60%. Cabe destacar, que para este tipo de cálculo no se tienen en cuenta el tipo de cubierta, la porcelana sanitaria, las instalaciones hidro-sanitarias y las eléctricas, pues éstos elementos no presentan diferencias sustanciales en cuanto a costos según el tipo de sistema constructivo.²

En la actualidad se han venido implementando proyectos de viviendas que se inclinan en gran magnitud por el uso de materiales naturales, sin embargo es

²FORERO MARÍN Germán y SOUZA WEIC Hermán, La guadua un sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima - Cundinamarca, Universidad de la Salle, especialización en gerencia de proyectos de ingeniería. Bogotá, D.C. 2007. p. 40-41.

necesario aumentar el uso de estos materiales, ya que según estudios realizados en Colombia durante la última década [2000-2010], se pudo demostrar que hay diferencias significativas en la ejecución del presupuesto de obra durante el desarrollo de un mismo proyecto arquitectónico [vivienda básica de 45 a 48 m²]. En los primeros modelos que se construyeron (1999-2000) se encontró una diferencia de hasta 50% entre un sistema tipo bahareque (muro de cañas guadua y tierra) y un sistema tipo mampostería estructural (muros estructurales en concreto), y una diferencia aproximada de 45% respecto a un sistema tipo a porticado (columnas y vigas en concreto reforzado y muros en ladrillo)".³

Uno de los más importantes promovedores de la guadua como material estructural y arquitectónico permanente en edificios residenciales y comerciales, es el arquitecto Simón Vélez quien ha realizado construcciones y diseños. Vélez ha sido influenciado por el Modulor de Le Corbusier y la Bauhaus haciendo su enfoque arquitectónico principalmente modernista. También ha diseñado edificios de Bambú en más de 11 países.

Construyó un pabellón de 2000 m² para la Fundación ZERI (Zero Emissions Research and Initiative); en una estructura de Bambú, cemento reciclado, cobre y una mezcla de barro, cemento y paneles de fibra, también de Bambú, dando un enfoque netamente ecológico.

Hace algunos años diseñó el Crosswaters Eco-lodge, en los bosques de la Reserva Nankun Shan Mountain, en China, el cual es el primer proyecto comercial en usar el Bambú como principal componente estructural a gran escala, recibiendo

³MEJÍA, John Jairo. Eficiencia y Costo en la Construcción con Guadua. Seminario "Guadua en la Reconstrucción". Memorias. Armenia (Quindío · Colombia), Febrero 10, 11 y 12 de 2000.

el premio American Society of Landscape Architects 2006 – Analysis and Planning Award of Honor.⁴

Ilustración 1: Pabellón ZERI



Fuente: <<http://www.colarte.com/graficas/arquitectos/VelezSimon/VelSrs1009.jpg>>

En el año 2007 Jorge Alberto Cobos Fischer y Xavier Antonio León Rodríguez realizaron una tesis para optar al título de ingeniero civil en la “ ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO” en Ecuador, en esta tesis realizaron un estudio

⁴ ENTREVISTA con Simón Vélez, Arquitecto de la Universidad de Los Andes, Disponible en internet: <<http://www.cromos.com.co/personajes/actualidad/articulo-146024-me-canse-de-disenarles-casas-a-los-ricos-simon-velez>>

de las propiedades mecánicas de la guadua (*“Angustifolia kunth”*) junto con el diseño de unas baterías sanitarias; de esta investigación se toman los datos necesarios para el ingreso del material en el programa de modelación SAP 2000 debido a que la norma no nos presenta como tal estos datos para la modelación de una estructura en guadua sino para el chequeo de las sollicitaciones.

Héctor F. Santos Archila, Martin P. Ansell. Pete Walker⁵, han promovido una serie de investigaciones sobre la construcción de Bajo Carbono usando bambú Guadua en Colombia, en estos estudios se describen temas como las propiedades y disponibilidad de Guadua, en un estudio de una casa de reciente construcción, se presenta el desempeño arquitectónico, estructural, ambiental y técnica de un edificio de Guadua. Este artículo presenta el proceso de construcción, discute las dificultades encontradas durante el ciclo de vida del edificio y pone de relieve la necesidad de hacer evaluaciones similares, llegando a la conclusión de que el lograr un sistema de construcción de bajo carbono con bambú Guadua, se convierte en grandes desafíos en materia de fabricación en cuanto a la bio - degradación, la integración con los sistemas convencionales, y los impactos ambientales que simultáneamente deben abordarse para cualquier proyecto constructivo adecuado para la construcción.

En estos escritos sobre la guadua (*“Angustifolia Kunth”*) se nombra un excelente caso en el que se puso a prueba de manera espectacular en 1999 en Colombia durante un terremoto (6,2 en la escala de Richter) que devastó una gran zona de la región de cultivo de café (zona Cafetera). La mayoría de los edificios construidos con guadua sobrevivieron con daños estructurales menores, mientras que los edificios de concreto convencionales colapsaron y casi el 60 % de todos

⁵ARCHILA, Hector F; SANTOS, Martin P y ANSELL, Pete Walker. Low Carbon Construction Using Guadua Bamboo in Colombia. En: Key Engineering Materials. University of Bath, United Kingdom Department of Mechanical Engineering. Department of Architecture and Civil Engineering. 2002. Vol. 517 (2012) p. 127 – 134

los edificios se cayeron. Desde este episodio, el interés en la investigación sobre la respuesta mecánica de guadua y su idoneidad para la construcción ha dado lugar a su normalización en el código colombiano sísmico - resistente (NSR- 10).

En Brasil se han realizado estudios sobre la aplicación de Materiales no convencionales y sus criterios de evaluación para la Conservación del Medio Ambiente⁶. Teniendo en cuenta los constantes problemas sobre el ambiente, uno de los temas discutidos es el uso de materiales no convencionales en la construcción civil e industrias para la sustitución de la madera nativa que se ha quedado fuera en el mundo. Entre los impactos relacionados con el uso de la madera se puede señalar la deforestación, incendios forestales, la degradación ambiental y la destrucción de las cadenas tróficas, alteración de la biodiversidad y la contaminación. Por estas razones, las diferentes alternativas están sugiriendo que minimizan sustancialmente los impactos adversos sobre el medio ambiente y, al mismo tiempo puede proporcionar productos eficaces y eficientes para las tecnologías nuevas y limpias de un mercado cada vez más estricto y competitivo. Los autores mencionan, que se pueden considerar como productos sostenibles por algunas características que deben satisfacer, como: propiedades físicas y mecánicas, costo / beneficio, para la producción de la facilidad y disponibilidad en el medio ambiente, la tecnología utilizada en la producción, la reducción al mínimo de los impactos adversos. Entre las alternativas analizadas en este estudio, el uso del bambú es uno de ellos. En los países en desarrollo como China y la India, el bambú se utiliza desde hace miles de años y en la actualidad para diversos fines, entre ellos la construcción civil. El andamiaje de muchos países en estos edificios

⁶ MORALES, L. A. F., OHAYON, P., GHAVAMI, K. Application of Non-Conventional Materials. En EvaluationCriteria for EnvironmentalConservation in Brazil. Universidad Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Instituto de Biociências. Av. Pasteur 458, Urca, Brasil, p 20-25

modernos se construye con bambú exclusivamente a bajo costo, y con la eficiencia proporcionada por las características físicas y geométricas mecánicas.

6 MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO CONCEPTUAL

6.1.1 Sostenibilidad Según el Informe Brundtland 7de 1987, consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

La sostenibilidad estudia y maneja a varios niveles de tiempo y espacio en muchos contextos de organización: económica, cultural, social y ambiental. Se enfoca desde la sostenibilidad del planeta hasta la sostenibilidad de sectores económicos, países, municipios, barrios, casas individuales, entre otros.

6.1.1.1 La construcción sostenible. Según Aurelio Ramírez Presidente del Consejo de la Construcción Verde España, la Construcción Sostenible se puede definir como aquella que teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales.

El desarrollo urbano sostenible tiene el objetivo de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, y que proporcione recursos urbanísticos suficientes. Resulta evidente que con el actual ritmo de crecimiento demográfico, a pesar de la disminución en los últimos años de la tasa de crecimiento continuamos

⁷ Disponible en: <<http://desarrollosostenible.wordpress.com/1987/09/27/informe-brundtland/>>

creciendo año tras año a una velocidad que podría llegar a duplicar la población humana mundial antes de mediados del presente siglo. Una situación en que la actual utilización de los recursos naturales y del medio ambiente supone una disminución del potencial de dichos recursos para las generaciones futuras. Tanto es así que realmente lo que en estos momentos marca la diferencia es la calidad en la edificación es la clave para relanzar el mercado, mejorar las condiciones medioambientales y ahorrar recursos. ⁸

6.1.1.2 Aspectos a considerar en la construcción sostenible. La construcción sostenible no tendrá en cuenta solo lo que fue construido bajo sus parámetros, también tiene en cuenta a aquellos que no construyen de manera sostenible causando a si varios problemas medioambientales.

Se diseñará en base a los principios, que se consideran ecológicos para este trabajo de investigación y se enumeran a continuación.

- Conservación de recursos.
- Utilización de materias primas renovables en la construcción.
- Reducción en la utilización de la energía.
- Protección del Medio Ambiente.
- Creación de un ambiente saludable y no tóxico en las construcciones.
- Mejoramiento de la calidad de vida de las personas.
- Disminución de la huella ecológica de las estructuras de vivienda.
- Mitigación del impacto ambiental causado por las construcciones civiles.

⁸ RAMIREZ Aurelio. La construcción sostenible, Consejo de la construcción verde-España, Física y sociedad trece, noviembre 19 de 2013. p.1-3.

6.1.1.3 Materiales empleados para la construcción de una vivienda sostenible. Los materiales que se consideran sostenibles serán aquellos que en su elaboración y utilización se ahorre energía, eviten al máximo la contaminación, respeten la salud de los moradores en las viviendas que se empleen y deberán ser reciclables.

Se dará prioridad a la utilización de materiales de procedencia local y de bajo costo energético.

- Naturales (poco elaborados).
- Saludables (libres de toxicidad o radioactividad). Perdurables.
- Reciclables, reutilizables o biodegradables.
- Transpirables (permeables al vapor de agua y al aire).
- Higroscópicos (capaces de absorber, retener y volver a evaporar la humedad ambiental).

Entre los materiales de construcción que podemos emplear para la construcción de una casa sostenible o ecológica están:

- La madera siempre que esté libre de tratamientos tóxicos y proceda de una gestión forestal sostenible.
- El yeso natural y la cal que son materiales con muchas aplicaciones y con excepcionales propiedades bióticas.
- El barro cocido para ladrillos, tejas, bloques, losas, revestimientos, etc.
- El bio-hormigón elaborado con cementos de categoría A1 por su bajo contenido en escorias, preferentemente blanco y arenas y gravas calcáreas.
- La lana de roca para aislamiento.

- El corcho aglomerado es un producto natural que tiene excelentes prestaciones como aislante térmico y acústico.
- El cristal con múltiples propiedades y aplicaciones, la piedra, preferentemente la calcárea.
- Las pinturas al silicato son pinturas minerales que se integran con el soporte y permiten la respiración de la vivienda.
- Para la protección de la madera se usan las sales de bórax para prevenir el ataque de insectos y hongos, y para el acabado se emplea el aceite de linaza.⁹

6.1.2 Bambú guadua La Guadua ("*Angustifolia Kunth*"), es considerada una de las 20 mejores especies de bambú en el mundo, el botánico alemán Carl Sigismund Kunth describe la Guadua, como un género segregado de la asiática, Bambusa. Kunth usó la palabra indígena "guadua" que significa hoja estrecha, y fue el nombre dado a este bambú entre las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador. La Guadua es el bambú más importante de América, y, a menudo se compara con su contraparte asiática: "*Moso (Phyllostachysedulis)*". Debido a que este material posee versatilidad, ligereza, flexibilidad, resistencia, dureza, adaptabilidad climática, sismo-resistencia, es de crecimiento rápido, fácil manejo y buena calidez visual si es tratada de la manera correcta.

El Bambú, Guadua, en particular, tiene un rápido crecimiento y una productividad más alta, en comparación con la madera. Por lo general, el ciclo de crecimiento del bambú es un tercio de la de un "árbol de rápido crecimiento", y tiene el doble de la productividad por hectárea. Comparado con el roble, la guadua incluso produce hasta cuatro veces más madera.

⁹PERIAGO Cristina, PERIAGO Francisco y MURCIA Carretero. Guía de materiales para una construcción sostenible. College Oficial de Aparejadores y Arquitectos tecnic. Ed.2. Bogotá D.C; 6.p.

La Guadua ("*Angustifolia kunth*"), emerge de la tierra con un diámetro fijo, sin mostrar aumentos de diámetro con el tiempo, como sucede con los árboles. El diámetro máximo reportado para guadua ("*Angustifolia*") es de 25 cm y el promedio es de entre 9 y 13 centímetros. En el caso de la Guadua, se ha observado que alcanza 21 cm de crecimiento diario en altura, de manera que alcanza su altura máxima (15 - 30 metros) en los primeros seis meses de crecimiento y se puede cosechar después de 4 a 5 años, si se utiliza correctamente. La guadua puede tener una producción ilimitada una vez que se ha establecido, sin una gran cantidad de atención. La composición ideal de cañas en un bosque de guadua se estima en 10 % los brotes, 30 % jóvenes y el 60% los maduros con una densidad de 3.000 a 8.000 tallos por hectárea. Esto significa una productividad de 1,200 - 1,350 tallos por hectárea por año, y una alternativa eficaz a la madera para la producción de madera laminada y aglomerado (columnas, vigas, vigas, planchas, paneles).¹⁰

6.1.2.1 Consideraciones de la guadua. Un gradual es un conjunto de guadas, constituido por individuos o culmos en diferentes estados de madurez que conforman un excelente ecosistema. La mayoría de los graduales carecen de manejo técnico o por el contrario son exageradamente intervenidos. Estas manchas deben manejarse con criterios de sostenibilidad bajo normas de productividad sin afectar el ecosistema y garantizar el doble propósito que cumplen en la naturaleza que es la protección de suelos, aguas, aire, vegetación y fauna asociada y simultáneamente la producción de madera para diversidad de usos. La guadua crece óptimamente en sitios cuya altura sobre el nivel del mar va desde los 0 a los 1800 metros, precipitaciones entre 1200 y 2500 milímetros anuales, temperaturas entre 18° y 25° centígrados y humedad relativa superior al

¹⁰ Disponible en <<http://www.guaduabamboo.com/guadua-angustifolia.html>>

70%. Se adapta a otras condiciones extremas y fuera de los rangos antes mencionados pero su desarrollo no es ideal. No aguanta condiciones de sequía prolongadas. Los suelos ideales para su desarrollo son aquellos ricos en materia orgánica, bien drenados, de textura arenosa, areno-limosa, arcillosa y franco-limosa. A pesar de preferir las orillas de los ríos y quebradas, se encuentra en óptimas condiciones en sitios pendientes y alejados de fuentes de agua.

Entre las ventajas ambientales se encuentra que la guadua ("*Angustifolia*") tiene un impacto ambiental positivo pues conserva el suelo, controla la erosión, regula el caudal de los ríos y arroyos, sirve como material orgánico de alimentación, y actúa como un sumidero de CO₂, ya que es un fijador de dióxido de carbono (CO₂), conserva el gas atmosférico en su estructura y así mismo se conserva en las obras para las cuales sea utilizada. Cenicafé (Centro Nacional sobre investigaciones del café) adelanta estudios para cuantificar la cantidad de CO₂ que fijan los guaduales¹¹. Su rápido crecimiento, tanto aérea y sub - superficie, la red de rizomas que crecen en la capa superficial del suelo (20 a 50 centímetros) y su voluntad de ocupar áreas perturbadas hacen de la guadua un recurso ideal para la conservación de suelos inestables.¹²

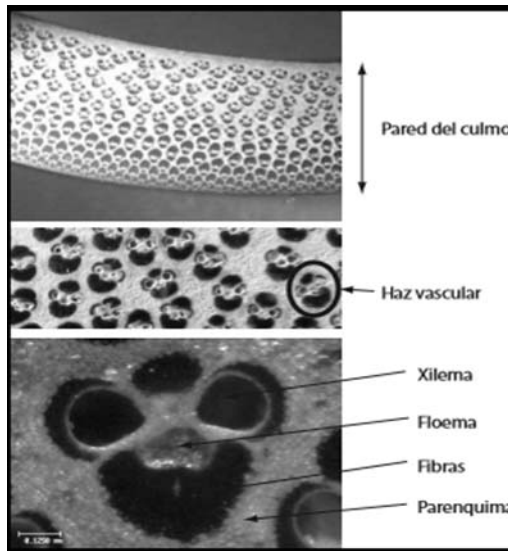
6.1.2.2 Morfología de la guadua. En las Investigaciones del documento de GONZALEZ, Salcedo, L.O., 2000,¹³ se encontraron adelantos sobre las propiedades y las microestructuras de la guadua, en donde se puede resaltar que es un material poroso de origen vegetal y constituido por células en donde sus fibras están dispuestas axial y longitudinalmente, es un material ortotrópico ya que

¹¹Disponible en <http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_29/110/08_89_100.pdf>

¹² KUNTH, Carlos. Catálogo de las plantas recogidas en el nuevo mundo por Humboldt y Bonpland; manual de botánica. Ciudad. 1789. p.37.

sus propiedades físicas, mecánicas y de mano de obra varían según su sentido o plano considerado, presenta cambios a sus dimensiones debido a que a la expansión térmica y cambio de volumen a causa de la humedad.

Ilustración 2. Microestructura de la Guadua



FUENTE: <<http://img442.imageshack.us/img442/4272/13f41b97efb5.png>>

Como parece en el documento de investigación de COBOS, F Jorge Alberto y LEÓN, R Xavier Antonio¹⁴, sobre “Propiedades físicas-mecánicas de la guadua (*Angustifolia kunth*)”, se puede apreciar la morfología de la guadua la cual se describirá detalladamente a continuación.

¹³ GONZALEZ, Salcedo, L.O., 2000. Estudio de artes y aportes del proyecto semilla 99cg5108, Ponencia presentada en el encuentro académico. Cultural intercedes Palmira y Manizales. Manizales, JULIO.2000

¹⁴COBOS, F Jorge Alberto y LEÓN, R Xavier Antonio., “Propiedades físicas-mecánicas de la guadua (*Angustifolia kunth*)” y aplicación al diseño de baterías sanitarias del iasa ii. Morfología de la guadua. Escuela politécnica del ejército. Sangolquí, noviembre del 2007

- **RIZOMA** A parte de ser el órgano almacenador de nutrientes es el elemento apto para la propagación sexual. La forma más segura y efectiva para el cultivo de la guadua es por medio de rizomas completos, de uno o más años de edad, que aún no tengan yemas desarrolladas. Por lo general el primer brote aparece a los 30 días de sembrado. (Ver ilustración 3)

Ilustración 3.Rizomas



Fuente:<<http://idata.over-blog.com/2/94/98/79//gua1-copia-1.gif>>

- **TALLO Ó CULMO** Su forma es cilíndrica con entrenudos huecos llamados canutos, separados transversalmente por tabiques o nudos que le dan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia. Los tallos están formados por fibras longitudinales, que según su especie se diferencian, en su diámetro, altura y su forma de crecimiento. La altura puede llegar hasta 40 m y el diámetro va de 8 a 18 cm en promedio.

