

**SISTEMATIZACIÓN CONSTRUCTIVA Y COMPOSITIVA DE PROYECTOS EN GUADUA, DE LA
AUTOCONSTRUCCIÓN A BIM**

Juan Sebastián Galindo Leal



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2021

**SISTEMATIZACIÓN CONSTRUCTIVA Y COMPOSITIVA DE PROYECTOS EN GUADUA, DE LA
AUTOCONSTRUCCIÓN A BIM**

Juan Sebastián Galindo Leal

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecto

Director Arq. MSc. Manuel Fernando Martínez Forero



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2021

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación es dedicado a mi padre Rafael Galindo, a mi madre, Yolima Leal y mi hermano, Sergio David, quienes han sido el pilar fundamental en los días más difíciles de la carrera, con su apoyo y su voz de aliento fue posible sortear los retos que son propios de la vida universitaria y de la vida, sin ellos este sueño no sería realidad.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento al Arquitecto Manuel Martínez, quien con su conocimiento y experiencia brindo guías para realizar el proyecto investigativo, al arquitecto Alberto Nope, por sus aportes en el área BIM, a Alejandra Quinceno, por compartir material de casos de estudio.

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO	5
GLOSARIO	10
RESUMEN	14
ABSTRACT	16
1. INTRODUCCIÓN	18
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. HIPÓTESIS	19
5. METODOLOGÍA	20
5.1 RECOMENDACIONES DE AUTOCONSTRUCCIÓN.....	20
5.2 PLAN DE EJECUCIÓN BIM PARA PROYECTOS EN GUADUA.....	21
6. MARCO CONCEPTUAL	21
6.1 ESTRUCTURA INTERNA DE LA GUADUA.....	21
6.1.1 <i>Haces Vasculares</i>	22
6.1.2 <i>Parénquima</i>	23
6.1.3 <i>Tímpanos</i>	23
6.2 PATOLOGÍAS EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN GUADUA.....	24
6.2.1 <i>Patologías físicas/Mecánicas</i>	24
6.2.2 <i>Patologías Químicas</i>	25
6.2.3 <i>Patologías Biológicas</i>	25
6.3 CASOS DE ESTUDIO DE FALENCIAS CONSTRUCTIVAS Y PROYECTUALES.....	26

SISTEMATIZACIÓN CONSTRUCTIVA Y COMPOSITIVA DE PROYECTOS EN GUADUA, DE LA	
AUTOCONSTRUCCIÓN A BIM	6
6.3.1 Etapa de diseño	26
6.3.2 Etapa de preliminares.....	29
6.3.3 Etapa de estructura	30
6.3.4 Etapa de instalaciones.....	31
6.3.5 Etapa de acabados	31
6.3.6 Etapa de operación.....	32
6.3.7 Análisis de etapas constructivas en el desarrollo de patologías.....	33
6.4 NORMATIVA Y BUENAS PRACTICAS.....	36
6.4.1 Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10) Titulo G.12	36
6.4.2 Compendio de Normas Técnico Colombianas (NTC).....	36
6.4.3 Compendio de la Organización Internacional de Normalización (ISO).....	37
6.5 LINEAMIENTOS BIM.....	37
6.5.1 Niveles de desarrollo (LOD)	37
6.5.2 Niveles de información (LOI).....	40
6.5.3 Requerimientos del modelo bim	40
6.5.4 Usos BIM	41
6.5.5 Marco Referencial	42
7. RECOMENDACIONES / PROPUESTA	45
7.1 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS Y COMPOSITIVAS	46
7.1.1 Calidad del material y puesta en obra	47
7.1.2 Implantación.....	47
7.1.3 Cimentación.....	49
7.1.4 Sobre-cimientos.....	51
7.1.5 Super estructura	51
7.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIVIENDA MODULAR	52

SISTEMATIZACIÓN CONSTRUCTIVA Y COMPOSITIVA DE PROYECTOS EN GUADUA, DE LA AUTOCONSTRUCCIÓN A BIM	7
7.2.1 Sub-estructura	52
7.2.2 Paneles estructurales.....	53
7.2.3 Panel A.....	54
7.2.4 Panel B.....	55
7.2.5 Panel C.....	56
7.2.6 Sistemas de entepiso.....	57
7.2.7 Cubierta	59
7.3 BIM EN LA GUADUA.....	60
7.3.1 USOS BIM BÁSICOS.....	61
7.3.2 Información gráfica en los modelos BIM.....	62
7.3.3 Metadata en modelos BIM.....	64
7.3.4 Codificación Notas clave.....	65
7.3.5 QA/QC en modelos BIM de guadua.....	67
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
9. ANEXOS.....	71
10. LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	72

Lista de Figuras

Figura 1 Tramo de sección transversal del bambú Bambusa Polymorpha.....	21
Figura 2 Sección ampliada de un haz vascular (225 x).....	22
Figura 3 Curva de McLeamy en proyectos de construcción	26
Figura 4 Resultado análisis encuesta a maestros de la guadua	27
Figura 5 Falencias constructivas en el ciclo de vida de proyectos en guadua	46
Figura 6 Orientación del proyecto y distribución de aleros de acuerdo con el clima.....	48
Figura 7 Rosa de los vientos del aeropuerto el dorado IDEAM	49
Figura 8 Esquema general de sobrecimiento para sistemas de muros estructurales en guadua	51
Figura 9 Detalle de unión de los módulos al sobrecimiento.....	52
Figura 10 axonometría de módulo de primer piso	53
Figura 11 Alzado de panel A.....	54
Figura 12 Alzado de panel B.....	55
Figura 13 Alzado de panel C.....	56
Figura 14 Detalle constructivo del sistema de entrepiso	57
Figura 15 Axonometría del sistema de entrepiso y llegada de escalera.....	58
Figura 16 Alzado de módulo de cubierta	59
Figura 17 Detalles axonométricos de la cubierta.....	60

Lista de Tablas

Tabla 1 Codificación de actividades según fase de proyecto.....	33
Tabla 2 Matriz de afectaciones por actividades proyectuales e impacto en patologías	34
Tabla 3 Convención de patologías para análisis de Matriz de afectaciones.....	35
Tabla 4 Tabla extendida de definiciones - Omniclass	44
Tabla 5 Elección de sistema de cimentación de acuerdo con la pendiente del terreno	50
Tabla 6 Variables mínimas para cimientos de viga corrida y sistema de muros en guadua.....	50
Tabla 7 LOD y LOI de acuerdo con las categorías y las fases constructivas	62
Tabla 8 Parámetros declarados de acuerdo con la categoría LOI.....	64
Tabla 9 Capítulos y subcapítulos de la estructura CBS.	65
Tabla 10 Nomenclatura de notas clave del capítulo de super estructura	67
Tabla 11 Checklist de calidad de modelos BIM.....	68
Tabla 12 Usos BIM de acuerdo con las etapas del proyecto	61

Glosario

1D: La primera dimensión hace referencia a la mínima representación gráfica dentro de un plano cartesiano, es decir a la instancia de punto o nodo.

2D: La segunda dimensión consta de las líneas o trazados que se encuentren contenidos en un solo plano.

3D: La tercera dimensión hace referencia a todo elemento que corresponda a líneas, superficies y sólidos que tengan los tres planos principales (x,y,z)

4D: La cuarta dimensión es referente a la interacción del tiempo con el modelo 3D, de esta forma en los proyectos AEC se utiliza la programación de obra para ser vinculada de forma una a una o por ensambles, a los elementos constructivos del proyecto, generando así una simulación tridimensional del proceso constructivo.

5D: La quinta dimensión consta de la inclusión de los costos a las instancias del modelo 3D, de esta manera por medio de diferentes softwares se puede extraer información geométrica y metadata de los modelos a fin de realizar el proceso de estimación de costos.

6D: La sexta dimensión consiste en el análisis energético y bioclimático de la edificación, dentro de los cuales se encuentra: análisis de iluminación, incidencia solar, renovación de aire, entre otros.