Ilustración 4. Tallo o Culmo



FUENTE: <<http://idata.over-blog.com/2/94/98/79//gua1-copia-1.gif>>

- **HOJAS** Su color es verde especial, de forma lanceolada y lisas (angostas y largas), inconfundibles en la distancia y de fácil reconocimiento. Las hojas al caer aportan de biomasa al suelo (4Kg. / metros cuadrado / año), transfiriendo nutrientes al suelo y demás plántulas que las rodean. Existen otras hojas en la guadua denominadas Caulinares, estas cubren el tallo desde su nacimiento hasta su madurez, son de color café y provistas de pelusillas como sistemas de defensa (ver ilustración 5).

- **FLOR** Es muy pequeña, de color violáceo o rosáceo, su color depende del tipo de suelo donde esta plantada, su vida es muy corta dura aproximadamente 48 horas y está ubicada en las partes terminales de las ramas superiores y en el primer tercio de la espiga. (Ver ilustración 5)

Ilustración 5. Hojas y Flor



Fuente:<http://idata.over-blog.com/2/94/98/79//gua1-copia-1.gif>

- **SEMILLA** Se parece a un grano de arroz, de coloración blancuzca muy clara en su interior y de café muy claro en su exterior de 5 a 8 milímetros de largo y 3 milímetros de espesor. (Ver ilustración 6)

Ilustración 6. Semilla de guadua

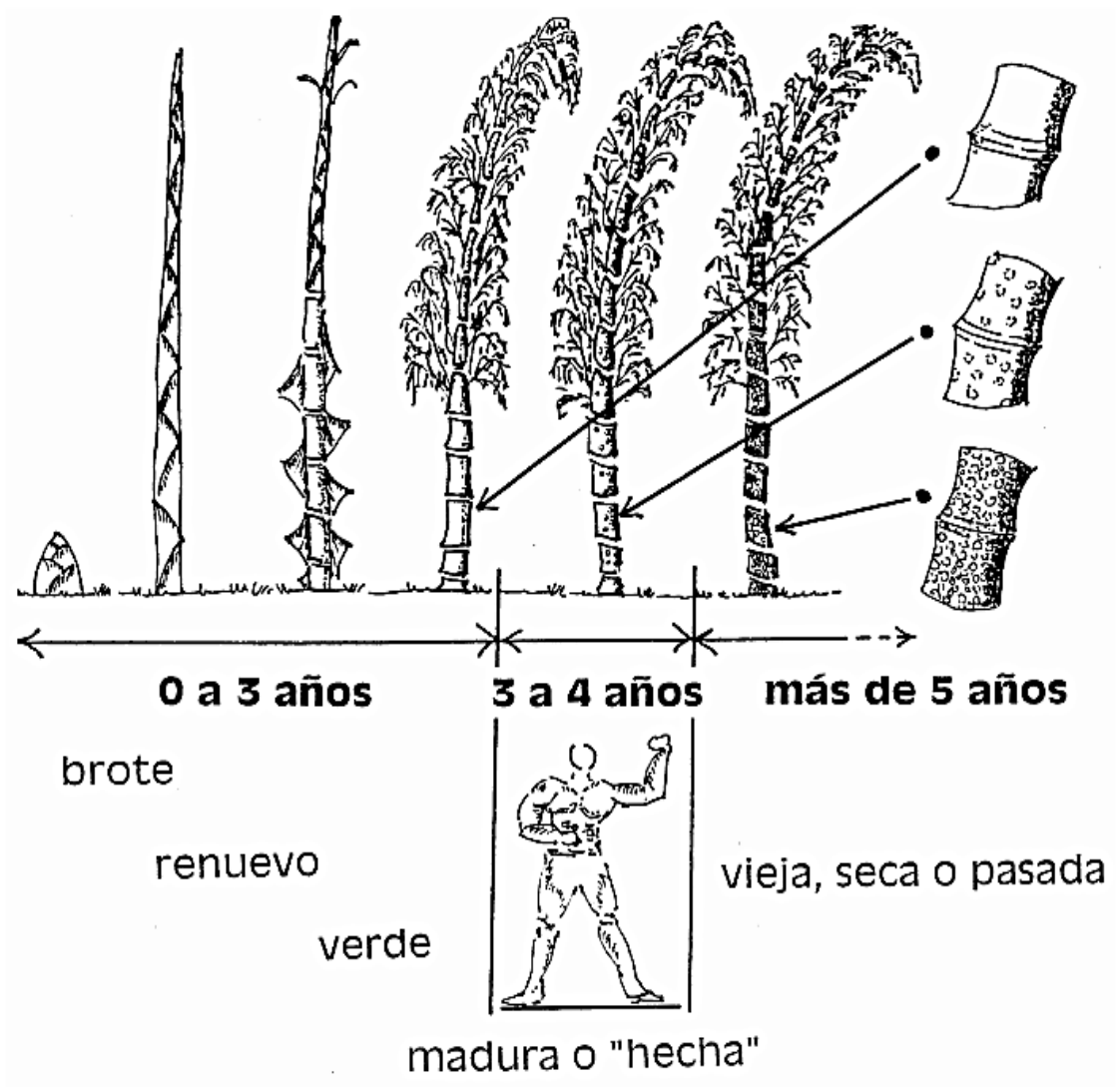


Fuente: <<http://idata.over-blog.com/2/94/98/79//gua1-copia-1.gif>>

En la ilustración 7 se puede apreciar las etapas sucesionales, que se basan en unos periodos de tiempos en los cuales la guadua en su etapa de crecimiento va desarrollándose hasta alcanzar la edad óptima para ser utilizada en construcciones de viviendas ya sean en la zona rural o urbana como elemento estructural o de adorno gracias a que por sus diferentes propiedades tanto físicas como mecánicas tiene usos múltiples.

Se dice que la edad adecuada para ser utilizada en construcciones es de los 3 a 5 años que es cuando alcanza su máxima madurez en cuanto a propiedades de resistencia, grosor y calidad visual necesaria.

Ilustración 7 Etapas sucesionales de la planta



Disponible en: http://www.inbar.int/wp-content/uploads/downloads/2013/07/TOTEM_Propagation-of-Guadua-Angustifolia-using-the-Chusquines-method.pdf

6.1.2.3 Aprovechamiento de la guadua Como se menciona en el documento de VILLEGAS GONZÁLEZ, Felipe., 2000.¹⁵ Sobre el aprovechamiento de la guadua se puede encontrar los diferentes pasos de manipulación como lo son desde el corte, los métodos de curado, métodos de secado que se presentan a continuación.

- **Corte** Alcanzada la edad óptima que generalmente es entre los tres y cinco años, las guaduas están listas para usarlas en la construcción. Una vez determinados los tallos maduros, se procede a cortarlos entresacados, a una altura aproximada de 15cm a 30 cm del suelo, por la parte inmediatamente superior del nudo, de forma que el agua no forme depósito y evitar que el rizoma se pudra. El corte debe ser lo más limpio posible, para lo cual deben utilizarse machetes.

¹⁵VILLEGAS GONZÁLEZ, Felipe. Comparación consumos de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: guadua vs. concreto. Tesis para optar por el título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2005. p. 51,52,53

Ilustración 8. Aprovechamiento de la guadua



Fuente: <<http://idata.over-blog.com/2/94/98/79//gua1-copia-1.gif>>

6.1.2.4 Métodos de Curado El curado de la guadua se basa en someter los tallos de la planta una vez cortados a un tratamiento para hacerlos menos propensos al ataque de insectos como el ("*Dinoderos minutus*"), "escarabajo de la guadua", que es atraído por los almidones o glucosas que contienen la savia de la guadua.

- **Curado en la mata** Se trata de una vez tenidos los tallos cortados, se recuestan de manera vertical sobre los tallos no cortados sin cortar las ramas ni las hojas, en esta posición deben permanecer de un mes a dos meses dependiendo de las condiciones del tiempo.

Este sistema es el más recomendado por que demuestra que los tallos conservan su color natural, no se rajan y además de esto no son atacados por los hongos.

- **Curado por inmersión** Este sistema se dice que fue el más utilizado por los orientales durante muchas lazos a través de su historia; este método consiste en sumergir los tallos en agua por un tiempo no menor a un mes.

Ilustración 9. Curado por inmersión de los tallos



Fuente: <<http://www.conbam.info/pix/Piscina-de-inmunizacion.jpg>>

- **Curado por calentamiento** Este sistema consiste en colocar el tallo después de cortado sobre fuego abierto rotándolo, sin quemarlo; con ello se logra matar cualquier insecto que tenga en su interior, por otra parte endurece la pared exterior haciéndola menos propicia al ataque de los insectos. Este sistema también se emplea tanto para secar como para enderezar los tallos torcidos.

6.1.2.5 Métodos de secado Una vez cortadas las guaduas en la sepa se recogen manualmente y se organizan en un lugar seco, en lo posible aislado de la humedad como puede ser la del suelo o la del agua de la lluvia, también en este lugar se protegerá de los rayos del sol, para que se evite el contacto con estos agentes y así mismo la pudrición (ver ilustración 10).

Ilustración 10. Secado de la guadua



FUENTE: <<http://1.bp.blogspot.com/-kiXh7zrUMOk/TVwhvGCC1SI/AAAAAAAAATg/11wBAyJolxY/s1600/>>

Otra manera empleada de secado es poner las cañas de guadua sobre una base con una inclinación de 45° con respecto a la base ya sea de madera en la cual estas se van oreando, hace el proceso de escurrir el agua que pueda tener resultado de las precipitaciones de esta manera alcanza el punto óptimo de preparación, esta posición también sirve para revisar que los canutos no estén infectados por hongos y de ser así hacerles el debido tratamiento de inmunización para su posterior preservación. (Ver ilustración 11).

Ilustración 11. Ejemplo de secado de la guadua



Fuente: <<http://galeon.hispavista.com/guaduarde2012/img/secado>>

En los métodos de secado mencionados en el trabajo de investigación de Villegas Gonzales Felipe, los tallos vivos de la guadua, contienen una cantidad considerable de humedad, que se conoce con el nombre de savia, esta se convierte en conductora de los alimentos de la planta absorbidos del suelo por medio de los rizomas y es indispensable en la etapa de crecimiento.

Cuando la guadua se va a utilizar en la fabricación de materiales para la construcción, se tiene en cuenta que van a estar expuestos a diversos factores físicos y climáticos como la libre exposición al sol y a la lluvia, debe someterse a un secado por las siguientes razones:

- El bambú se contrae por la pérdida de humedad y se dilata cuando esta aumenta.
- Para reducir al mínimo los cambios de dimensión.
- El secado disminuye el peso del bambú y por tanto su costo de transporte.

- Los organismos que ocasionan pudrición y manchas, normalmente no viven en el bambú cuando su contenido de humedad está por debajo de 15%.
- Los pegantes actúan mejor en piezas secas de bambú.
- Las propiedades de resistencia del bambú se aumentan, cuando se seca a un contenido de humedad bajo. Uno de los objetivos del secado es obtener un mejoramiento de sus propiedades mecánicas.

La guadua después de curada es secada a través de formas diferentes que se denominan:

- **Secado al aire.**

El secado al aire se realiza colocando los tallos de la guadua horizontalmente bajo cubierta, expuesto a una atmósfera secante pero protegidos contra el sol y de la lluvia.

- **Secado en estufa.**

El secado de bambú en estufa es llevada a cabo en aquellas utilizadas en secado de la madera aserrada, con cámaras de metal o de ladrillo en concreto, equipadas de tal manera que se pueda ejercer cierto grado de control sobre la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire en contacto con el bambú.

- **Secado sobre fuego abierto.**

Este es uno de los métodos más comunes de secado que se emplea en el oriente, en donde además se aprovecha para enderezar los tallos torcidos. Los tallos que se van a secar por este medio se colocan entre dos soportes a una altura aproximada de 45 a 50 cm. sobre el nivel del suelo.

6.1.2.3 Tratamientos con preservativos contra insectos y hongos.

Según MONTOYA A., Jorge Augusto,¹⁶ en su trabajo de Investigación Tecnológica se pueden encontrar los diferentes pasos en los métodos para la Preservación de la ("*Guadua Angustifolia*") los cuales se mencionaran a continuación en el presente texto.

El tratamiento preservativo del bambú consiste en la aplicación de diversas sustancias químicas o de forma preservativas, con el objeto de protegerlo del ataque de hongos insectos xilófagos, así como de la putrefacción, cuando se emplea bajo tierra o en contacto permanente con la humedad o el agua, dándole por consiguiente mayor durabilidad. Los preservativos que se emplean deben de tener las cualidades siguientes:

- Que sean suficientemente activos para impedir la vida y desarrollo de microorganismos interiores y exteriores.
- Que en el momento de su empleo se encuentren en estado líquido, a fin de que impregnen fácilmente todas las partes del bambú.
- Que no tengan olor fuerte y desagradable lo cual impediría el empleo del bambú en el interior de las habitaciones.
- Que no modifique el color del bambú, en particular el que va a ser utilizado como elemento decorativo.

En la ilustración 12, se puede evidenciar como es la fumigación en los cultivos de guadua ("*Angustifolia Kunth*") para protegerlos de los agentes que normalmente se presentan como son insectos y hongos, estas personas que realizan la fumigación

¹⁶MONTOYA A., Jorge Augusto. Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la Guadua Angustifolia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. 2001.

deben contar con un equipo de protección que consta de unas gafas, un tapabocas especial unos guantes un overol y botas, así mismo el tanque de fumigación con los diferentes químicos y sustancias que cubren y protegen las plantas.(Ver ilustracion 12).

Ilustración 12. Tratamiento contra insectos y hongos



Fuente: <http://idata.over-blog.com/2/94/98/79//gua1-copia-1.gif>

Esta inspección también sirven mucho porque al fumigar la guadua, esto acaba con hongos e insectos que en la mayoría de los casos son la causa junto con el agua y el sol de que la planta comience el proceso de pudrición y pierda sus propiedades de resistencia y durabilidad que inicialmente caracteriza a los guaduales.

En la ilustración 13 se puede apreciar como es el estado inicial de las plantas de guadua cuando tienen insectos y hongos, su apariencia presenta unas manchas de color blanco y amarillo pálido.

Ilustración 13 presencia de hongos en las plantas de guadua



Fuente: <http://elsemillero.net/nuevo/semillas/verimagen.php?id=55>

6.1.2.6 Preservación

Una vez se tienen las guaduas listas se realiza el corte longitudinal, con el cual se va a tener unas esterillas las cuales sirven como cerramiento perimetral de una vivienda, estas esterillas se adecuan con alambre dulce el cual las amarra para formar el soporte que se desea realizar(ver ilustración 13).

Ilustración 14. Preservación de la guadua



Fuente: <<http://1.bp.blogspot.com/-pl4yy13q96M/T3zczAHRrDI/nM/RJuEc3Djv1g/s1600/DSC01038./>>

El tratamiento preservativo para que dé buenos resultados como se explica en el documento de MONTOYA A., Jorge Augusto, debe aplicarse en la guadua, una vez que su contenido de humedad se ha reducido al 10 ó 15% por medio de un secado al aire o en estufa.

Para aplicar los preservativos hay diferentes clases de métodos unos son por equipos de calderas y cámaras especiales de vacíos a presión, y otros más sencillos que son los siguientes:

- Aprovechando la transpiración de las hojas.
- Método boucherie.
- A presión o método boucherie modificado.
- Por inmersión.
- Por aplicación externa.

Los productos preservativos empleados para proteger el bambú, e igualmente la madera, del ataque de insectos, los hongos y la pudrición; se clasifican en dos grupos principales como son:

- **Preservativos tipo aceite:**

Aceites, tales como las soluciones de creosota y petróleo con pentaclorofenol; que se emplean en bambúes que van a estar expuestos al agua o a la humedad del suelo.

- Cerosota alquitranada
- Cerosota alquitranada libre de cristales
- Aceite antraceno
- Cerosota obtenida por destilación de la madera, aceite y vapor de agua.
- Soluciones de cerosota

- **Preservativos tipo sales**

Sales, que se aplican disueltas en agua. Se emplean por lo general en bambúes que van a permanecer a intemperie, sin embargo, algunas de ellas pueden ser empleadas en bambúes que van a estar en contacto con la humedad del suelo.

- Agua cobrizaz. (Resistente al fuego)
- Sales wolman.
- Cromato de cobre ácido
- Metarsenito de zinc.
- Amoniacal
- Arseniato de cobre cromado
- Arseniato de zinc cromado

VILLEGAS GONZALES, Felipe describe que el tratamiento de impregnación del bambú con resinas sintéticas para mejorar sus cualidades físicas: El sistema de impregnación del bambú con resinas sintéticas, tiene por objetivo impartir al bambú y a los productos derivados de él, determinadas propiedades físicas, como son, gran resistencia a la flexión, tensión, compresión, abrasión y estabilidad de

dimensiones bajo cualquier condición atmosférica, lo que permite utilizar el bambú en la fabricación de diversos materiales de construcción.¹⁷

6.1.3 La guadua como material sostenible Para nadie es un secreto que cada vez la guadua resalta más con relación a otros materiales, gracias a sus notables propiedades, es tanto así que como recurso económico es una fuente generadora de empleo y mejora de la calidad de vida de los lugares donde se produce y procesa. (Ver ilustración 15 y 16)

Ilustración 15 Calidad de vida



Fuente: <<http://4.bp.blogspot.com/vXK9ePWsS2o/Uq4wzV8tXyl/AAAAAAAAAHw/Jop0ZYvFmoE/s400/images+%25286%2529.jpg>>

¹⁷ VILLEGAS GONZÁLEZ, Felipe., OP CIT, p 53,54.

Ilustración 16 Pabellón ejemplo iniciativa de innovación



Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/hMcTjUSNyrM/Uq4wtyXpO7I/AAAAAAAAAGs/UcywHI8TSR8/s320/dezeen_Kontum-Indochine-Cafe-by-Vo-Trong-Nghia-Architects_7.jpg>

La guadua cumple un papel muy importante para la utilización como material estructural porque es un recurso ecológico, un material natural renovable, capta monóxido de carbono, minimiza los gases de CO₂ y genera más del 35% de oxígeno, más de lo que capta un bosque de otras especies equivalente. Es así que una hectárea de bambú capta 62 toneladas de CO₂ por año haciéndola así una óptima planta para la disminución de gases de invernadero.

Entre otros beneficios también se puede mencionar que los guaduales ayudan con la defensa de la rivera de los ríos, el refugio de la fauna, la conservación de las aguas mediante la conservación de los acuíferos y la aportación de humedad ambiental.

Ilustración 17 La guadua en sus diferentes formas



Fuente:http://3.bp.blogspot.com/_A3YYjterog/Uq4wwpjHnTI/AAAAAAAAAG0/mBaxDwi0eo/s640/guadua+img.jpg

En el artículo Publicado por TORREZ, Rojas José Eduardo,¹⁸ en la revista virtual de Ingeniería en arquitectura diseño y medio ambiente, se describe con un cuadro la comparación de emisiones de CO₂ guadua/ hormigón y acero, en donde se tuvieron en cuenta unos materiales tradicionales de una estructura, se tienen presentes las emisiones de CO₂ para la guadua puesta en España (transporte marítimo 10000 km y porción terrestre calculada para 700 km de centro de producción a puerto (Colombia) y 700 km de puerto a obra (España).(Ver ilustración 18)

¹⁸ Disponible en: <<http://ingenieroenarquitecturamedioambiental.blogspot.com.es/2012/04/el-bambu-guadua.html>>

Ilustración 18 Cuadro comparativo de emisiones de

| Comparativo de emisiones de CO2 Guadua / Hormigón y acero (3) | | | | |
|---|---|----------|---------------|-----------------|
| 100m ² | Material (1) | Peso Kg. | Emisiones (2) | Total emisiones |
| Construcción En Guadua | Varas de guadua L= 6m D= 11-12cm (350 U.) | 8000 kg | 1800 kg Co2 | 5600 kg CO2 |
| | Acero | 750 kg | 1500 kg Co2 | |
| | Hormigón | 1800 kg | 2300 kg Co2 | |
| Construcción tradicional | Acero | 2500 kg | 5000 kg | 12600 kg CO2 |
| | Hormigón | 60000 kg | 7600 kg | |

CO₂.