7D: La séptima dimensión incluye los manuales y controles de mantenimiento y operación de la edificación, esto con el fin de planificar y prever los requerimientos de equipos y elementos del proyecto dentro de su vida útil, y así mismo proyectar su mantenimiento y vida útil.

BIM: BIM o Modelado inteligente de la información, por sus siglas en inglés, es una metodología transversal a todas las áreas de la industria AEC, que propende por la realización de proyectos bajo un entorno tridimensional colaborativo, donde cada una de sus instancias contiene una robusta base de

datos que permite extraer de los archivos importantes cantidades de información que permiten mayor precisión y agilidad en el flujo de trabajo de un proyecto de construcción.

Canuto: Espacio de un culmo de bambú delimitado entre dos tímpanos conocido también como entrenudo.

Culmo: tramo aéreo del bambú que sobresale del nivel del terreno por encima del rizoma.

Entrenudo: Espacio de un culmo de bambú delimitado entre dos tímpanos también conocido como canuto

Dimensiones BIM: La metodología BIM plantea 7 dimensiones, las cuales hacen referencia a estados, etapas y usos que se pueden presentar en proyectos AEC, de esta forma el modelo BIM debe responder en cuanto a información y modelado de los elementos de tal forma que se pueda dar alcance a las dimensiones BIM requeridas. Las dimensiones se representan por medio de una letra D mayúscula antecedida por el número de la dimensión que representa, como se puede observar a continuación.

Fisura: Separación leve del material de forma alargada poco profunda, resultante de esfuerzos internos y/o externos superiores a los admitidos por el material.

Grieta: Separación del material, a diferencia de la fisura la grieta tiene mayor profundidad en el material, así como la extensión longitudinal y transversal de la misma.

Inmunización: Proceso por el cual por medio de soluciones naturales o químicas se realiza un tratamiento sobre el material con la finalidad que este tenga una mayor protección frente a agentes bióticos como los xilófagos.

LOD: LOD o nivel de detalle, por sus siglas en inglés, se refiere a las características geométricas que debe presentar un elemento constructivo.

Nudo/tímpano: Sección del bambú donde las fibras cambian de dirección generando una superficie interna que delimita el espacio entre dos canutos.

Xilófagos: Agentes bióticos que presentan un potencial riesgo para la integridad de la estructura interna del bambú, para su control los elementos de bambú deben presentar una adecuada inmunización.

Palabras Clave

Guadua

Bambú

BIM

LOD

LOI

Modelado

Paramétrico

Resumen

El bambú a través de la historia se ha desarrollado y consolidado a nivel mundial como un material versátil con una gran variedad de aplicaciones y ligado estrechamente con criterios de sostenibilidad ambiental, si bien a nivel internacional China es el país que lidera la industria manufacturera entorno al bambú, Colombia no se ha quedado rezagada, pues es un país que ha presentado importantes avances científicos e investigativos del material.

Colombia cuenta con una gran variedad de investigaciones académicas sobre el material, adicionalmente tiene normativas estatales para su uso en la construcción como lo es la NSR 10 (Norma sismo resistente Colombiana) y el compendio de normas técnicas Colombianas (NTC), que estandarizan el aprovechamiento del material, no obstante en el ejercicio práctico de la construcción en el contexto Colombiano se evidencian procesos erróneos que van en contra de lo descrito en las normas y en las investigaciones científicas.

El presente proyecto de investigación nace de la necesidad de solventar problemas técnicos y compositivos que se presentan en las viviendas construidas en guadua, que se traducen en un posicionamiento negativo de este bondadoso material en la construcción, teniendo en cuenta que la guadua es un material altamente renovable, posee características físico mecánicas excelentes y es un recurso proliferante en el país, lo convierten en un material ideal para la construcción sostenible.

El proyecto iniciara con un levantamiento de información de las principales falencias constructivas y compositivas en estructuras de bambú y el análisis de su incidencia dentro del proceso constructivo y su vida útil, consecutivamente se dará inicio al proceso investigativo formal, en cuanto a tipologías constructivas y arquitectónicas, con el fin de contar con referentes técnicos de proyectos que permitan cumplir los objetivos.