Fuente: <http://ingenieroenarquitecturamedioambiental.blogspot.com.es/2012/04/el-bambu-guadua.html>

En cuanto a los resultados encontraron que el promedio de emisiones por m² de construcción es de 260 kg, solo se consideraron en este cuadro las emisiones de mayor peso que son las de los materiales estructura arrojando un 60%.

Se puede deducir que las emisiones generadas por una edificación de este tipo, en una construcción que utilice como material la guadua solo emitirá el 42% de CO₂ en comparación con el generado por una que usa el acero y hormigón de forma tradicional que en las emisiones totales a lo largo del ciclo de vida de una vivienda (50 años) las generadas en su construcción alcanzan cerca del 40%, lleva a concluir que con el uso de la guadua ya se contribuye un ahorro del 24% de las emisiones totales durante el ciclo de vida de la edificación, es vital tener presente que el bambú guadua no libera prácticamente nada de CO₂ durante su

vida útil, reteniéndolo en sus múltiples aplicaciones, sumado a los ahorros por eficiencia, mantenimiento y beneficios, ya que apenas genera emisiones en el proceso de corte, tratamiento y transformación artesanal que de paso genera empleo y mejora la vida de la comunidad productora, además de no afectar a la biofauna de su hábitat.¹⁹

Los datos anteriores arrojan resultados de gran magnitud porque se reduce aún más su impacto medioambiental permitiendo que proyectos desarrollados en guadua tengan un verdadero ahorro que está próximo 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.

6.1.4 La guadua como material de construcción En la construcción de viviendas la guadua se aprovecha al máximo gracias a sus excelentes propiedades ya anteriormente mencionadas a lo largo del texto, así mismo se debe tener en cuenta que la guadua en construcción no debe tener contacto directo con la tierra, es así como se aconseja hacer los cimientos de piedra, concreto o ladrillo, adicional a esto entre la cimentación y la guadua debe ir una placa de aluminio que impida que la guadua absorba la humedad del suelo y se pudra como naturalmente sucede al contacto con agua ya sea de la tierra o producto de las precipitaciones.

Entre las prácticas tradicionales apropiadas para el empleo del bambú en la construcción se tiene:

Empleo adecuado de las porciones basal, intermedio y superior del tallo en la construcción: En un mismo tallo de bambú las características físicas son variables debido a que el diámetro y el espesor del tallo disminuyen con la altura y la

¹⁹Disponible en: <<http://ingenieroenarquitecturamedioambiental.blogspot.com.es/2012/04/el-bambu-guadua.html>>

separación de los nudos va siendo mayor hacia su extremo superior. Por consiguiente el extremo inferior que tiene mayor diámetro y espesor de pared como nudos más próximos, es más resistente que el extremo superior que por ser más delgado y de nudos más separados es más flexible.²⁰

6.1.4.1 Aplicaciones en la construcción En las aplicaciones de la guadua en la construcción se puede encontrar claramente que cada una de las partes de la guadua puede ser usada en el diseño de una vivienda cumpliendo varias funciones o usos específicos dependiendo de sus propiedades tanto físicas como mecánicas. (Ver ilustración 19)

Ilustración 19 Guaduas a utilizar en la construcción



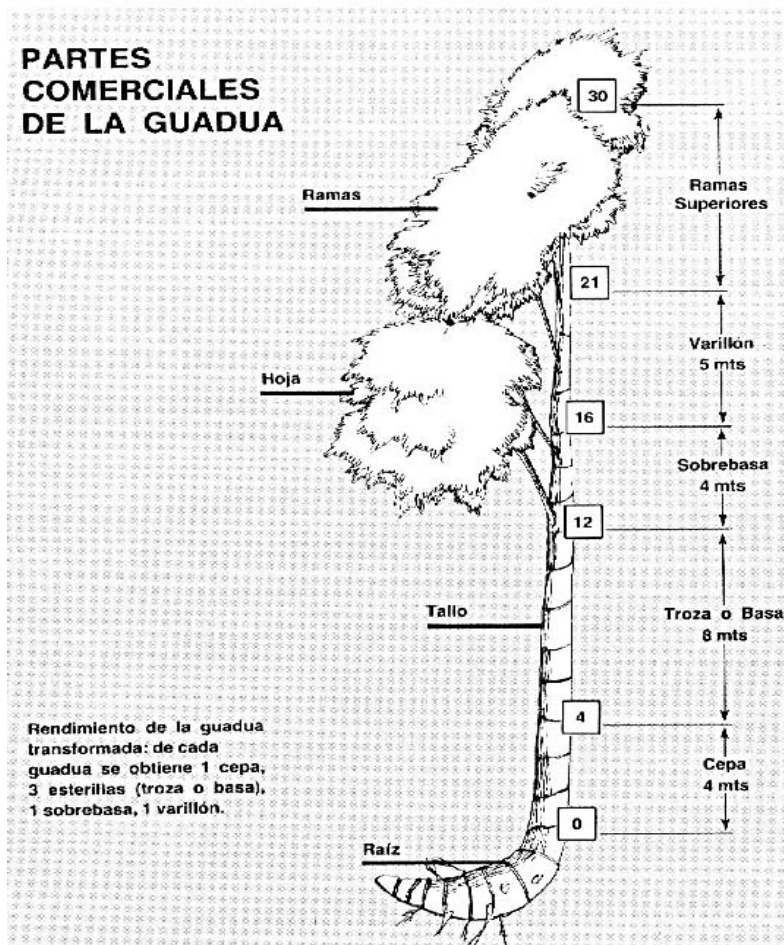
Fuente: <<http://3.bp.blogspot.com/->

PROFecMzzjA/UuYLe6wtekI/AAAAAAAAAdk/3Vwan45zxG0/s1600/IMG_0220.jpg>

²⁰Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. El cultivo de la Guadua. Editolaser. Bogota. Pag 17. Cartilla sin fecha.

- La porción basal se emplea en miembros que van a estar sometidos a compresión o a tensión, por ejemplo, en columnas y vigas maestras.
- La porción intermedia se emplea en armaduras de cerchas en parales y soleras de muros portales o divisorios, en entresuelos o viguetas.
- La porción o tercio superior se emplea en correas de techos, como soporte de tejas de barro y en construcciones de techos de paja.

Ilustración 20 Partes comerciales de la guadua



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. El cultivo de la Guadua. Editolaser. Bogotá.

A continuación se evidencia como pueden ser utilizadas sal diferentes partes de la guadua en una construcción

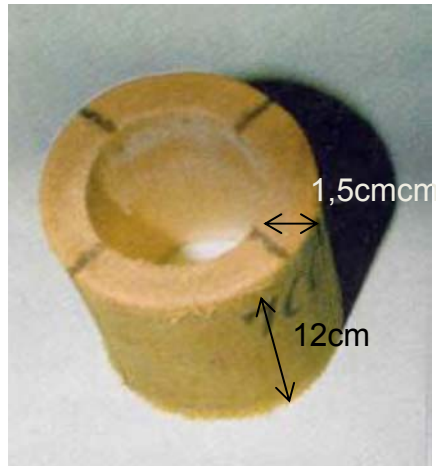
Ilustración 21 Estructura de muros y forjados para una casa



Fuente: <<http://ingenieroenarquitecturamedioambiental.blogspot.com/2012/04/el-bambu-guadua.html>>

El diámetro comercial de la guadua (*“Angustifolia Kunth”*) tiene dimensiones de diámetro exterior de 10 cm - 14cm y un espesor de pared de 1,5 cm – 2,5, estas especificaciones se tuvieron en cuenta para el diseño del modelo al tomar una sección única de diámetro exterior de 12 cm y de pared de espesor de 1,5 cm. (Ver ilustración 22)

Ilustración 22 Sección típica de guadua



Fuente: <<http://idata.over-blog.com/2/94/98/79//gua1-copia-1.gif>>

6.1.5 Viviendas en Guaduas Cundinamarca

Guaduas Cundinamarca es un acogedor municipio que ha venido creciendo tanto en su población como en extensión y así mismo sus construcciones son a base de materiales tradicionales acero, concreto entre otros, que en su gran mayoría pertenecen a personas de estrato social alto, mientras las que están en materiales como la guadua pertenecen a personas de bajos recursos (ver Ilustración 22 y 23).

Ilustración 23 vivienda en guagua a la entrada del Municipio



Fuente: imagen propia.

Ilustración 24 Vivienda de bajos recursos



Fuente: imagen propia.

La guadua ha venido siendo usada en gran mayoría por la población de bajos recursos económicos y se le menosprecia, gracias a esto se le atribuye que es un material poseedor de “pobres” propiedades mecánicas y que no sirve para construir viviendas sismo resistente. A esto se le suman una serie de acontecimientos por ejemplo la utilización como material arquitectónico y estructural de manera empírica por los diferentes constructores que en la mayoría cuyo conocimiento se ha obtenido como resultado del legado de sus generaciones y no como conocimiento producto de estudios realizados a esta planta.

Hoy en día se puede argumentar que gracias a estudios que ya se tienen y que fueron realizados por la nueva concepción de mentes innovadoras hacia el uso de materiales eco amigable como la guadua la cual, no necesita de época de sembrado, es posible tener una explotación racional y tener el recurso permanentemente. (Ver ilustración 25)

Ilustración 25 Construcción en guadua



Fuente:

http://1.bp.blogspot.com/0P4FGeAXQ9w/TdcRgBmriWI/AAAAAAAAAvk/_QdRz1pqYqk/s320/tendinoso.jp

Según el protocolo de Kyoto²¹, los países industrializados deben tomar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre el 2008 y el 2012, y la guadua sería una alternativa económica de mejoramiento ambiental global.

Es por esto que la Guadua ha sido seleccionada como una de las 20 especies de madera prioritarias del mundo. Los procesos industriales de la guadua se enmarcan dentro de la sostenibilidad renovabilidad que se automultiplica vegetativamente según Ximena Londoño.²² “A diferencia de un árbol maderable, esta especie se auto reproduce o se automultiplica vegetativamente. Tiene además alta velocidad de crecimiento, casi 11 cm de altura por día en la región cafetera” y afirma que en sólo 6 meses puede lograr su altura total, hecho positivo si se tiene en cuenta que uno de los problemas más representativos para la siembra de especies maderables y reforestación, es el tiempo que resulta ser extremadamente largo para la obtención de resultados.

De lo anterior se puede analizar la característica particular de la guadua con su enorme vitalidad de crecimiento, brinda condiciones óptimas para su buen desarrollo, lo cual representa la facilidad en la economía con la que se pueden montar programas de aprovechamiento competitivo, rentable y sostenible de la guadua.

²¹ Disponible en: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>>

²² LONDOÑO, Ximena. Conferencia “Usos de la Guadua” (videocasete). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales. Diciembre 12 de 2000.

6.1.6 Beneficios tangibles e intangibles de la guadua en el sector de la construcción

Como se menciona en el documento de ARCILA L., Jorge Humberto., 2000.²³El desarrollo de construcción de vivienda en guadua (ver ilustración 26), podría generar los siguientes beneficios tangibles e intangibles los cuales se verán a continuación:

Ilustración 26 Guadua en el sector de la construcción



FUENTE: <http://img.webme.com/pic/g/guadua/bambu/casa061-janer.jpg>

6.1.6.1 Beneficios tangibles: Para el usuario:

²³ARCILA L., Jorge Humberto. Guadua y Vivienda Institucional hacia la Sostenibilidad: Beneficios Tangibles e Intangibles. Memorias Seminario Guadua en la Reconstrucción, Armenia, Quindío. 2000.

- Tiempo de construcción más reducido.
- Menor empleo de mano de obra especializada.
- Factible de implementar el sistema de autoconstrucción dirigida.
- Menor empleo de materiales de apreciable costo, tales como concreto y acero.
- Posibilidad de utilizar a costos relativamente ventajosos, terrenos de difícil topografía. Para la economía local:
- Valor agregado a la producción local.

6.1.6.2 Beneficios intangibles:

- Adaptabilidad al medio ambiente natural.
- Propiedades físicas y mecánicas ventajosas frente al riesgo sísmico.
- Fácil integración con otros materiales y tecnologías constructivas.
- Fácil manipuleo, transporte y fabricación por el bajo peso del material.
- Aceptable durabilidad.
- Cumple doble propósito: ornamental y estructural.
- Apropiado sustituto de la madera.
- Rápido crecimiento y madurez.
- Indudable el efecto protector del medio ambiente y refugio adecuado para la fauna de aves y mamíferos.

6.1.7 ESTRUCTURAS DE GUADUA SEGÚN (NSR-10). CAPITULO G.12.²⁴

El capítulo establece los requisitos para el diseño estructural y sismo resistente de estructuras que tienen como elemento resistente principal el bambú Guadua (“Angustifolia Kunth”) estos elementos pueden ser diseñados para trabajar con estructuras de composición mixta.

6.1.7.1 REQUISITOS DE CALIDAD PARA GUADUA ESTRUCTURAL

G.12.3.1. La guadua rolliza utilizada como elemento de soporte estructural en forma de columna, viga, vigueta, pie derecho, entramados, entrepisos, debe cumplir con los siguientes aspectos la especie Guadua (“Angustifolia Kunth”) es la única guadua que se contempla, la edad de cosecha para guadua estructural debe estar entre los 4 y los 6 años, el contenido de humedad de la guadua debe corresponder con el contenido de humedad de equilibrio del lugar. Cuando las edificaciones se construyan con guadua en estado verde se deben tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño y también la guadua estructural debe tener una buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada, además se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño del contacto con la humedad, la radiación solar, los insectos y los hongos.

- **CLASIFICACIÓN VISUAL POR DEFECTOS G.12.3.2**

²⁴ ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Titulo G-Estructuras de madera y estructuras de guadua. Colombia.

- Las piezas de guadua estructural no pueden presentar una deformación inicial del eje mayor al 0.33% de la longitud del elemento. Esta deformación se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana y observar si existe separación entre la superficie de apoyo y la pieza.
- Las piezas de guadua estructural no pueden presentar fisuras perimetrales en los nudos ni fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento. En caso de tener elementos con fisuras, estas deben estar ubicadas en la fibra externa superior o en la fibra externa inferior.
- Piezas de guadua con agrietamientos superiores o iguales al 20% de la longitud del culmo no serán consideradas como aptas para uso estructural.
- Las piezas de guadua estructural no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos antes de ser utilizadas.
- No se aceptan guaduas que presenten algún grado de pudrición.
- Todo proceso de preservación y secado de piezas de guadua rolliza debe seguir lo estipulado en la norma NTC 5301.

6.1.7.2 MATERIALES COMPLEMENTARIOS G.12.5. El diseño de estructuras de guadua debe tener en cuenta las características de los materiales complementarios tales como clavos, pernos, conectores, adhesivos, soportes y tableros, según las recomendaciones de los fabricantes. Se deben tomar todas las medidas apropiadas de protección de estos materiales contra la humedad, la corrosión o cualquier agente que degrade su integridad estructural.

6.1.7.3 REQUISITOS DE DISEÑO G.12.6.1

- Todos los elementos de guadua de una estructura deben ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por las combinaciones de las cargas de servicio y las limitaciones de deflexión.
- 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 guadua debe basarse en los principios de la mecánica estructural.
- Los elementos se consideraran homogéneos y lineales para el cálculo de los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.
- El Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico para estructuras de guadua, cuyo sistema de resistencia sísmica sea el de pórticos con diagonales será de $R_0 = 2.0$. En el caso, en que el sistema de resistencia sísmica sea proporcionado por muros de madera laminada o muros de bahareque encementado, se debe toma el valor correspondiente de R_0 , para el sistema elegido.

6.1.7.4 ESFUERZOS ADMISIBLES Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD

G.12.7.3. Toda guadua que cumpla con los requisitos de calidad establecidos, debe utilizar para efectos de cálculo los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad consignados en las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 respectivamente.

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 (Cp). El $E_{0.05}$ se debe utilizar para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean críticas o requieren un nivel de seguridad superior al promedio.

En todo caso, la escogencia del módulo de elasticidad indicado dependerá del criterio del ingeniero calculista.

Tabla 1 Tabla G.12.7-3 NSR-10 Factores de reducción

| Factor | Flexión | Tracción | Compresión | Compresión ⊥ | Corte |
|----------------------|----------------|-----------------|----------------------|---------------------|--------------|
| FC | - | 0.5 | - | - | 0.6 |
| F_s | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.8 | 1.8 |
| FDC | 1.5 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | 1.1 |

6.1.7.5 COEFICIENTES DE MODIFICACIÓN G.12.7.5

Con base en los valores de esfuerzos admisibles y los módulos de elasticidad de la tabla, 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 solicitaciones admisibles de todo miembro estructural, según las prescripciones de los numerales siguientes, con los esfuerzos admisibles modificados de acuerdo con la formula general:

Dónde:

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c \quad (\text{G.12.7-3})$$

i = tiene el mismo significado que en el numeral anterior

CD = coeficiente de modificación por duración de carga

Cm = coeficiente de modificación por contenido de humedad

Ct = coeficiente de modificación por temperatura

CL = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas

CF = coeficiente de modificación por forma

Cr = coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta

Cp = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas

Cc = coeficiente de modificación por cortante

Fi = esfuerzo admisible en la solicitación i

F'i = esfuerzo admisible modificado para la solicitación i

- **POR DURACIÓN DE LA CARGA (CD) G.12.7.6.** Se considera que la duración normal de una carga son 10 años, cuando un elemento estructural está sometido a duraciones de carga diferentes, se debe multiplicar los valores de la tabla G.12.7-1 por los valores de la tabla G.12.7-4

Tabla 2 Tabla G.12.7-4 NSR-10 Coeficientes de modificación por duración de carga

| 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 |
| 7 días | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 0.9 | 1.25 | |
| Diez minutos | 1.60 | 1.60 | 1.6 | 0.9 | 1.60 | |
| impacto | 2.00 | 2.00 | 2.0 | 0.9 | 2.00 | Viento y Sismo Impacto |

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 (Cm) G.12.7.7** La guadua al igual que la madera pierde resistencia y rigidez, a medida que aumenta su contenido de humedad. Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad reportados en las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 fueron calculados para un contenido de humedad de la guadua de CH=12%. Si las condiciones medioambientales en el sitio de construcción hacen variar el contenido de humedad de la guadua por encima del 12%, se deben ajustar los valores de las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2, multiplicándolos por los valores de la tabla G.12.7-5

Tabla 3 Tabla G.12.7-5 NSR-10 Coeficientes de modificación por contenido de humedad (Cm)

| Esfuerzos | | CH ≤ 12% | CH = 13% | CH = 14% | CH = 15% | CH = 16% | CH = 17% | CH = 18% | CH ≥ 19% |
|--------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Flexión | F_b | 1.0 | 0.96 | 0.91 | 0.87 | 0.83 | 0.79 | 0.74 | 0.70 |
| Tracción | F_t | 1.0 | 0.97 | 0.94 | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.83 | 0.80 |
| Compresión paralela | F_c | 1.0 | 0.96 | 0.91 | 0.87 | 0.83 | 0.79 | 0.74 | 0.70 |
| Compresión perpendicular | F_p | 1.0 | 0.97 | 0.94 | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.83 | 0.80 |
| Corte | F_y | 1.0 | 0.97 | 0.94 | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.83 | 0.80 |
| Modulo de elasticidad | $E_{0.5}$ | 1.0 | 0.99 | 0.97 | 0.96 | 0.94 | 0.93 | 0.91 | 0.90 |
| | $E_{0.05}$ | | | | | | | | |
| | E_{min} | | | | | | | | |

La guadua una vez ha sido cosechada tiende a secarse hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio con el sitio en donde se encuentra. Si el secado es mecánico y se logra bajar el contenido de humedad de la guadua por debajo del 12%, esta 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 (Ct) G.12.7.8** Cuando los elementos estructurales de guadua estén sometidos a altas temperaturas, los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las tablas respectivamente, deben ser multiplicados por los valores de la tabla G.12.7-6, para la condición de temperatura a la cual estén expuestos.