Este proceso será iterativo mediante el uso de la metodología BIM que permitirá una gestión optima de los datos recolectados y un análisis más rápido y preciso con el fin de tomar decisiones acertadas sobre el proyecto de forma sistemática y fluida.

Finalmente se estructurarán los lineamientos BIM para proyectos en guadua, de esta forma se establecerán los parámetros, estándares, requerimientos y flujos de trabajo para su correcta ejecución así mismo se establecen las hojas de ruta para la ejecución de las dimensiones 3, 4, 5 y 7. Esta información se encuentra relacionada dentro de los anexos del proyecto investigativo, bajo el documento BEP (Plan de ejecución BIM por sus siglas en ingles).

Abstract

Bamboo through history has developed and consolidated worldwide as a versatile material with a wide variety of applications and closely linked to environmental sustainability criteria, although at the international level China is the country that leads the manufacturing industry around the world. bamboo, Colombia has not lagged behind, as it is a country that has presented important scientific and investigative advances in the material.

Colombia has a wide variety of academic research on the material, additionally it has state regulations for its use in construction such as NSR 10 (Colombian earthquake resistant standard) and the compendium of Colombian technical standards (NTC), which standardize the use of the material, however in the practical exercise of construction in the Colombian context erroneous processes are evidenced that go against what is described in the norms and in scientific research.

This research project arises from the need to solve technical and compositional problems that is present in constructions built in guadua, which translate into a negative positioning of this good material in construction, taking into account that guadua is a highly renewable material, it has excellent physical-mechanical characteristics and is a proliferating resource in the country, making it an ideal material for sustainable construction.

The project will begin with a survey of information on the main constructive and compositional flaws in bamboo structures and the analysis of their incidence within the construction process and their life cycle, consecutively the formal investigative process will begin, in terms of constructive and architectural typologies. , in order to have technical references for projects that allow meeting the objectives.

This process will be iterative through the use of the BIM methodology that will allow an optimal management of the collected data and a faster and more precise analysis in order to make correct decisions about the project in a systematic and fluid way.

Finally, the BIM guidelines for projects in guadua will be structured, in this way the parameters, standards, requirements and workflows for their correct execution will be established, as well as the roadmaps for the execution of dimensions 3, 4, 5 and 7. This information is listed within the annexes of the research project, under the BEP document (BIM Execution Plan for its acronym in English).

1. Introducción

El proyecto dará inicio con un levantamiento de información ya recolectada en función del ejercicio profesional previo a la investigación, es así como se analizará el ciclo de vida de un proyecto en guadua de manera integral, de esta manera se evidenciarán las falencias proyectuales más comunes y que generen mayor impacto negativo en el proyecto.

Posteriormente en el transcurso del proyecto se realizará una categorización de los sistemas constructivos con las mejores prácticas proyectuales, tanto compositivas como técnicas que permitan garantizar la calidad holística de la ejecución del proyecto.

Mediante la metodología BIM se articulará todas las propuestas mencionadas generando un compendio de detalles constructivos con un manual de uso que permita el entendimiento constructivo de un proyecto en guadua de forma transversal con la metodología BIM

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Plantear un proceso constructivo y compositivo que garantice la calidad de la estructura y responda a las falencias técnicas que se evidencian en algunas estructuras en guadua, mediante un proceso metodológico que integre las diferentes dimensiones BIM.

2.2 Objetivos Específicos

- Mediante estudios de casos Identificar las falencias técnicas y compositivas que tienen los sistemas constructivos más frecuentes en guadua.

- Categorizar tipologías arquitectónicas y constructivas de construcciones en bambú alrededor del mundo, con el fin de identificar las características que mejor se adapten al contexto en el cual se desarrolla el proyecto.
- Integrar la información y el planteamiento de la propuesta bajo la metodología BIM con el fin de generar interoperabilidad y un mejor flujo de trabajo en la extracción de información.