Tabla 4 Tabla G.12.7-6. NSR-10 Coeficientes de modificación por temperatura (Ct)

| Esfuerzos | | Condiciones de servicio | (C_t) | | |
|--------------------------|-------|-------------------------|---------------------------|---|---|
| | | | $T \leq 37^\circ\text{C}$ | $37^\circ\text{C} \leq T \leq 52^\circ\text{C}$ | $52^\circ\text{C} \leq T \leq 65^\circ\text{C}$ |
| Flexión | F_b | Húmedo | 1.0 | 0.60 | 0.40 |
| | | Seco | | 0.85 | 0.60 |
| Tracción | F_t | Húmedo | | 0.85 | 0.80 |
| | | Seco | | 0.90 | |
| Compresión paralela | F_c | Húmedo | | 0.65 | 0.40 |
| | | Seco | | 0.80 | 0.60 |
| Compresión perpendicular | F_p | Húmedo | | 0.80 | 0.50 |
| | | Seco | | 0.90 | 0.70 |
| Corte | F_y | Húmedo | | 0.65 | 0.40 |
| | | Seco | | 0.80 | 0.60 |
| Modulo de elasticidad | E | Húmedo | | 0.80 | |
| | | Seco | | 0.90 | 0.80 |

- POR ACCIÓN CONJUNTA (Cr) G.12.7.9** 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

6.1.7.6 DISEÑO DE ELEMENTO SOMETIDOS A FLEXIÓN G.12.8. El diseño de elementos a flexión en guadua rolliza seguirá los mismos procedimientos básicos usados en el diseño de vigas de otros materiales estructurales.

Debido a que la Guadua (“*Angustifolia kunth*”) 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 las deflexiones admisibles, salvo en algunas excepciones, no obstante, siempre se debe comprobar la resistencia a la flexión, corte y aplastamiento.

En el diseño de miembros o elementos de guadua sometidos a flexión se deben verificar los siguientes efectos y 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)

Debe garantizar que los apoyos de un elemento de guadua 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 (cañutos) 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 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.

6.1.7.7 PERFORACIONES G.12.8.6. Debe evitarse practicar perforaciones en las vigas; de requerirse, deben encontrarse consignadas en los planos y tener en cuenta que 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 y el tamaño máximo de la perforación será de 3.81 mm. Así mismo en los apoyos y los puntos de aplicación de cargas puntuales se permiten las perforaciones, siempre y cuando estas sean para poder rellenar los entrenudos con mortero de cemento.

- **AREA NETA G.12.8.7** El área de la sección transversal constituida por un (1) solo culmo será calculada con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - 2t)^2 \right) \quad \text{(G.12.8-1)}$$

Dónde:

A = área neta de la sección transversal de guadua, mm²

De = 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 utilizado en obra debe tener mínimo las mismas medidas del diseño en su parte superior (parte más estrecha de la guadua).

- **LUZ DE DISEÑO G.12.8.8.** 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.

6.1.7.8 DEFLEXIONES G.12.8.9. La Guadua “(Angustifolia kunth)” presenta una relación MOR/MOE muy alta, lo que obliga a que el diseño de elementos a flexión este regido por las deflexiones admisibles. Las deflexiones en elementos de Guadua se deben calcular de acuerdo a las formulas de la teoría elástica tradicional, se debe considerar la deflexión producida por la flexión.

Para el cálculo de la deflexión en vigas simplemente apoyadas se utilizaran las formulas de la tabla G.12.8-1 NSR-10

Tabla 5 Tabla G.12.8-1 NSR-10 Fórmulas para el cálculo de deflexiones

| Condición de carga | Deflexión |
|--------------------------------------|---|
| Carga Puntual en el centro de la luz | $\Delta = \frac{Pl^3}{48EI} K$ (G.12.8-2) |
| Carga distribuida | $\Delta = \frac{5}{384} \frac{\omega l^4}{EI} K$ (G.12.8-3) |

Las deflexiones admisibles estarán limitadas a los valores de la tabla G.12.8-2

Tabla 6 Tabla G.12.8-2 NSR-10 Deflexiones admisibles δ (mm), nota3

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

Las deflexiones de vigas, viguetas, entablados, pies derechos, se calcularán con el módulo de elasticidad promedio $E'0.5$, no obstante, si las condiciones de servicio son severas o el nivel de seguridad requerido es muy alto, se podrá utilizar el módulo de elasticidad del percentil 0.05, $E'0.05$, o el módulo de elasticidad mínimo, E_{min}

6.1.7.9 EFECTO DEL CORTANTE G.12.8.9.6 Para los elementos con relación $l/D_e \leq 15$, se debe realizar una corrección por cortante (C_c), en la tabla G.12.8-3 se relacionan los valores de C_c para el módulo de elasticidad promedio $E0.5$.

Tabla 7 Tabla G.12.8-3NSR-10 Valores de C_c

| l/D_e | C_c |
|---------|-------|
| 5 | 0.70 |
| 7 | 0.75 |
| 9 | 0.81 |
| 11 | 0.86 |
| 13 | 0.91 |
| 15 | 0.93 |

6.1.7.10 CARGAS PARA CÁLCULO DE SECCIÓN Y DEFLEXIONES

G.12.8.9.7. 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 G.12.8-4, con la deflexión admisible de la tabla G.12.8-2 y determinar el momento de inercia I requerido. Igualmente en la tabla G.12.8-4 se presentan las combinaciones de carga para el cálculo de las deflexiones inmediatas y diferidas a 30 años.

Tabla 8 Tabla G.12.8-4 NSR-10 Cargas w para cálculo de sección y deflexiones

| Condición | $CH \leq 19\%$ $t \leq 37^\circ C$ Clima constante | $CH \geq 19\%$ $t \leq 37^\circ C$ Clima variable |
|-------------------------------------|---|--|
| Calculo de sección (w) | 2.0 D + L | 2.0 D + L |
| Deflexiones inmediatas (W_{-i}) | D + L | D + L |
| Deflexiones diferidas (W_{-f}) | 2.8 D + 1.3 L | 3.8 D + 1.4 L |

6.1.7.11 FLEXIÓN G.12.8.10. 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 G.12.7-1, establecida para los culmos de guadua rolliza, modificado por los coeficientes de duración de carga y redistribución de carga, según el caso.

- **ESTABILIDAD LATERAL Y COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN (CL) G.12.8.10.3.** En vigas o viguetas conformadas por una sola guadua el coeficiente modificación será $CL=1$ Cuando una viga está conformada por dos o más guaduas (viga de sección compuesta), se debe verificar si esta requiere o no de soporte lateral en la zona comprimida. El coeficiente de modificación por estabilidad lateral (CL), 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 guaduas), cuya relación alto (d) ancho (b) sea mayor que $(d/b) > 1$, deben incluirse soportes laterales para prevenir el pandeo o la rotación.

- **ESTABILIDAD LATERAL DE VIGAS COMPUESTAS G.12.8.10.6** Para vigas de sección compuesta por dos o más guaduas se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión (F_b), por el valor de C_L de la tabla G.12.8-5. NSR-10

Tabla 9 Tabla G.12.8-5 NSR-10 Coeficientes C_L para diferentes relaciones d/b .

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

- **ESTABILIDAD LATERAL G.12.8.10.7.** En vigas compuestas por más de una guadua 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 G.12.8.10.8** El esfuerzo a flexión actuante (f_b) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo a flexión admisible (F'_b) modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la formula G.12.8-4

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b \quad \text{(G.12.8-4)}$$

En dónde:

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 mm³

El módulo de sección S , para una guadua se expresa con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\pi(D_e^4 - [D_e - 2t]^4)}{32 D_e} \quad \text{(G.12.8-5)}$$

En dónde:

S = módulo de sección en mm³

D_e = diámetro promedio exterior del culmo en mm

t = espesor promedio de la pared del culmo en mm

- CORTANTE G.12.8.11** Los esfuerzos máximos de corte serán calculados a una distancia del apoyo igual a la altura (h) del elemento. Para vigas conformadas por una sola guadua dicha altura será igual al diámetro exterior (De), de la misma, exceptuando en voladizos donde el esfuerzo máximo de corte será calculado en la cara del apoyo. Para vigas conformadas por 2 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 guadua rolliza tabla G.12.7-1, modificado por los coeficientes a que haya lugar.

Esfuerzo cortante paralelo a las fibras G.12.8.11.2 El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante (fv) sobre cualquier sección de guadua rolliza, no debe exceder el valor del esfuerzo cortante paralelo a las fibras admisible (fv), modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la formula.

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v \quad \text{(G.12.8-9)}$$

Dónde:

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

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

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

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

F'v = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

v = fuerza cortante en la sección considerada, en N

6.1.7.12 DISTRIBUCIÓN DE CONECTORES EN VIGAS DE SECCIÓN

COMPUESTA G.12.8.11.3 Cuando se construyen vigas con dos o más culmos de guadua se debe garantizar su estabilidad por medio de conectores transversales de acero, que garanticen el trabajo en conjunto.

El máximo espaciamiento de los conectores no puede exceder el menor valor de 3 veces el alto de la viga ($3h$), un cuarto de la luz ($l/4$) o el resultado de la formula G.12.8-10

$$j = \frac{7 \cdot l}{V} \quad \text{(G.12.8-10)}$$

Dónde:

j = espaciamiento entre conectores de vigas compuestas en mm

A = luz de la viga en mm

V = máximo cortante en la viga en kN

Todos los cañutos por los que atraviese un conector en vigas de sección compuesta, deben estar rellenos de mortero de cemento véase la figura G.12.8-2. El primer conector se debe ubicar a una distancia igual a 50mm, medidos desde la cara del apoyo.

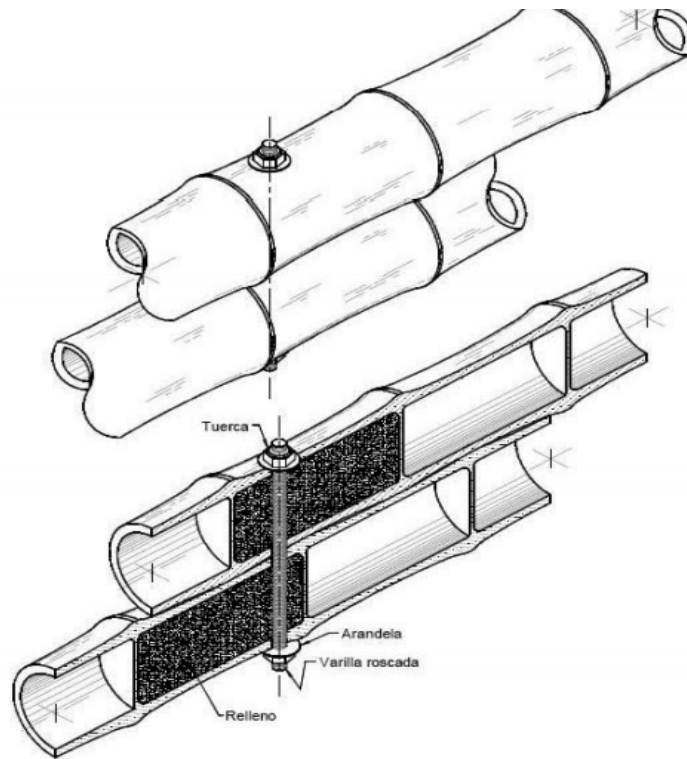


Ilustración 27 Figura G.12.8-2 - Detalle conectores secciones compuestas

- APLASTAMIENTO G.12.8.12.** 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 actuantes no debe exceder al esfuerzo admisible de compresión perpendicular modificado por los coeficientes a que haya lugar.

G.12.8.12.2 El esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra actuante se calcula con la formula G.12.8-11.

$$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2l} \leq F'_p \quad (\text{G.12.8-11})$$

En donde:

F'_p = esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

f_p = esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, en MPa

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

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

l = longitud de apoyo, en mm

R = Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, en N

Todos los cañutos 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 4 parte ($F'_p / 4$).

6.1.7.13 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FUERZA AXIAL

G.12.9 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.

Elementos solicitados a tensión axial G.12.9.1.1 El esfuerzo de tensión axial actuante (f_t) para cualquier sección de guadua 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 formula G.12.9-1

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F'_t \quad (\text{G.12.9-1})$$

En 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 mm²

En lo posible se deben evitar los diseños, en los cuales los elementos estructurales de guadua angustifolia 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 refuerzo en la zona comprometida, a través de zunchos metálicos o platinas.

- **ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL G.12.9.2** 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 formula G.12.9-2.

$$l_e = l_u k \quad (\text{G.12.9-2})$$

Dónde:

l_u = longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm

k = coeficiente de longitud efectiva, según las restricciones en los apoyos tabla G.12.9-1

l_e = longitud efectiva, en mm

Tabla 10 Tabla G. 12.9-1 NSR-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 |

- **Esbeltez G.12.9.2.2.**

En columnas constituidas por un culmo de guadua, la medida de esbeltez está dada por la formula G.12-9-3

$$\lambda = \frac{l_e}{r} \quad (\text{G.12.9-3})$$

En donde:

λ = relación esbeltez del elementol = 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 (1) solo culmo será calculado con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{(D_e^2 + (D_e - 2t)^2)}}{4} \quad (\text{G.12.9-4})$$

En donde:

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

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

r = radio de giro de la sección

- **Clasificación de columnas G.12.9.2.6.** Según su relación de esbeltez, las columnas de guadua rolliza se clasifican en cortas, intermedias o largas.

Tabla 11 Tabla G.12.9-2 NSR-10 Clasificación de Columnas por esbeltez

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

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

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}} \quad (\text{G.12.9-6})$$

Dónde:

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 G.12.9.2.7.**

- **Columnas cortas ($\lambda < 30$)** El esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante (f_c) sobre cualquier sección de guadua 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, de acuerdo a la ecuación G.12.9-7

$$f_c = \frac{N}{A_n} \leq F'_c \quad (\text{G.12.9-7})$$

Dónde:

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

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

A_n = área neta de la sección transversal, en mm²

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

- **Columnas intermedias G.12.9.2.7.2.** ($30 < \lambda < k$). El esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante (f_c) sobre cualquier sección de guadua 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, de acuerdo a la ecuación G.12.9-8

$$f_c = \frac{N}{A_n \left(1 - \frac{2}{5} \left[\frac{\lambda}{C_K} \right]^3 \right)} \leq F'_c \quad (\text{G.12.9-8})$$

Dónde:

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

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

An = área neta de la sección transversal, en mm²

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

λ = esbeltez, formula G.12.9-3

Ck = esbeltez que marca el límite entre columnas intermedias y largas.

- **Columnas largas G.12.9.2.7.3.** (C 150 k <λ<), el esfuerzo máximo de compresión paralela a la fibra actuante () cf sobre cualquier sección de guadua 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, de acuerdo a la ecuación G.12.9-9

$$f_c = 3.3 \frac{E_{0.05}}{\lambda^2} \leq F'_c \quad (\text{G.12.9-9})$$

Dónde:

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

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

λ = esbeltez, formula G.12.9-3

E0.05 = módulo de elasticidad del percentil 5, en MPa

Todos los elementos que además de estar solicitados por compresión axial se encuentran solicitados por momento flector deben ser diseñados de acuerdo a lo estipulados en G.12.10

6.1.7.14 DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXIÓN Y CARGA AXIAL G.12.12. Estos elementos deben estar diseñados para cumplir con la siguiente ecuación:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0 \quad (\text{G.12.10-1})$$

Dónde:

f_t = esfuerzo a tensión actuante en MPa

F'_t = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

f_b = esfuerzo a flexión actuante, en MPa

F'_b = esfuerzo a flexión admisible modificado en, MPa

6.1.7.15 ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXOCOMPRESIÓN. G12.10.2.

Son los elementos que se encuentren sometidos a fuerzas de compresión y flexión deben estar diseñados para que cumplan la siguiente ecuación:

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0 \quad (\text{G.12.10-2})$$

Dónde:

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, calculados con la fórmula G.12.10-3

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})} \quad (G.12.10-3)$$

Dónde:

Km= coeficiente de magnificación de miembros

Na = carga de compresión actuante en N

Ncr = carga crítica de Euler calculada con la fórmula G.12.10.4

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{\ell_e^2} \quad (G.12.10-4)$$

Dónde:

Ncr = carga crítica de Euler en N

E0,05 = módulo de elasticidad del percentil 5, en MPa

I = momento de inercia de la sección en mm⁴

Le= longitud efectiva del elemento en mm

6.2 MARCO GEOGRÁFICO

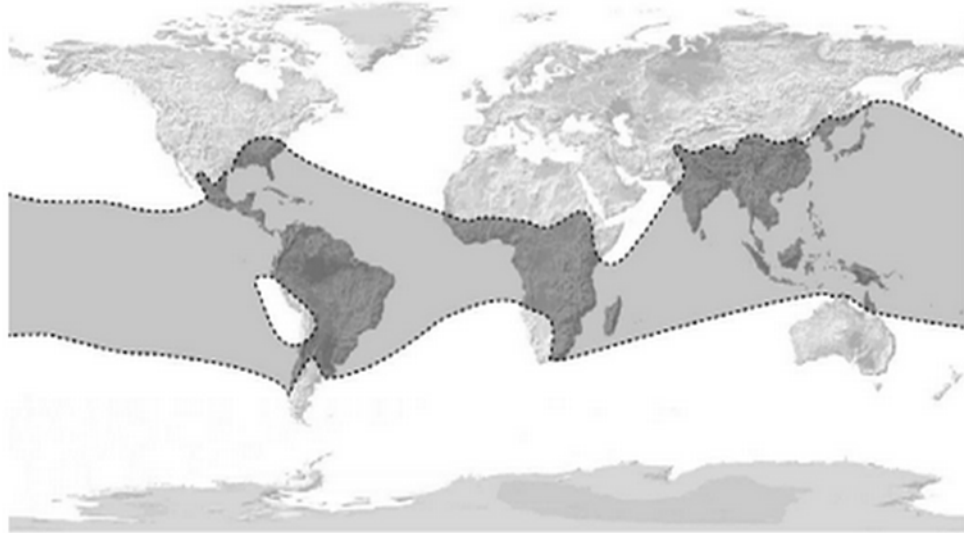
6.2.1 Distribución Mundial del (“*Bambú*”) En el mundo existen cerca de 1600 especies de (“*Bambú*”), y el 64% son nativos del suroeste de Asia, 33% crece en Latinoamérica, y el resto en África y Oceanía. En Norteamérica existen únicamente tres especies nativas, comparadas con las 440 de Latinoamérica, según Adams²⁵, se encuentran en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo y en algunas zonas templadas, con excepción de Europa, en los trópicos de cáncer y capricornio y desde el nivel del mar hasta el límite de las nieves; en América tropical se reconocen 41 géneros, y aproximadamente de 440 a 460 especies, los géneros más representativos en Colombia.

La guadua constituye el género de bambú nativo más importante de América latina tropical, es endémica de América con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, las cuales se pueden encontrar en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2200 m.s.n.m.²⁶

²⁵ ADAMS, C.HIDALGO Oscar. 1998. Bambu architecture and constructionwith.designer. Builder magazine.p 471

²⁶ GONZALEZ YEBRA, Oscar. Caracterización del bambú guadua (“*guadua Angustifolia*”) para el diseño e industrialización en España. Contexto bambú guadua. P.1,2.