3. Justificación

Actualmente la metodología BIM se encuentra en una etapa muy temprana en el territorio colombiano, esta metodología ha permeado principalmente en la industria civil de la construcción, donde ha tenido una gran acogida y ha generado un crecimiento exponencial en cuanto a la investigación y desarrollo BIM, no obstante todos estos avances a nivel nacional e internacional se ven reflejados bajo los principales materiales que componen los sistemas estructurales más usados, como lo es el concreto, el acero, el ladrillo y la madera, es así como el bambú ha quedado rezagado dentro de la metodología BIM.

Por otra parte, se tiene que en el territorio colombiano se cuenta con un alto desarrollo investigativo formal en cuanto al aprovechamiento y uso de este recurso natural, sin embargo, en el ámbito de la construcción con bambú, se evidencian una gran cantidad de falencias técnicas y constructivas que ocasionan la generación de patologías estructurales que ponen en riesgo la integridad de sus habitantes.

4. Hipótesis

Por medio de un manual constructivo que recopile las buenas prácticas constructivas en bambú se lograra que las comunidades que realizan prácticas de autoconstrucción con bambú puedan desarrollar su vivienda de una forma correcta y segura.

Con la creación de un plan de ejecución BIM (PEB) enfocado a proyectos en bambú se lograra que los profesionales de la construcción logren vincular esta metodología a proyectos en guadua, permitiendo un flujo de trabajo integral que posibilite la reducción de riesgos que impacten negativamente el proyecto.

5. Metodología

El proyecto se divide en dos grandes partes, las cuales son las Recomendaciones de autoconstrucción, las cuales están enfocadas hacia la comunidad que tiene limitados conocimientos en construcción y por otra parte contamos con el Plan de ejecución BIM para proyectos en guadua el cual está enfocado en los profesionales de la construcción que desean desarrollar proyectos en guadua bajo la metodología BIM.

5.1 Recomendaciones de autoconstrucción

En esta etapa se inicia la investigación y recopilación de las falencias técnicas y constructivas más habituales en proyectos en bambú en el territorio nacional, para esta labor se cuenta con acceso a galerías multimedia construidas por el investigador del presente documento en el transcurso del ejercicio profesional, de esta manera se hace un análisis de sus causas y su impacto dentro del ciclo de vida del proyecto.

Una vez se cuenta con el análisis formal de las falencias y las patologías que estas pueden detonar, se inicia la realización de la propuesta mediante el software Revit, luego del proceso iterativo de coordinación entre la arquitectura y la estructura, se procede a la extracción de información planimétrica al book de planos el cual puede ser consultado en la sección de Anexos.

5.2 Plan de ejecución BIM para proyectos en guadua

En esta etapa del proyecto se realizará la integración de la propuesta, descrita en el subcapítulo 5.1 mediante el software Revit, para lo cual se cuenta con el desarrollo de familias paramétricas para la construcción en guadua, de esta forma se desarrollará el documento PEB, en el cual se desarrollarán las directrices, parámetros y consideraciones técnicas y formales que deben tenerse en cuenta en el desarrollo de proyectos en guadua.

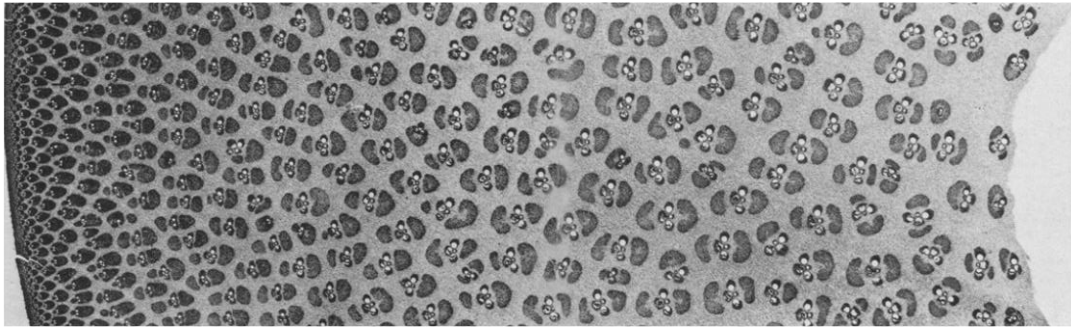
6. Marco conceptual

6.1 Estructura Interna de la Guadua

Para el correcto entendimiento del material es necesario conocerlo a profundidad, para este fin se hace inevitable la comprensión de la estructura interna del bambú y como esta interactúa en función de sus características físico-mecánicas:

Como lo indica (Londoño et al., 2002) la estructura interna del bambú está compuesta por haces vasculares longitudinales al eje del culmo que se encuentran rodeados por células de parénquima, la distribución y características de estas fibras es radial encontrando una mayor concentración en la periferia donde su tamaño es menor mientras que al interior se encuentran más separadas pero las fibras son de mayor tamaño.