Ilustración 28 Distribución mundial del bambú



Fuente: www.esacademic.com

En Colombia la guadua ha tenido una tradición histórica, cultural, económica y de conservación medioambiental en toda la región cafetera que se ha ido extendiendo por todo el territorio. Actualmente se calcula un área de guaduales de más de 54.000 hectáreas, de las cuales más del 60 % son naturales y el resto cultivadas; solo la zona cafetera aporta más del 50%.

6.2.2 Municipio de Guaduas Cundinamarca En la tabla 12. Se puede evidenciarla descripción de la zona del Municipio de Guaduas Cundinamarca, el cual es el escogido para el diseño de la vivienda eco amigable gracias a que cuenta con unas características que facilitan el libre desarrollo de un proyecto de esta magnitud.

Tabla 12. Descripción general de la zona.

| | |
|--------------|---------------------|
| País | Colombia |
| Departamento | Cundinamarca |
| Región | Andina |
| Provincia | Bajo Magdalena |
| Ubicación | 5°4'10"N 74°35'53"O |
| Altitud | 992 msnm |
| Distancia | 105 km a Bogotá |
| Fundación | 20 de abril de 1572 |
| Población | 19.911 hab. (1) |

Disponible

en:http://1.bp.blogspot.com/0P4FGeAXQ9w/TdcRgBmriWI/AAAAAAAAAvk/_QdRz1pqYqk/s320/tendinoso.jpg

6.2.2.1 Historia Villa De Guaduas. El árbol característico fue la guadua, umbrosa y de verde fresca propia de los climas suaves y útil en la construcción de casas. Fue fundada originalmente el 20 de abril de 1572 (441 años) por Andrés Díaz Venero de Leiva.

6.2.2.2 Ubicación La Villa de Guaduas está situada al noroccidente de Cundinamarca. Hoy día tiene una distancia a Bogotá por carretera de 110 km y unos 35 km de la ciudad de Honda. Está a una altura de 1.100 m sobre el nivel del mar y mantiene un clima de aproximados 24 grados centígrados. De Medellín se separa por la autopista que lleva su nombre por una distancia de 300 km. Está localizada en un valle, en una depresión de la vertiente occidental de la cordillera oriental, valle que se encuentra atravesado en toda su extensión de oriente a occidente por un camino empedrado denominado camino real que fue hecho por los indígenas y mulatos de la época de la Colonia, dirigido por los españoles. Es

un centro agrícola y turístico de cierta importancia. Cuenta con unos 19.911 habitantes.²⁷

Ilustración 29 Mapa del Municipio de Guaduas, Cundinamarca (Colombia)



Fuente: imagen extraída de Google Earth.

²⁷Alcaldía de Guaduas Cundinamarca. Estrategias de gobierno en línea por un gobierno de puertas abiertas. En línea : www.guaduas-cundinamarca.gov.co

Ver ilustración 30 del municipio de Guaduas Cundinamarca, en donde se puede observar la imagen de la iglesia principal en el fondo, y también apreciar la belleza de sus lugares y la tranquilidad propia de dicho lugar.

Ilustración 30 Parque principal en el municipio de Guaduas Cundinamarca



Fuente:www.camarahonda.org.com.

En el recorrido al municipio de Guaduas Cundinamarca se pudo observar una arquitectura autóctona propia de su legado el cual ha adquirido a través de la historia, sus vías en piedra, cemento y las vías principales en cemento asfáltico, la construcción de sus viviendas en materiales tradicionales de adobe, mampostería estructural, tejas de zinc con guadua esto se puede ver claramente en la ilustración 31.

Ilustración 31 Centro de Guaduas Cundinamarca



Fuente: imagen propia.

6.2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Para la determinación de las características climáticas que se refieren a precipitación, temperatura media, humedad relativa y Sistema hídrico del municipio de Guaduas Cundinamarca se tomó como texto el documento plan de ordenamiento territorial de Guaduas Cundinamarca, en la oficina de Planeación de Guaduas y como estación de referencia se tomó la Esperanza.²⁸

6.2.3.1 Precipitación El Plan Básico de Ordenamiento Territorial, determina la precipitación media en el área occidental de Guaduas es de 1.628.7 mm. Anuales, con una distribución bimodal donde se identifican dos períodos bien definidos a lo largo del año, los dos períodos de máxima precipitación correspondientes a los meses de septiembre a diciembre y marzo a mayo tienen

²⁸OFICINA DE PLANEACION DE GUADUAS. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Diagnostico por subsistemas. Colombia. 2000. P.4

una precipitación acumulada de 1.145 mm equivalente al 70.3% del total, en el segundo período se presentan el 29.7% restante de la precipitación, con valores máximos en noviembre alcanzando hasta 425 mm. Y los valores más bajos en los meses de junio y julio sin precipitación alguna.

Para definir una distribución espacial del comportamiento general de las lluvias en Guaduas, se tienen unas isoyetas anuales, de donde puede concluirse que los valores más altos de precipitación se registran sobre la parte Central del municipio, alcanzando intensidades de 1500 mm.

En los sectores Norte y Sur se presentan lluvias similares, cuya intensidad oscila entre los 1000 y 1350 mm. Sin embargo, es importante establecer que el Sector Norte del bloque evidencia condiciones más secas que el Sector Sur, lo cual se corrobora con el paisaje mismo (cobertura vegetal) y el comportamiento de los cuerpos hídricos de acuerdo a su dinámica particular.

6.2.3.2 Temperatura Media (sector Oriental y Occidental) La caracterización climática se determina a partir del gradiente vertical de temperatura (GVT), el cual estima que por cada 100 metros de variación de altura, la temperatura disminuye o aumenta 0.65 °C. Se toma la estación La Esperanza, localizada en el Municipio de Honda, como referencia.

Para el área centro Oriental del municipio localizado a una elevación que oscila entre los 1000 y 1200 msnm. y 24 °C, donde los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre presentan los valores más bajos, mientras que los meses de Julio, Agosto y Septiembre los más altos.

Las Temperaturas Medias Promedias tienen un registro de 22 años en la estación La Esperanza. Un promedio de 28.0 °C y oscilaciones entre los 25.5 y 31.1 °C a lo largo del año en el área occidental del municipio (Temperaturas Mínima y Máxima).

6.2.3.3 Humedad Relativa El análisis en la estación la Esperanza, la humedad relativa media en donde se mantiene en general por encima del 66% mensual, llegando hasta el 81% en el mes de Noviembre, mientras que para el periodo Julio – Agosto desciende considerablemente.

Estos resultados son consecuentes con los períodos secos y húmedos ya establecidos, los cuales corresponden a los meses de julio – agosto y finales de año respectivamente.

6.2.3.4 Sistema hídrico del municipio Los sistemas ambientales de Guaduas pertenecen a la hoya hidrográfica del río Negro, y cuenca Río Guaduro y a la Hoya Hidrográfica del Río Magdalena- cuenca Río Seco de las Palmas y Cuenca Río seco Norte código.

6.2.4 Guadales en guaduas Cundinamarca En la salida técnica que se hizo como reconocimiento en el municipio de Guaduas Cundinamarca, se encontró referente a la siembra de guadua que ha disminuido de una manera sustancial dentro del municipio, pero aún se encuentran algunos cultivos esporádicos dentro de la zona urbana y se conservan guadales de mayor extensión en la parte rural del Municipio.(Ver Ilustración 32 Guadual)

Ilustración 32 Guadual



Fuente: imagen propia

En el municipio de guaduas Cundinamarca es un lugar óptimo para el cultivo de la guadua debido a sus propiedades climáticas y a su altura sobre el nivel de mar que facilita el libre desarrollo de la guadua (*“Angustifolia Kunth”*)

Tabla 2 Condiciones de siembra

| Donde Sembrar | |
|----------------------|---|
| Altitud | 400 a 2.000 m.s.n.m |
| Temperatura | 18 °C a 22 °C |
| Precipitación | Superior a 1.300 milímetros por año |
| Humedad Relativa | 80% |
| Suelos | Areno-limosos, arcillosos, sueltos profundos, bien drenados y fértiles. |
| Como Sembrar | |
| Distancia de Siembra | 5 X 5 metros |
| Plateo | 1.5 metros |
| Hoyo | 40 X 40 centímetros |

FUENTE: <http://www.revista-mm.com/ediciones/rev34/cuadro1.gif>

6.3 MARCO LEGAL

6.3.1 NORMA SISMO RESISTENTE DEL 2010(NSR-10), El ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial con junto al viceministerio de vivienda y desarrollo territorial en su dirección del sistema habitacional de la república de Colombia implemento el reglamento de construcciones sismo resistentes la norma NSR-10 mediante la comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes (creada por la ley 400 de 1997) en donde se dan las especificaciones técnicas requeridas para el diseño de las estructuras en Colombia, dado el tipo de estructura que se desea diseñar según la NSR-10 de Colombia se deben seguir las especificaciones de la misma para poder realizar un diseño que sea sismo resistente y aceptado por la comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes y por ende capacitado para ser aprobado en cualquier curaduría u oficina de planeación publica de cualquier municipio en Colombia.

- El título G. Específicamente el Capítulo 12 nos indica los parámetros para diseñar una estructura en guadua, como se deben tomar los parámetros de diseño para la estructura en cuanto a efectos cortantes, deformaciones por flexión, efectos por fuerzas axiales, módulos de elasticidad para diseñar la edificación etc.
- El título A. El cual indica los requisitos generales de diseño y Construcción sismo resistente, por el cual se determinan los parámetros básicos para realizar un diseño sismo-resistente.
- Título B. Donde se dan los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones con respecto a cargas que deben emplearse en su diseño, diferente a las fuerzas o efectos que impone el sismo.

6.3.2 OTRAS NORMAS VIGENTES EN COLOMBIA En Colombia las Normas sismoresistentes no son las únicas normas que hablan sobre la guadua y su proceso constructivo es importante también mencionar otras normas que nos hablen sobre este material.

- Ley General Forestal (Ley 1021 de 2006). Esta ley tiene por objeto establecer el Régimen Forestal Nacional, con el fin de promover el desarrollo sostenible del sector forestal colombiano de esta forma está compuesta por un conjunto coherente de normas legales y coordinaciones institucionales.
- Norma ICONTEC NTC 5300. Tiene como fin gestionar y promover la cultura de la producción y el consumo sostenible de los Recursos Naturales, a través de la investigación con universidades e institutos d forma integral.
- CORPOCALDAS: Resolución No. 185/2008. Esta resolución regula el manejo de los bosques naturales y aprovechamiento de la guadua, caña brava y bambú.
- CRQ: Resolución No. 666 / 2008, esta es una norma unificada para el aprovechamiento y manejo de la guadua en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.
- CARDER: Resolución No. 944 / 2008: es una fuente que presta servicios como facilitar a los ciudadanos los trámites de carácter ambiental necesarios para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables.
- CORTOLIMA: Resolución No. 1150 / 2008. Por la cual se reglamenta el manejo y aprovechamiento sostenible de los bosques naturales y las

plantaciones protectoras y productoras de guadua, caña brava y bambú, así mismo también la declara como especies forestales, de acuerdo a sus propiedades físico mecánicas, facilidades ambientales y económicas y la particularidad de formar bosques.

- CVC: Resolución No. 0100 0439 / 2008. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca en donde documentos técnicos, material didáctico, material gráfico y realiza publicaciones de todo tipo de información, que son necesarios para la planificación, concertación y ejecución de planes de ordenamiento y manejo de cuencas, para la concientización y educación de la comunidad en materia de los recursos naturales y del medio ambiente.

7 METODOLOGÍA

7.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, dado que busca elaborar el diseño estructural de una vivienda modelo. El estudio se enfocará en el diseño de una estructura para una casa a base de guadua que cumpla con los parámetros establecidos por la NSR-10 para el municipio de Guaduas Cundinamarca.

7.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo cuasi experimental debido a que se eligieron variables como el lugar controlando así varios aspectos de diseño como la humedad de la zona, la altitud, los tipos de vientos existentes, así mismo se eligió el tipo de material el cual se va a implementar en el diseño. Controlando las variables dependientes del material como son el módulo de elasticidad, relación de Poisson, coeficiente de deformación térmica, entre otros.

7.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

7.3.1 Fase 1 Identificación del tipo de vivienda eco-amigable para el diseño de su sistema estructural basado en guadua según los indicadores aplicables a este tipo de estructuras.

1. Visita al municipio de Guaduas Cundinamarca: recopilar información existente acerca de los parámetros de sostenibilidad que sirvan para elaborar el marco conceptual. Es importante hacer un reconocimiento del lugar que brinde una idea más clara acerca de la comunidad y la zona, en la cual se va a trabajar, es necesario observar cual es el estado de las condiciones ya existentes, sus materiales, la opinión de la

población acerca de las viviendas en guadua y los posibles terrenos en los cuales se podría implementar este proyecto.

2. Determinación del tipo de casa, bajo los principios de sostenibilidad aplicados al municipio de Guaduas Cundinamarca, luego de tener un conocimiento más claro acerca de la zona y escoger el lugar específico donde se pueda realizar el proyecto, es importante decidir específicamente cual es el tipo de vivienda a implementar.
3. Selección del proyecto arquitectónico, al tener definido el tipo de proyecto y las características del mismo, escoger los planos arquitectónicos para el desarrollo proyecto.

7.3.2 Fase 2 Modelación de la estructura de una vivienda basada en elementos estructurales de guadua ubicada en el municipio de Guaduas Cundinamarca.

1. Entrada de datos de la estructura en el programa de procesamiento estructural (SAP 2000). La modelación es necesaria para hallar de manera sistemática y objetiva solicitaciones frente a las cargas de la estructura.
2. Determinación de las solicitaciones de la estructura para todos los tipos de carga establecidos por la NSR-10, para realizar un diseño óptimo y sismo resistente se deben seguir los parámetros establecidos por la norma colombiana vigente.
3. Elaboración de hojas de cálculo para diseño estructural en guadua de acuerdo a la NSR-10, debido a que los programas actuales no tienen implementada la guadua como un material tradicional que se utilice en la construcción, es necesario ajustar los resultados y verificarlos mediante hojas de cálculo que sigan los parámetros de la NSR-10. Para realizar esta actividad se requiere aplicar una serie de ecuaciones establecidas en dicha norma.

4. Diseño de elementos estructurales, al obtener las secciones mínimas requeridas por el diseño estructural se continúa con la adaptación del modelo para correr de nuevo la estructura realizando los pasos 2,3 y 4 de manera iterativa hasta obtener un buen diseño estructural.

7.3.3 Fase 3 Elaboración de los planos estructurales finales, memorias de cálculo.

Elaboración de Planos Estructurales finales en guadua, cuando se obtiene el diseño final de los elementos estructurales, se procede a adecuar los planos estructurales para representar de manera clara y efectiva cómo debe realizarse la construcción de la estructura.

Elaboración de memorias de cálculo estructurales, presentación de las memorias finales del proyecto, donde se mostrarán las solicitaciones y las hojas de cálculo elaboradas junto con el documento de presentación final.

8 RESULTADOS

8.1 Identificación del tipo de vivienda Eco-Amigable

- Se realizó una visita de campo al municipio de Guaduas Cundinamarca los días 8 y 9 de febrero de 2014 donde se recopiló una serie de información sobre el municipio, con lo cual se efectuó un informe de campo (ver anexo 1) y se encontró que a pesar de que el municipio de Guaduas posee unas condiciones ideales para la utilización de la guadua como material principal en construcción dado a su fácil asequibilidad al sitio, disposición del material, clima y humedad, no se encuentran muchas construcciones de este tipo y de las encontradas solo una parece cumplir con la Norma Sismo Resistente Colombiana 2010.
- Posteriormente de acuerdo a los parámetros básicos de sostenibilidad se determinó seleccionar una casa de tipo semi-campestre donde se pueda apreciar un entorno confortable con la naturaleza; de un piso con un techo alto debido a que la zona es una zona de altas temperaturas, con arquitectura agradable a la vista y que mezcle un entorno natural con uno vanguardista capaz de involucrar a la guadua como su principal sistema estructural.
- Por otra parte, se escogió la alternativa del arquitecto Edgardo Ariel Calderón Beltrán, dado que cumple con los estándares mínimos de sostenibilidad, es de un piso con techo altos lo que mejora la calidad de vida y el confort del propietario respecto a una casa con el techo bajo en una zona de altas temperaturas como lo es el municipio de Guaduas

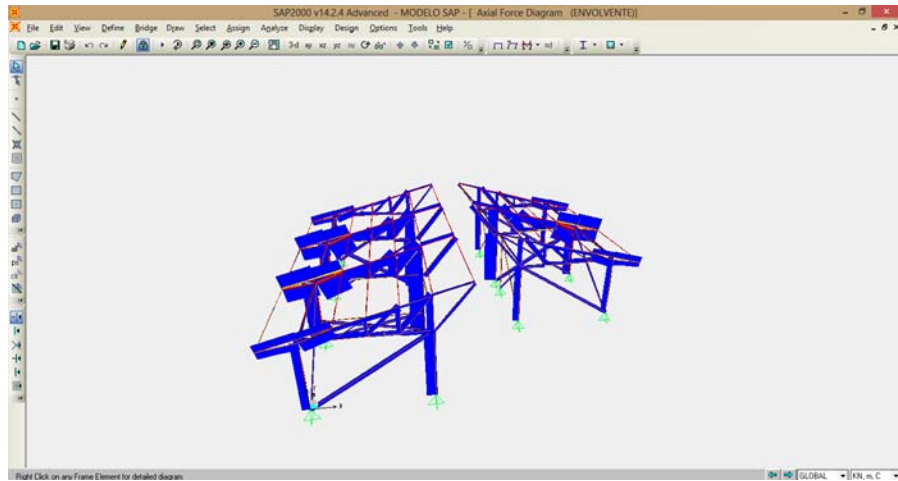
Cundinamarca, además cumple con los estándares de sostenibilidad mínimos y a las especificaciones dadas anteriormente.

8.2 Modelación de la estructura de una vivienda

- La modelación de la estructura se realizó con el apoyo de los ingenieros nombrados a continuación:
Mateo Gutiérrez
José María Navarro
Freddy Pérez
Siguiendo el procedimiento mostrado en el anexo 1, en el cual se puede observar una serie de pasos necesarios para llevar a cabo la modelación.
- Las solicitaciones de la estructura por efectos de las fuerzas aplicadas determinadas según el título B de la NSR-10 son evidenciadas a continuación, para verificación de memorias de cálculo ver Anexo 2
- En las siguientes ilustraciones se muestra las solicitaciones arrojadas por el software de modelación estructural SAP 2000. Para una verificación de resultados dirigirse al anexo 2.