Figura 1
Tramo de sección transversal del bambú Bambusa Polymorpha



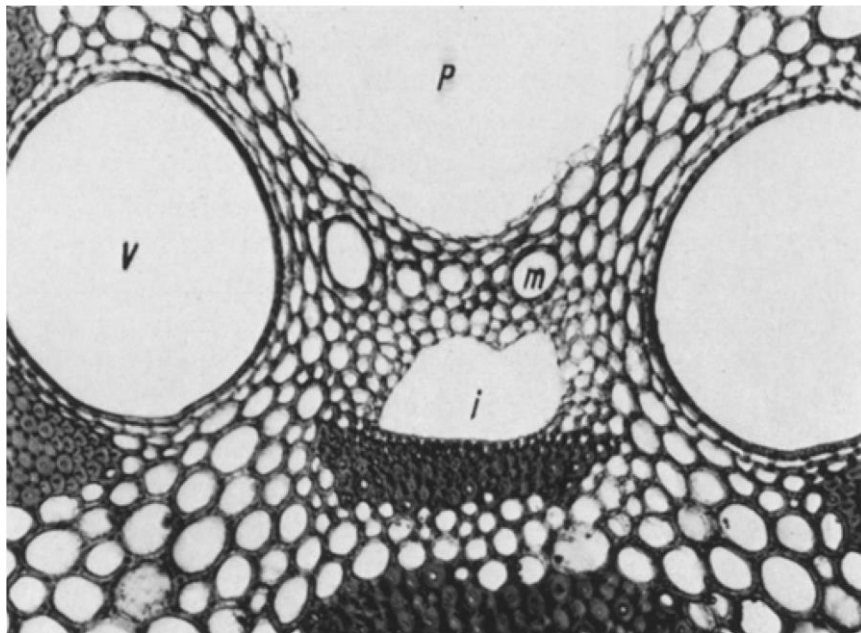
Tomado de On the Anatomy of Asian Bamboos, with Special Reference to their Vascular Bundles por DG y WL ,1971, Wood Science and Technology, Vol. 5, p. 300. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/On-the-anatomy-of-Asian-bamboos%2C-with-special-to-Grosser-Liese/5133ce5a14cfba4dccefe8dc13d081493cbdba93>

6.1.1 *Haces Vasculares*

Son elementos conductivos longitudinales, paralelos al eje del culmo, los cuales presentan una densidad radial en el área transversal del culmo, donde se encuentra una mayor concentración de haces vasculares en la zona cercana a la corteza, tal como se puede observar en la Figura 1, de esta forma la densidad disminuye al acercarse a la zona hueca del culmo. Estos elementos aparte de cumplir funciones sistémicas importantes dentro de la planta son los encargados de brindar la capacidad de resistencia a la compresión y a la tensión, alcanzando valores de esfuerzos admisibles altos.

Como se puede observar en la Figura 2 se evidencia una sección ampliada de un haz vascular, donde se puede evidenciar su estructura, [p] floema, [v] espacios entre haces, [i] el espacio intersticial, [m] metaxilema.

Figura 2
Sección ampliada de un haz vascular (225 x)



Tomado de On the Anatomy of Asian Bamboos, with Special Reference to their Vascular Bundles por DG y WL ,1971, Wood Science and Technology, Vol. 5, p. 294. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/On-the-anatomy-of-Asian-bamboos%2C-with-special-to-Grosser-Liese/5133ce5a14cfba4dcefe8dc13d081493cbdba93>

6.1.2 *Parénquima*

Es un tejido celular que se encuentra rodeando los haces vasculares, compuesto de células cortas y células alargadas, las cuales se lignifican con el tiempo mientras que las cortas no, la función sistémica de estos dos tipos de parénquima sigue sin conocerse tal como lo indica (Grosser & Liese, 1971), la función estructural es permitir la cohesión y el trabajo conjunto de los haces vasculares, este tejido presenta muy baja resistencia al corte como se pueden observar en los valores de esfuerzos admisibles en el título G de la NSR-10

6.1.3 *Tímpanos*

Es la sección del culmo la cual delimita el espacio que conforma un canuto o entrenudo, estas zonas del bambú son las únicas que cuentan con fibras de haces vasculares orientadas en direcciones

diferentes al eje longitudinal de la gramínea, de ahí su nombre de nudo, la composición interna en estas zonas permite el incremento de rigidez en la macroestructura del bambú, de igual forma sirven como flejes que contienen las fibras a una escala mayor, evitando así que fisuras se puedan propagar de un canuto al otro.

6.2 Patologías en sistemas constructivos en guadua

La incorrecta praxis en la planeación y ejecución de proyectos en guadua ocasiona que el material se vea afectado, tanto de forma estética como su integridad estructural, derivando en diversas problemáticas dentro de las cuales se pueden encontrar las siguientes

6.2.1 *Patologías físicas/Mecánicas*

6.2.1.1 Fisuras

Sucede en el material cuando el esfuerzo actuante es mayor al estado límite del material en particular en la guadua, es necesario tener especial cuidado la estructura sobre la estructura ocasiona la aparición de fisuras que pueden generar planos de falla, que evolucionan en grietas.

6.2.1.2 Grietas

Son separaciones alargadas del material similares a las grietas, no obstante, estas tienden a tener mayor longitud y profundidad, debilitando la integridad estructural del material pues tienden a suceder de forma longitudinales en el sentido de las fibras del material.

6.2.1.3 Aplastamiento

Se ocasiona en la guadua cuando los esfuerzos mecánicos de compresión perpendicular a las fibras del bambú supera al admitido, se refiere a la deformación permanente de la sección transversal del canuto de bambú

6.2.2 *Patologías Químicas*

6.2.2.1 Oxidación

En la construcción en bambú sucede en la cimentación o uniones metálicas, que no posean un recubrimiento especial frente a la humedad, la oxidación se puede dar en diferentes niveles, los cuales necesitan ser revisados pues alteran las secciones del material que se traduce en un debilitamiento estructural

6.2.3 *Patologías Biológicas*

6.2.3.1 Hongos

Dentro de las estructuras en Bambú se dan estas patologías en los casos que la humedad relativa favorece la aparición de hongos, adicionalmente cuando el bambú está en contacto directo con agua, resultado de malas prácticas constructivas o de diseño arquitectónico.

6.2.3.2 Xilófagos

Es una patología de carácter biótica que se produce principalmente por el aprovechamiento erróneo del material, en la cual insectos como el dinoderus se alimentan del contenido interno del material debilitándolo y facilitando planos de falla y mecanismos de colapso.