En la ilustración 33 se muestra la sollicitación por carga axial en los elementos la cual fue arrojada por el programa de modelamiento estructural SAP 2000

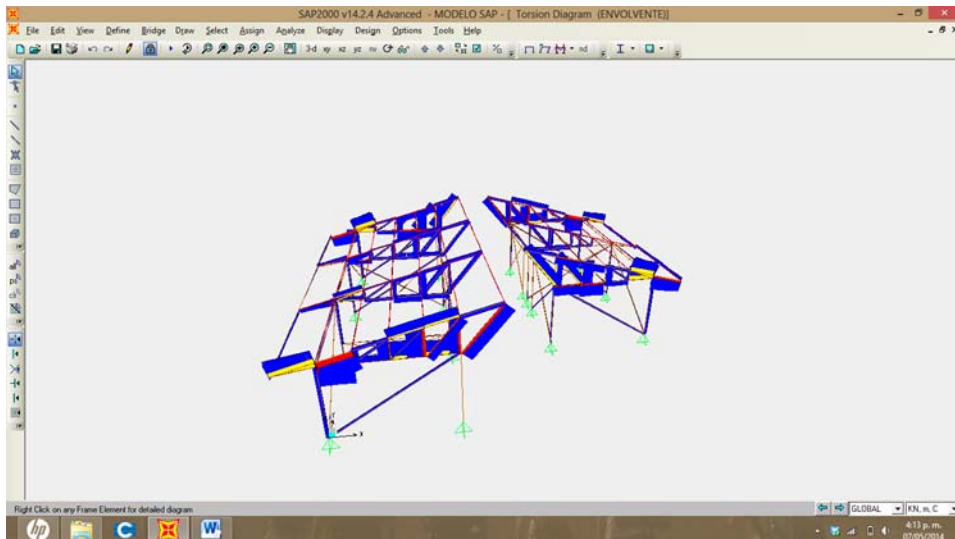
Ilustración 33 Carga axial en



elementos

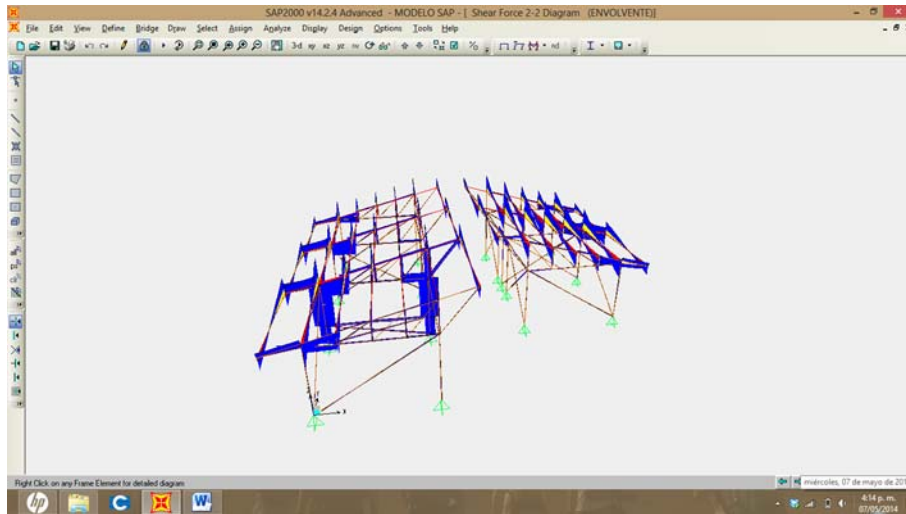
En la ilustración 34 se muestra la sollicitación por torsión en los elementos la cual fue arrojada por el programa de modelamiento estructural SAP 2000

Ilustración 34 Sollicitación de momento torsional



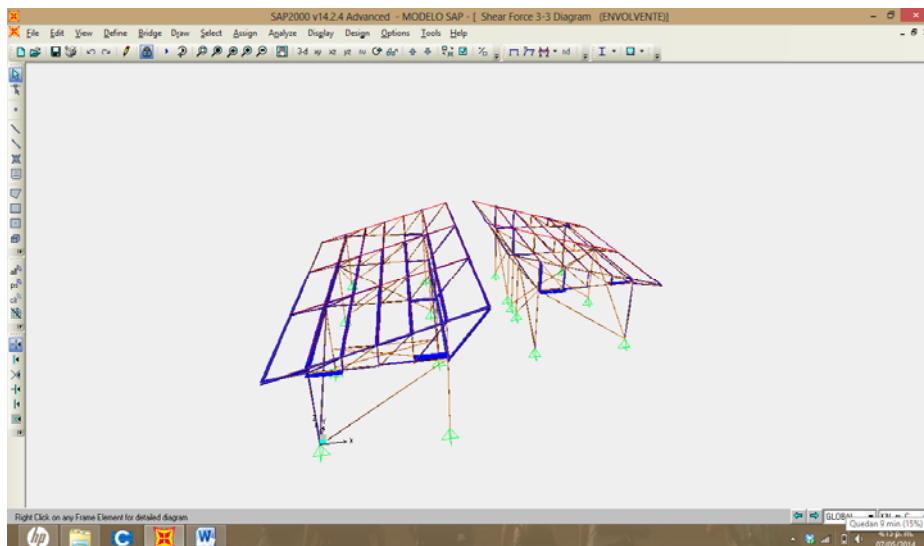
En la ilustración 35 se muestra la sollicitación por fuerza cortante vertical en los elementos la cual fue arrojada por el programa de modelamiento estructural SAP 2000

Ilustración 35 Solicitación de cortante 2-2



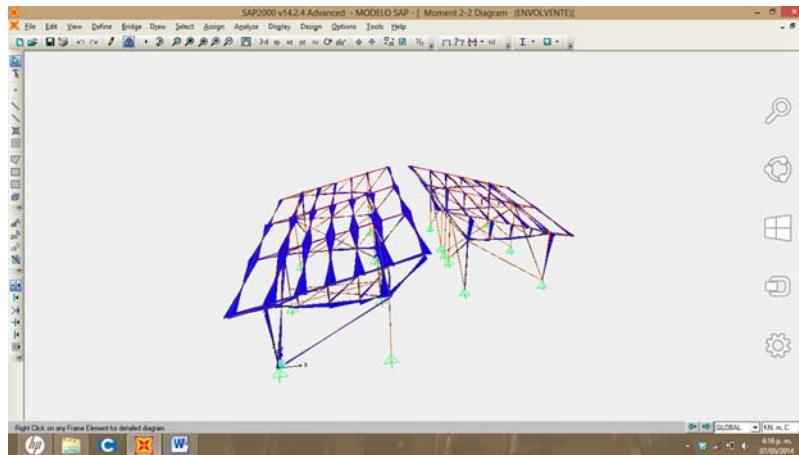
En la ilustración 36 se muestra la sollicitación por fuerza cortante horizontal en los elementos la cual fue arrojada por el programa de modelamiento estructural SAP 2000

Ilustración 36 Solicitación de cortante 3-3



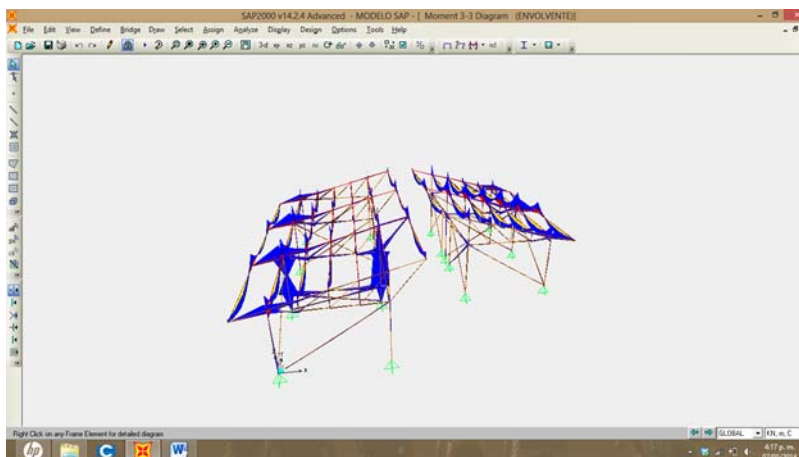
En la ilustración 37 se muestra la sollicitación de momento por fuerza cortante Horizontal en los elementos la cual fue arrojada por el programa de modelamiento estructural SAP 2000

Ilustración 37 Solicitación momento 2-2



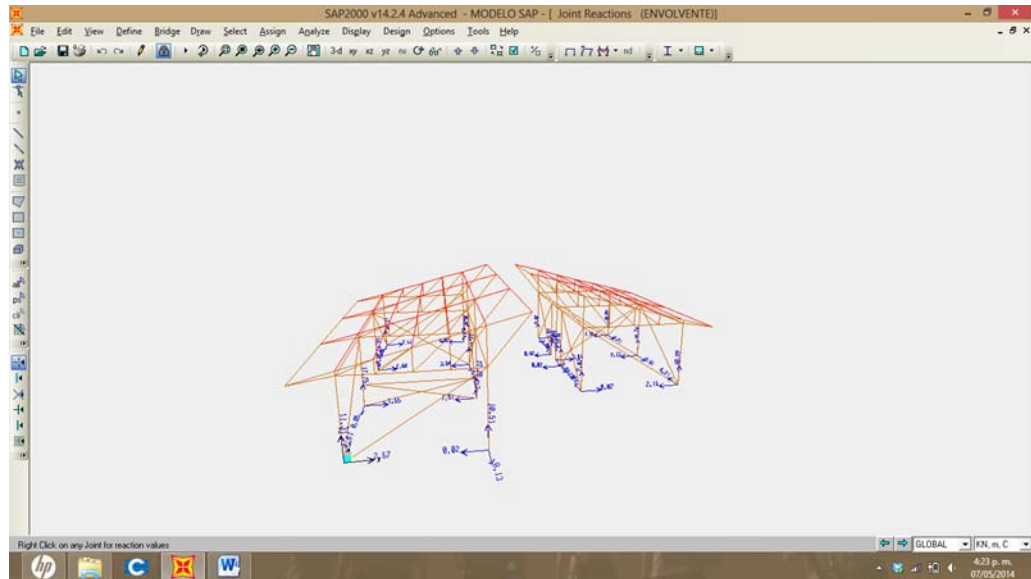
En la ilustración 38 se muestra la sollicitación de momento por fuerza cortante Vertical en los elementos la cual fue arrojada por el programa de modelamiento estructural SAP 2000

Ilustración 38 Solicitación momento 3-3



En la ilustración 39 se muestran las reacciones en la base arrojadas por el programa de modelamiento estructural SAP 2000 de acuerdo a las combinaciones de la NSR-10

Ilustración 39 Reacciones en la base



9.2.1 los resultados críticos en los elementos fueron los utilizados para realizar el diseño de los mismos, es decir el mayor momento de cada tipo de elemento estructural ya sea viga, columna o diagonal.

Solicitaciones de los elementos estructurales

A continuación se presentaran los diagramas de los elementos estructurales como lo son las vigas, las Diagonales y las columnas. A si mismo se mostrarán las solicitaciones de las correas las cuales no son considerados elementos no estructurales.

Los elementos tipo viga fueron diseñados bajo los resultados críticos arrojados por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000 mostradas a continuación

Diagrama de Fuerza Axial para vigas el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 40)

Ilustración 40 Fuerza Axial

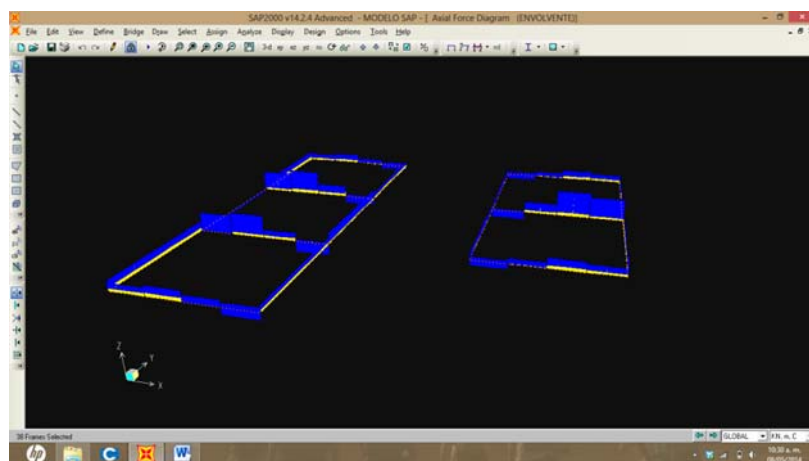


Diagrama de Cortante 2-2 para vigas el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 41)

Ilustración 41 Cortante 2-2

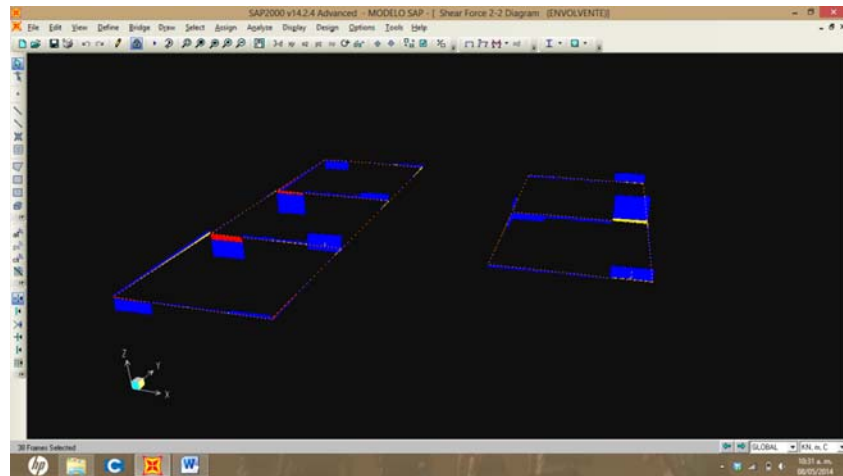


Diagrama de cortante 3-3, para vigas el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 42)

Ilustración 42 Cortante 3-3

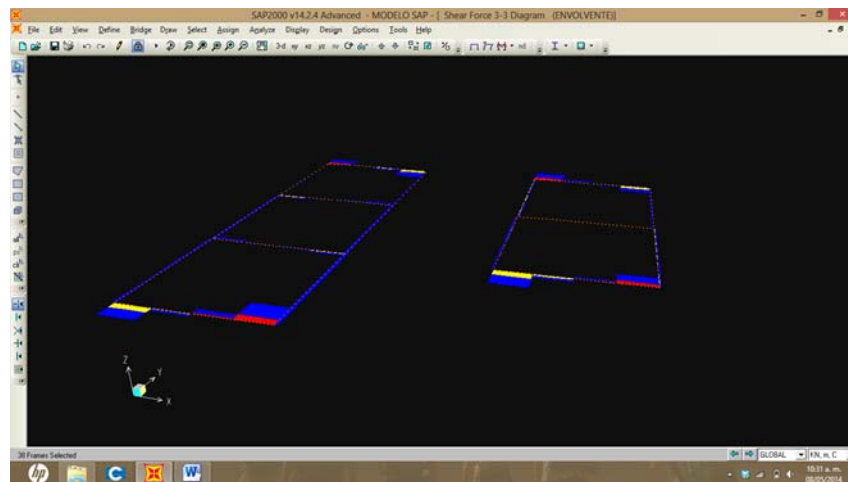
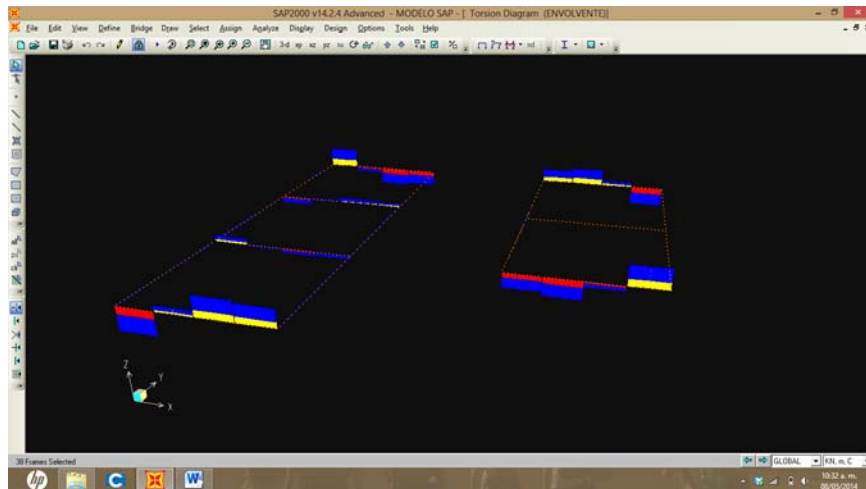


Diagrama de Torsión para vigas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 43)

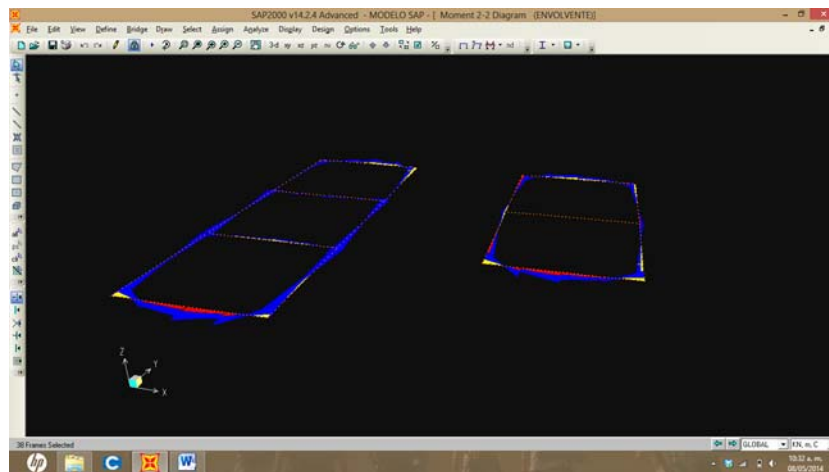
Ilustración 43



Torsión

Diagrama de Momento 2-2 para vigas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 43)

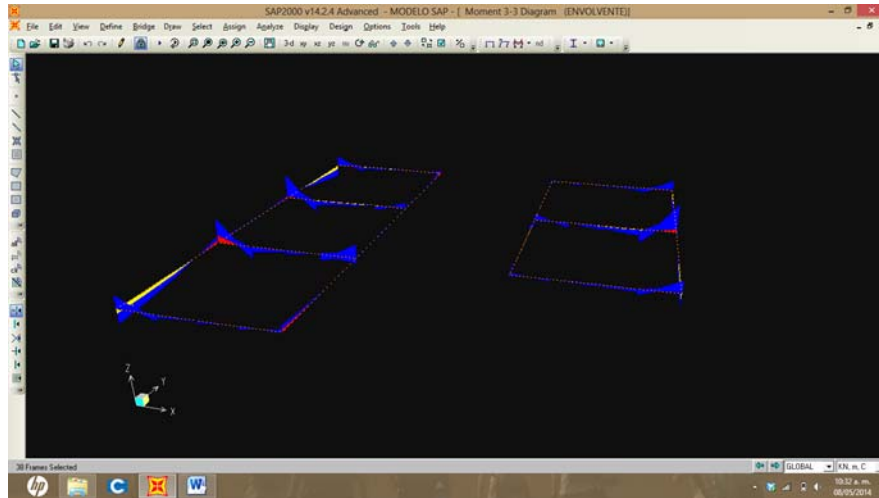
Ilustración 44 Momento 2-



2

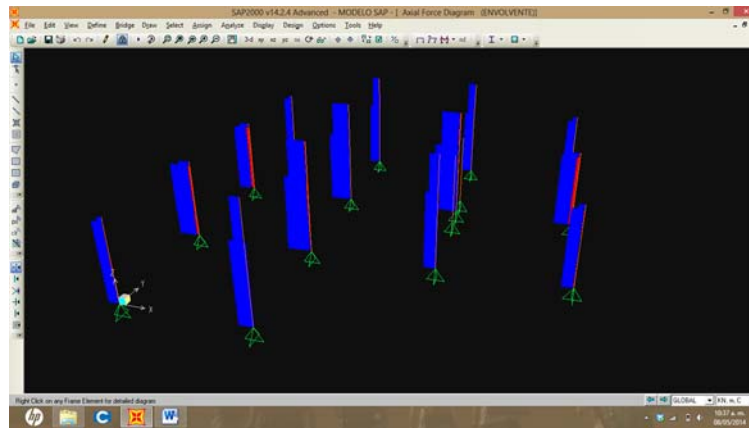
Diagrama de Momento 3-3 para vigas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 44)

Ilustración 45 Momento 3-3



Los elementos tipo columna fueron diseñados bajo los resultados críticos arrojados por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000 mostradas a continuación Diagrama de Fuerza Axial para columnas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 46)

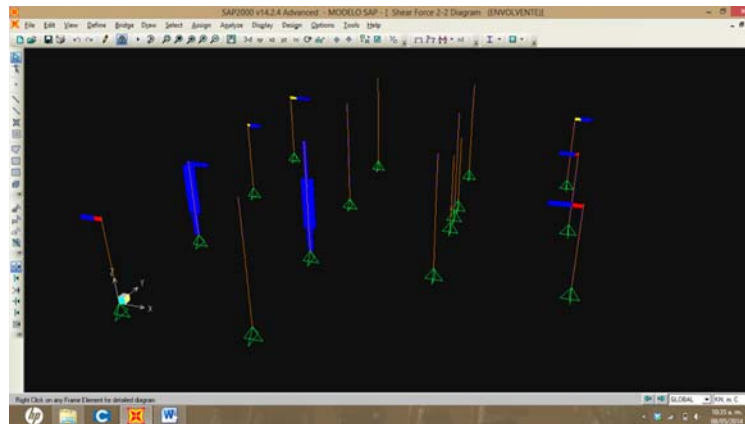
Ilustración 46 Fuerza



Axial

Diagrama de Cortante 2-2 para columnas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 47)

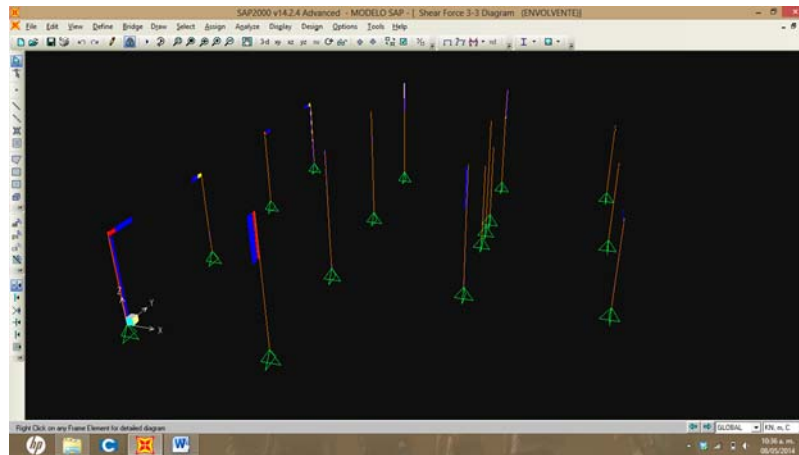
Ilustración 47 Cortante 2-



2

Diagrama de Cortante 3-3 para columnas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 48)

Ilustración 48 Cortante 3-



3

Diagrama de Torsión para columnas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 49)

Ilustración 49 Torsión

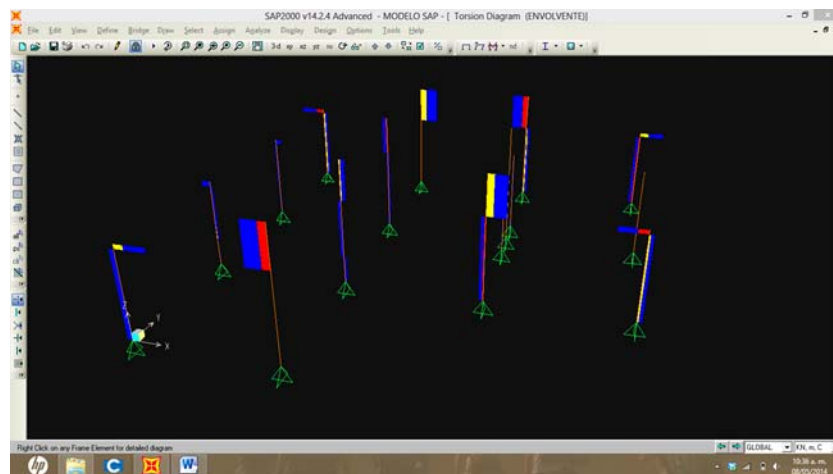


Diagrama de Momento 2-2 para columnas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 50)

Ilustración 50 Momento 2-2

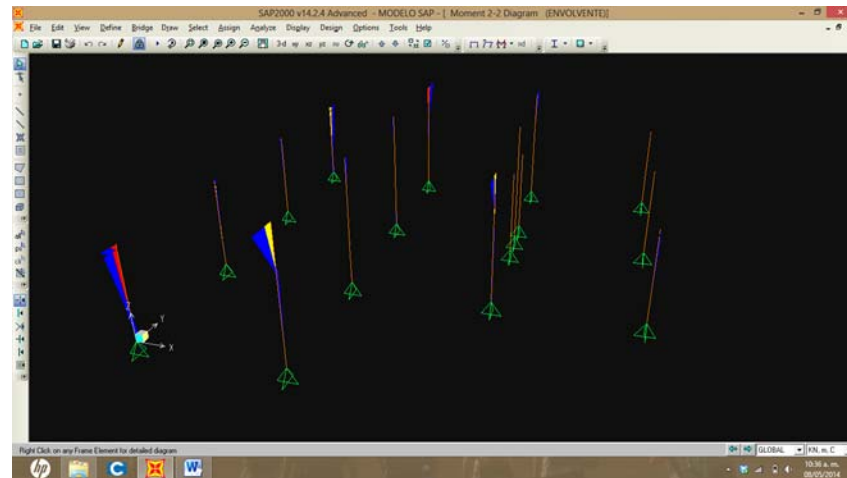
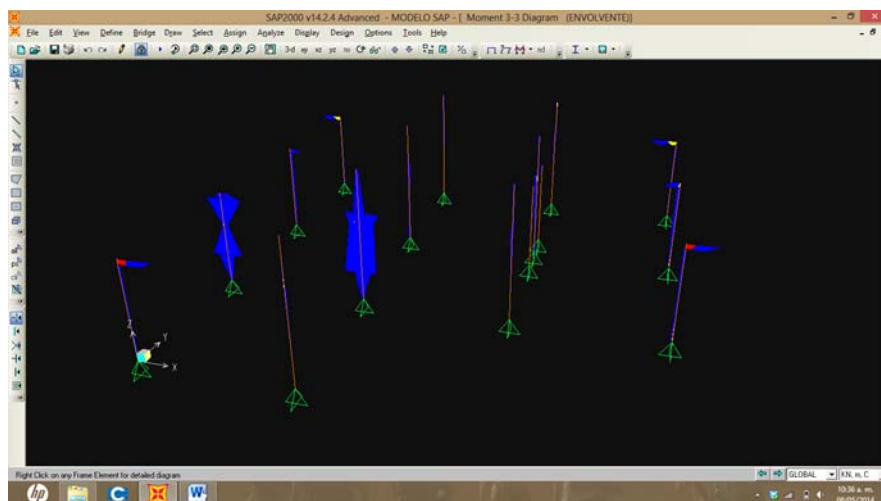


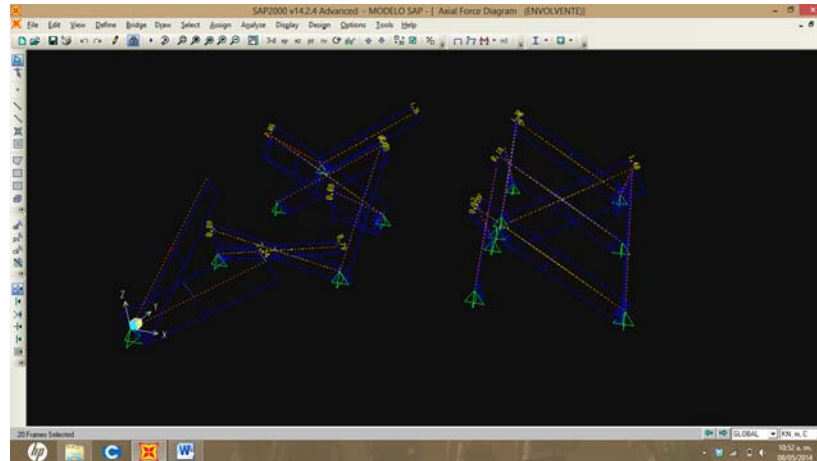
Diagrama de Momento 3-3 para columnas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 51)

Ilustración 51 Momento 3-3



Los elementos tipo diagonal fueron diseñados bajo los resultados críticos arrojados por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000 mostradas a continuación Diagrama de Fuerza Axial para diagonales, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 52)

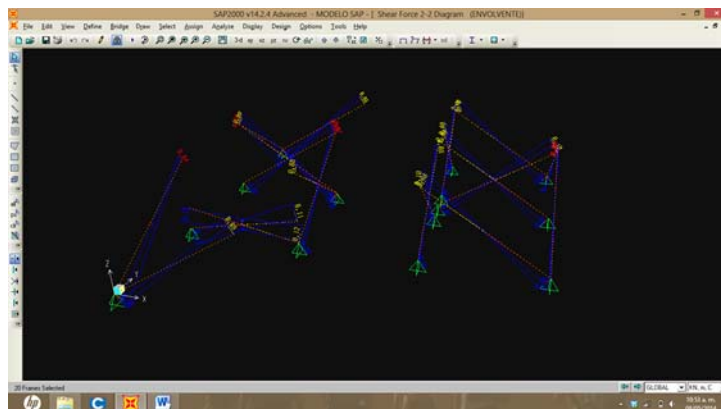
Ilustración 52 Fuerza



Axial

Diagrama de Cortante 2-2 para diagonales, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 53)

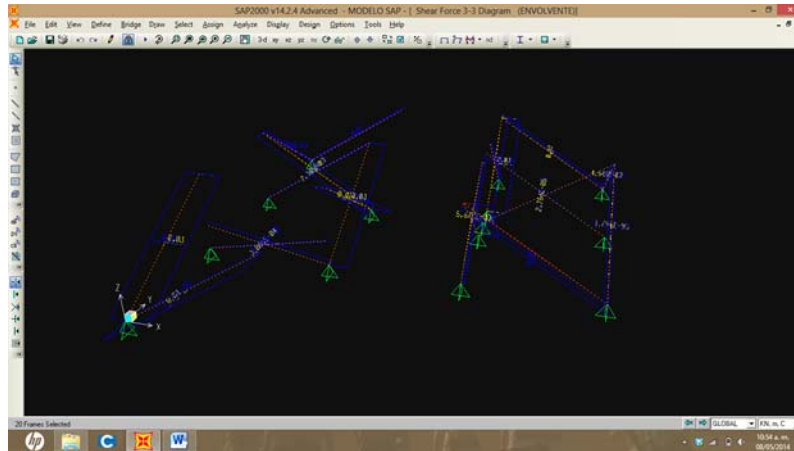
Ilustración 53 Cortante 2-



2

Diagrama de Cortante 3-3 para diagonales, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 54)

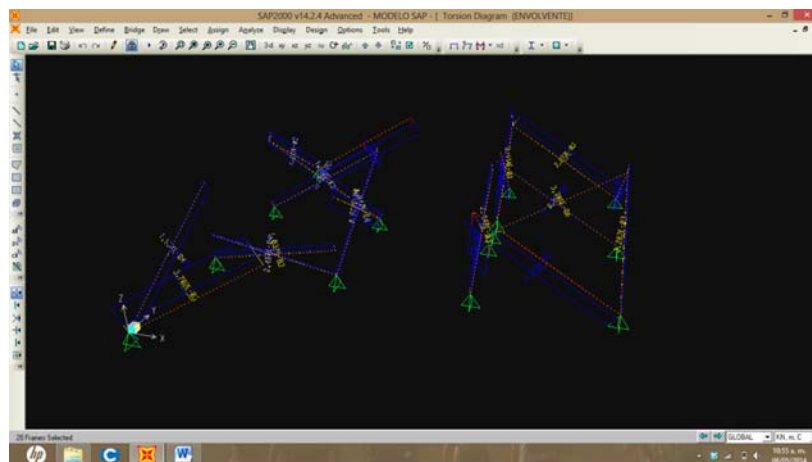
Ilustración 54 Cortante 3-



3

Diagrama de Torsión para diagonales, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 55)

Ilustración 55



Torsión

Diagrama de Momento 2-2 para diagonales, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 56)

Ilustración 56 Momento 2-2

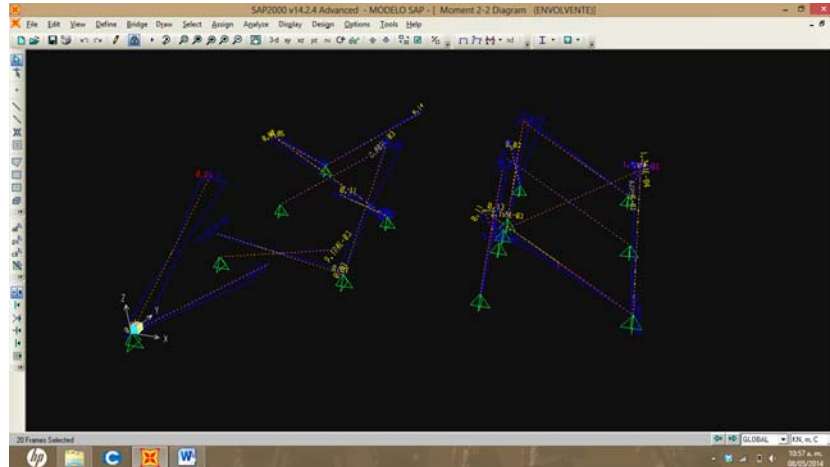
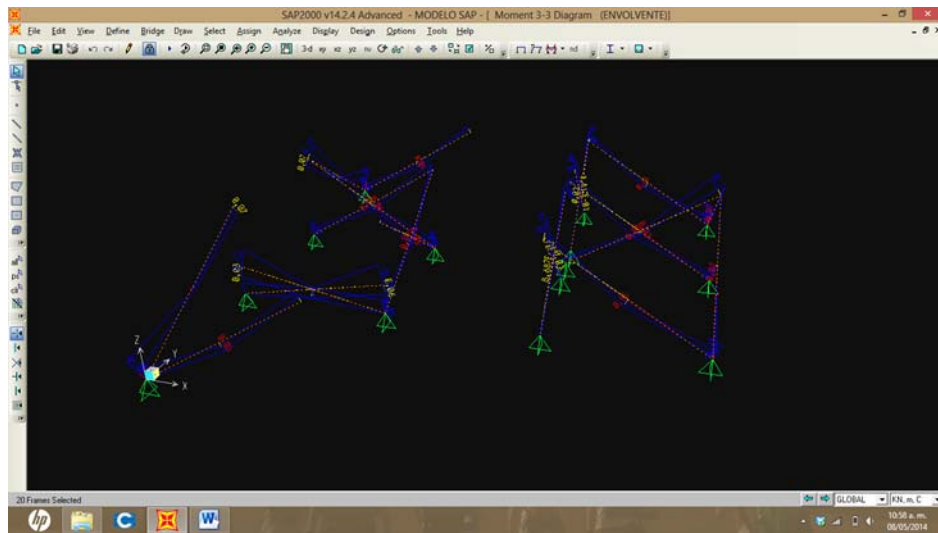


Diagrama de Momento 3-3 para diagonales, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 56)

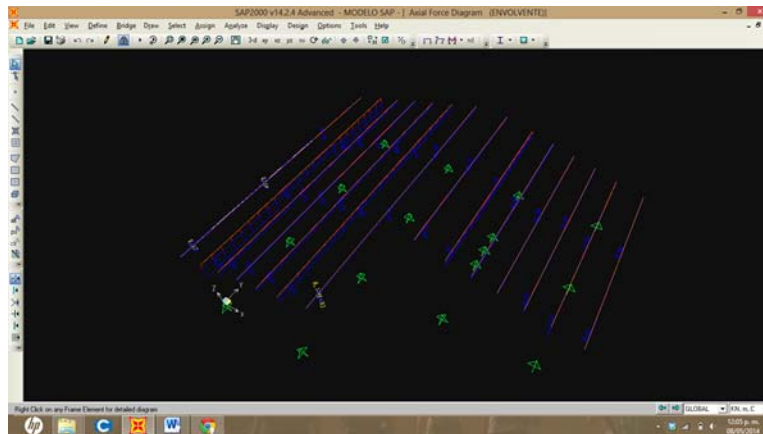
Ilustración 57 Momento 3-



3

Los elementos tipo correa fueron diseñados bajo los resultados críticos arrojados por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000 mostradas a continuación Diagrama de Fuerza axial para correas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 58)

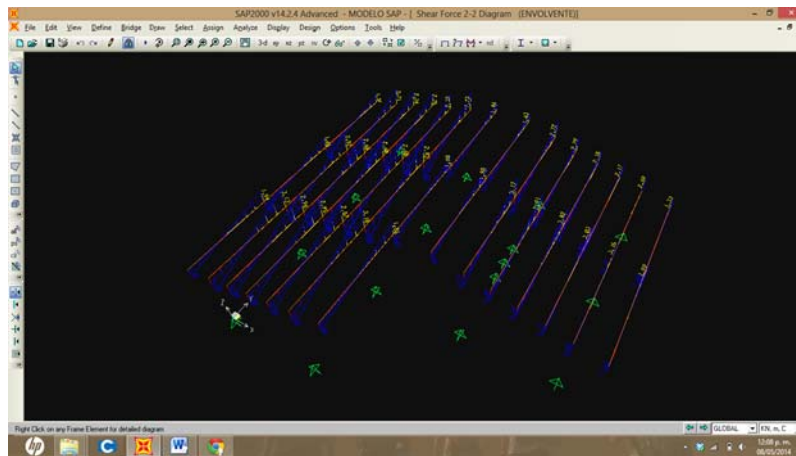
Ilustración 58 Fuerza



Axial

Diagrama de Cortante 2-2 para correas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 59)

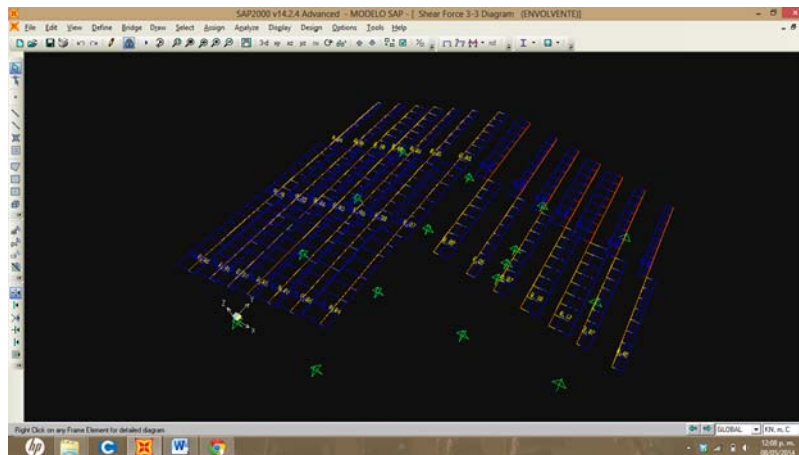
Ilustración 59 Cortante 2-



2

Diagrama de Cortante 3-3 para correas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 60)

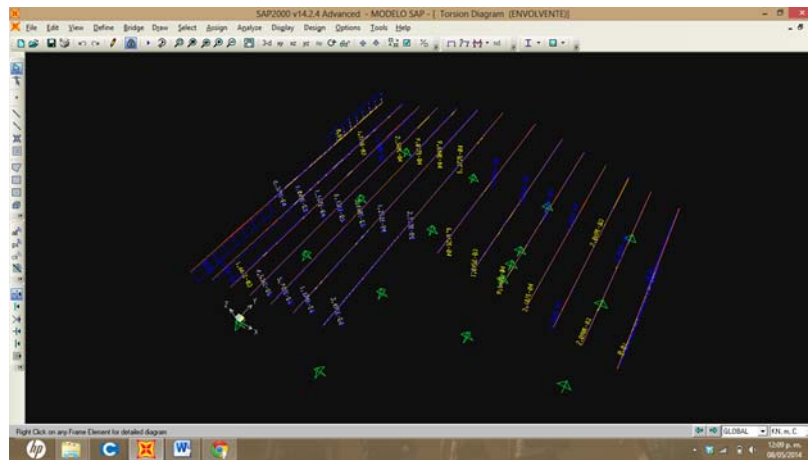
Ilustración 60 Cortante 3-



3

Diagrama de Torsión para correas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 61)

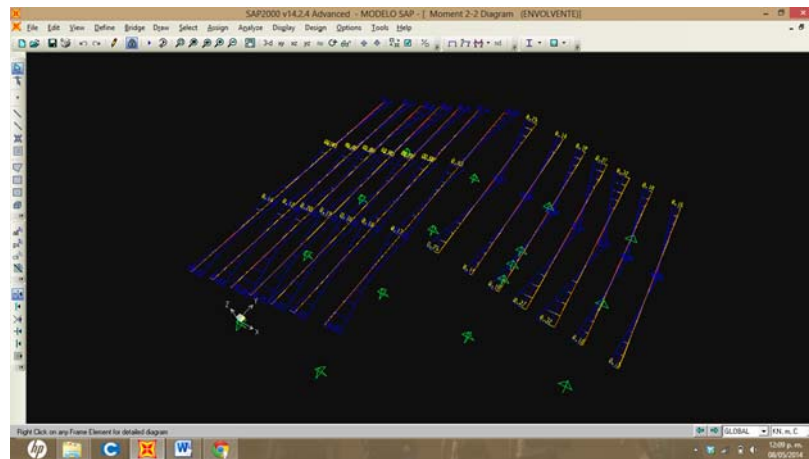
Ilustración 61



Torsión

Diagrama de Momento 2-2 para correas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 62)

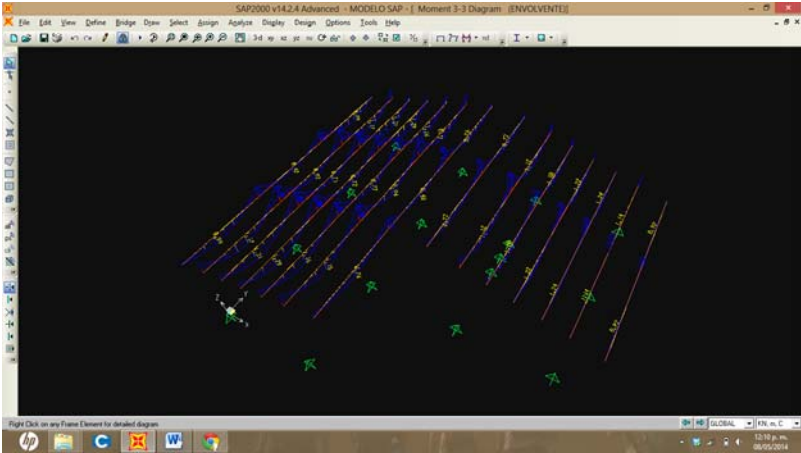
Ilustración 62 Momento 2-



2

Diagrama de Momento 3-3 para correas, el cual fue arrojado por la modelación de la estructura en el programa SAP 2000. (Ver ilustración 62)

Ilustración63 Momento 3-3



9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1 Se observó que la sostenibilidad es un criterio ya bastante estudiado donde han establecido diferentes criterios y patrones para determinación de la misma.; consta de tres importantes componentes, Económico, Social y Ambiental, un proyecto es sostenible cuando se encuentra en un punto de equilibrio entre estos 3 aspectos.

9.1.1 De acuerdo a la visita de campo y al informe que se presenta en el anexo 1, se estima que esta es una zona óptima para realizar un proyecto de vivienda sostenible con guadua elemento estructural base, debido a que se encuentran guaduales en la zona, las características físicas del municipio son las apropiadas según la NSR-10, es decir la humedad relativa del aire y la temperatura son las ideales dado que nos proporcionan un índice de humedad interna en la guadua del 12%.

9.1.2 El tipo de casa a escoger se basa en los siguientes aspectos básicos de sostenibilidad a tener en cuenta a la hora de realizar un proyecto estructural:

- uso de materiales locales
- disminución de los costos energéticos producto del transporte de los materiales,
- Uso de materiales altamente renovables y que requieren muy poca transformación.

- Disminución del impacto ambiental respecto a los proyectos más comunes, en este caso una vivienda unifamiliar de un piso con pórticos en concreto reforzado.

Se evaluaron las propuestas del arquitecto CALDERÓN BELTRÁN Edgardo Ariel y el Ingeniero BETANCOURT B. Julio German, las cuales cumplen con los estándares mínimos de sostenibilidad. Para tomar una decisión sobre cual proyecto arquitectónico tomar los criterios de evaluación fueron:

| Criterio de evaluación | Arq. Edgardo Calderón | ING julio German Betancourt |
|--|------------------------------|------------------------------------|
| Promedio de altura de cubierta. | 1 | 0 |
| Cantidad de guadua a la vista. | 0 | 1 |
| Facilidad de modelación del proyecto. | 1 | 0 |
| Innovación del tipo de proyecto arquitectónico. | 0 | 1 |

El proyecto elegido fue el del arquitecto Edgardo Ariel Calderón Beltrán debido a sus alturas de cubierta promedio de 3.7 frente a 3.2, su facilidad de modelación y a que no necesitaba arreglos frente a la hecha para la “Finca la lomita”

9.2 En la modelación que se hizo en el software SAP 2000, se puede observar que las cargas axiales mayores son las que se presentan en los elementos de las columnas y diagonales, mostrando así que la modelación quedo según los establecido en el capítulo G de la NSR-10, donde especifica que las estructuras en guadua deben ser con apoyos articulados.

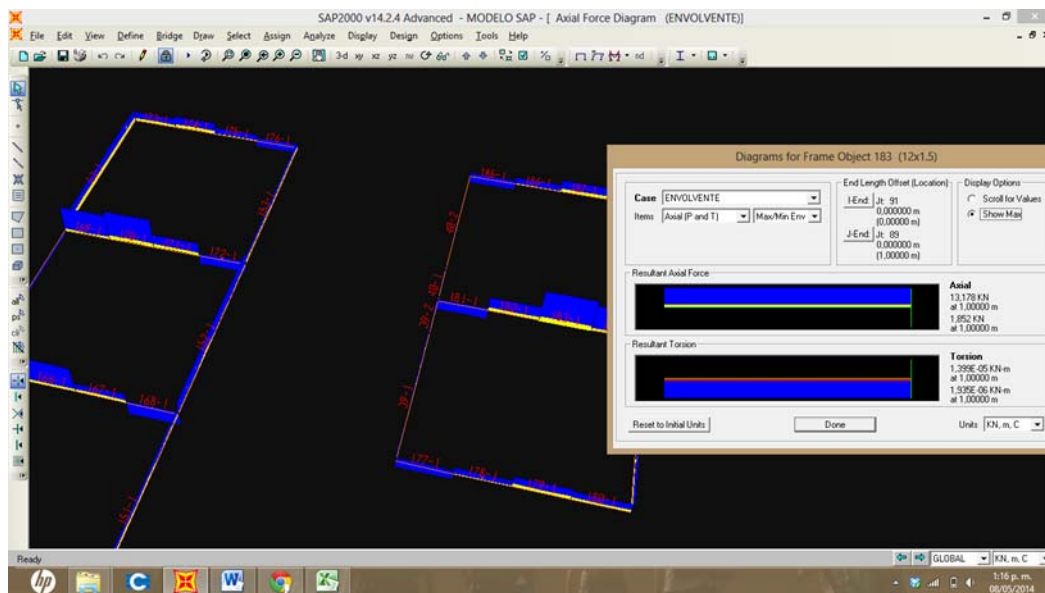
- Realizada la modelación se pudo observar que las solicitaciones de la guadua son bajas con respecto a materiales tradicionales como lo son el concreto y el acero.
- Se pudo observar que la guadua es un material que funciona muy bien a fuerzas axiales paralelas a las fibras de la misma, para el diseño de elementos en guadua los casos más críticos son el aplastamiento, la deflexión y el cortante, es el mayor de estos tres quien nos determina la sección mínima a utilizar.

Es importante destacar que el diseño estructural se realizó con las solicitaciones críticas de cada uno de los tipos de elementos estructurales.

(VER ANEXO 2)

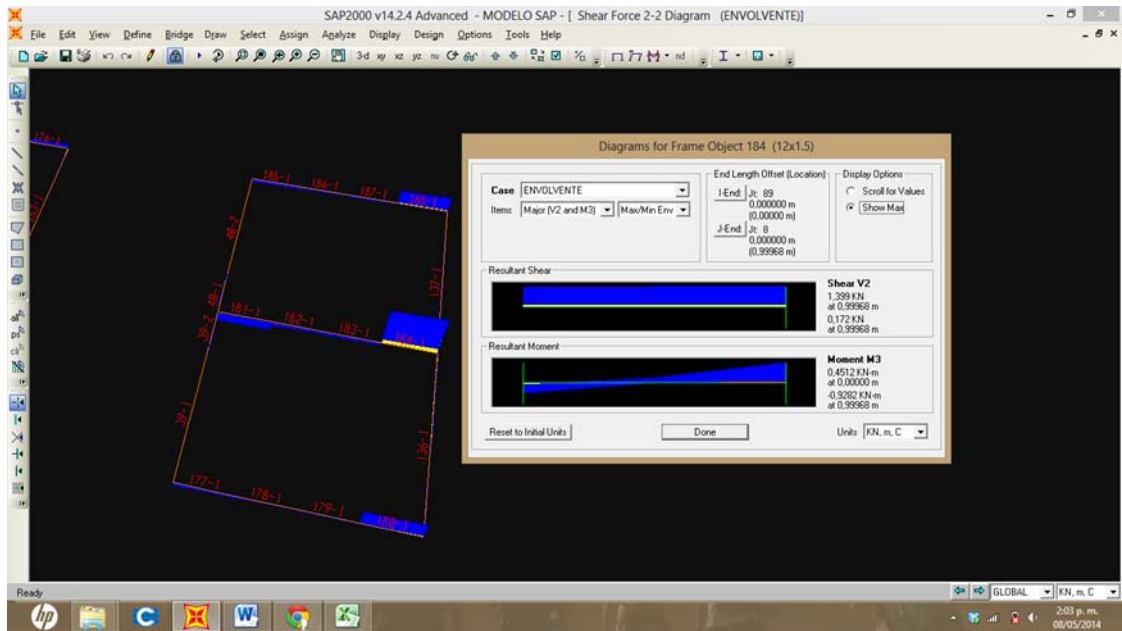
Para las Vigas El diagrama de fuerza axial máxima se halló en el elemento No. 184 y tiene un valor de 13178 N (Ver ilustración 64)

Ilustración 64 Fuerza Axial .Valor crítico



El diagrama de fuerza cortante máxima se halló en el elemento No. 184 y tiene un valor de 1339 N y el valor crítico de momento 3-3 es de -999 N (Ver ilustración 65)

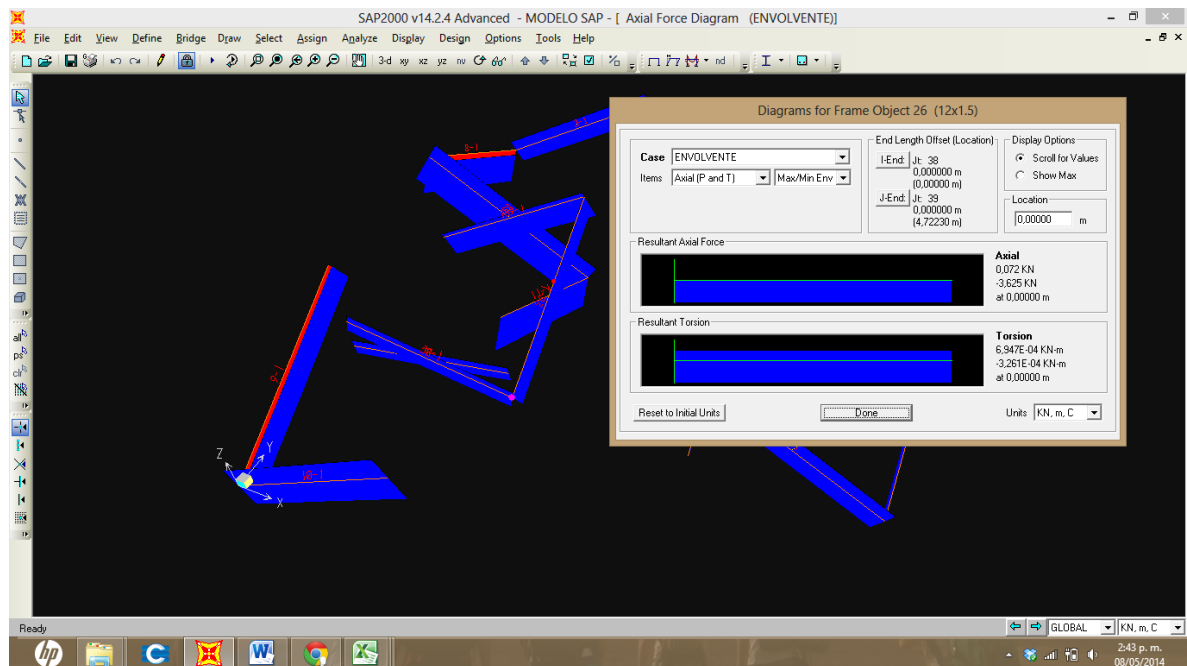
Ilustración 65 Cortante 2-2. Y momento 3-3 Valor crítico



Para las Vigas El diagrama de fuerza axial máxima se halló en el elemento No. 26 y tiene un valor de 13178 N (Ver ilustración 64)

En la ilustración 67 se puede apreciar el valor crítico de 3625 N en el elemento n° 26 arrojado en la modelación por el programa SAP 2000. (Ver ilustración 66)

Ilustración 66 Fuerza Axial valor crítico



10 CONCLUSIONES

- Se pudo observar que el diseño estructural de una vivienda en guadua, puede llegar a comprometer de manera significativa el diseño arquitectónico si este no contempla las diagonales necesarias para la rigidizar la estructura de forma que cumpla con los parámetros básicos de resistencia contemplados en la NSR-10.
- La continuidad y unidad entre los elementos no estructurales así como los muros divisorios, y los elementos estructurales como vigas y columnas es necesaria para un óptimo desarrollo del Diseño de una casa con sistema estructural en guadua.
- Es importante destacar que los datos que se ingresaron en el software de la modelación, son unos datos que se han recopilado a lo largo de esta investigación en la cual se pudo observar que datos como el módulo de rigidez, módulo de poisson, y coeficiente de dilatación térmica no se encuentran en la NSR-10, entonces se extraen para este caso de la investigación “Propiedades físicas-mecánicas de la guadua (*“Angustifolia kunth”*) y aplicación al diseño de baterías sanitarias del iasa ii de los ingenieros COBOS, F Jorge Alberto y LEÓN, R Xavier Antonio.
- Se recomienda realizar un trabajo de investigación profundo donde se puedan refutar los datos de la norma NSR-10 y llenar los vacíos que esta presenta en cuanto a las propiedades mecánicas de la Guadua “*Angustifolia kunth*”.

- A pesar de que la guadua fue incluida hace muy poco a la NSR-10 en el capítulo G-12, cabe destacar que es necesario hacerle a este una actualización de datos debido a que los que se encuentran allí, no son suficientes para la modelación de un material ortotropico como lo es la guadua (“Angustifolia Kunth”), hace falta mayor especificación en cuanto a cómo realizar la presentación de planos y memorias de cálculo para este tipo de estructuras y sus conexiones.
- Debido al bajo peso de una estructura en guadua, su cimentación presenta unas dimensiones muy pequeñas y es recomendable tener en cuenta el concreto con adición de partículas de caucho lo cual ayudaría al control del efecto de capilaridad que se produce en la interacción suelo-conexión-guadua y a su vez apoyaría a la mitigación del impacto ambiental generado por el concreto en las cimentaciones.

11 BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, C.HIDALGO Oscar. 1998. Bambuarchitecture and constructionwith. designer. Builder magazine.

ARCHILA, Hector F; SANTOS, Martin P y ANSELL, Pete Walker. Low Carbon Construction Using Guadua Bamboo in Colombia. En: Key Engineering Materials. University of Bath, United Kingdom Department of Mechanical Engineering. Department of Architecture and Civil Engineering. 2002. Vol. 517 (2012)

Alcaldía de Guaduas Cundinamarca. Estrategias de gobierno en línea por un gobierno de puertas abiertas. En línea: www.guaduas-cundinamarca.gov.co

ARCILA L., Jorge Humberto. Guadua y Vivienda Institucional hacia la Sostenibilidad: Beneficios Tangibles e Intangibles. Memorias Seminario Guadua en la Reconstrucción, Armenia, Quindío. 2000.

COBOS, F Jorge Alberto y LEÓN, R Xavier Antonio., “Propiedades físicas-mecánicas de la guadua (“*Angustifolia kunth*”) y aplicación al diseño de baterías sanitarias del Iasa ii. Morfología de la guadua. Escuela politécnica del ejército. Sangolquí, noviembre del 2007

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. El cultivo de la Guadua. Editolaser. Bogota. Cartilla sin fecha.

FORERO MARÍN Germán y SOUZA WEIC Hermán, La guadua un sistema innovador para la construcción de vivienda en Anapoima - Cundinamarca,

Universidad de la Salle, especialización en gerencia de proyectos de ingeniería. Bogotá, D.C. 2007.

GONZALEZ, Salcedo, L.O., 2000. Estudio de artes y aportes del proyecto semilla 99cg5108, Ponencia presentada en el encuentro académico. Cultural intercedes Palmira y Manizales. Manizales, JULIO.2000

GONZALEZ YEBRA, Oscar. Caracterización del bambú guadua (“guadua Angustifolia”) para el diseño e industrialización en España. Contexto bambú guadua.

KUNTH, Carlos. Catálogo de las plantas recogidas en el nuevo mundo por Humboldt y Bonpland; manual de botánica. Ciudad. 1789. p.37.

LONDOÑO, Ximena. Conferencia “Usos de la Guadua” (videocasete). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales. Diciembre 12 de 2000.

MEJÍA, John Jairo. Eficiencia y Costo en la Construcción con Guadua. Seminario "Guadua en la Reconstrucción". Memorias. Armenia (Quindío • Colombia), Febrero 10, 11 y 12 de 2000.

MONTOYA A., Jorge Augusto. Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la Guadua Angustifolia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. 2001.

MORALES, L. A. F., OHAYON, P., GHAVAMI, K. Application of Non-Conventional Materials. En Evaluation Criteria for Environmental Conservation in Brazil. Universidad Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Instituto de Biociências. Av. Pasteur 458, Urca, Brasil,

OFICINA DE PLANEACION DE GUADUAS. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Diagnostico por subsistemas. Colombia. 2000.

PERIAGO Cristina, PERIAGO Francisco y MURCIA Carretero. Guía de materiales para una construcción sostenible. College Oficial de Aparejadores y Arquitectos tecnic. Ed.2. Bogotá D.C;

RAMIREZ Aurelio. La construcción sostenible, Consejo de la construcción verde-España, Física y sociedad trece, noviembre 19 de 2013.

VILLEGAS GONZÁLEZ, Felipe. Comparación consumos de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: guadua vs. Concreto. Tesis para optar por el título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2005.

ENTREVISTA con Simón Vélez, Arquitecto de la Universidad de Los Andes, Disponible en internet: <<http://www.cromos.com.co/personajes/actualidad/articulo-146024-me-canse-de-disenarles-casas-a-los-ricos-simon-velez>>

FASCICULOS_COLECCIONABLES_EL_ESPECTADOR/Fasciculo_9_Soy%20Ec
olombiano_FINAL_BAJA_65-72.pdf>.