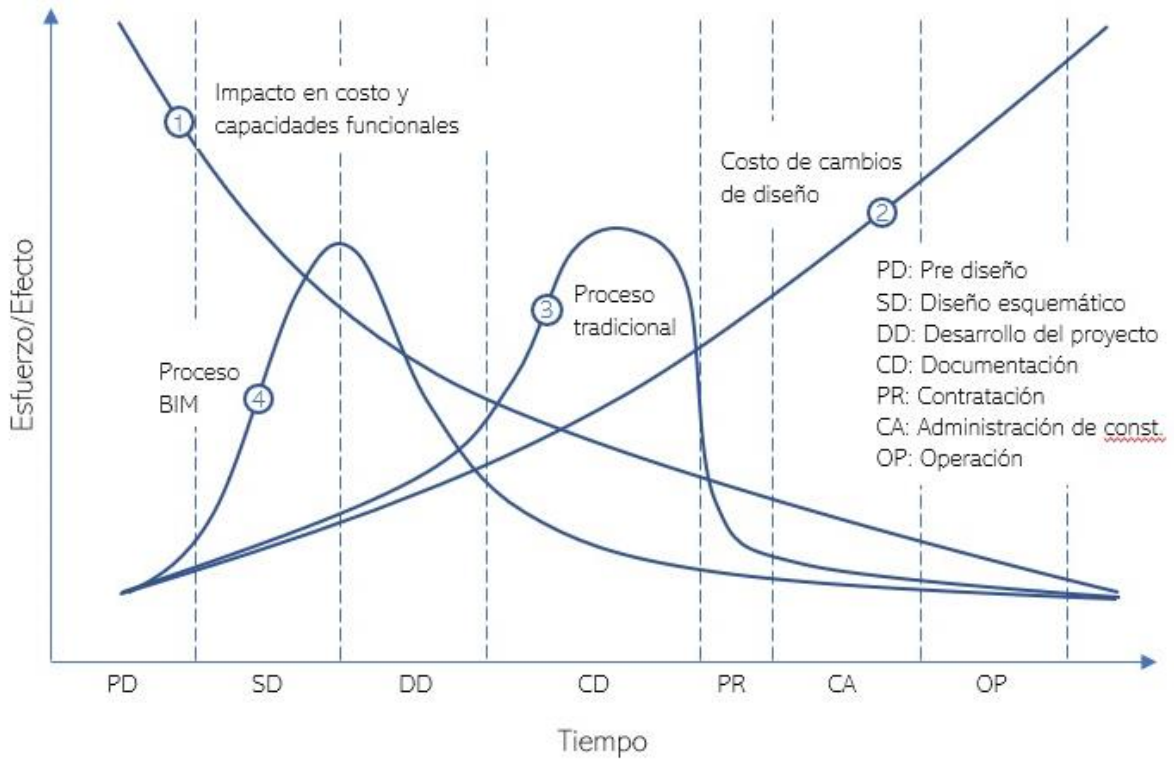
6.3 Casos de estudio de falencias constructivas y proyectuales

En el presente subcapítulo se desarrollan las falencias constructivas y proyectuales evidenciadas en diferentes casos de estudio recopilados en el ejercicio profesional del investigador, estas están analizadas teniendo en cuenta las fases del ciclo de vida de un proyecto de esta manera se tiene que se analiza desde la Etapa de diseño, Etapa de preliminares, Etapa de estructura, Etapa de instalaciones, Etapa de acabados y Etapa de operación.

6.3.1 Etapa de diseño

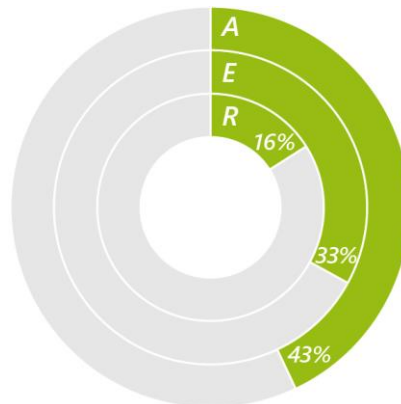
Como se puede observar en la *Tabla 2* la mayoría de las afectaciones en cuanto a falencias constructivas y posible desarrollo de patologías al interior de un proyecto surgen a raíz de decisiones tomadas en la fase de diseño, por esta razón desde esta óptica es necesario un mayor esfuerzo en esta etapa puesto que el impacto sobre el proyecto es mayor y el costo de las decisiones es menor tal como se puede evidenciar en la *Figura 3*, es de esta manera que la metodología BIM es la herramienta indicada para llevar a cabo este proceso puesto que enfoca la mayor cantidad de esfuerzo en etapas del ciclo del proyecto.

Figura 3
Curva de McLeamy en proyectos de construcción



Tomado de: Cómo reducir el coste y el tiempo de ejecución de obras con BIM por JR ,2018. Recuperado de <https://retaintechologies.com/como-reducir-coste-tiempo-ejecucion-de-obras-bim/>

Figura 4
Resultado análisis encuesta a maestros de la guadua



Elaboración propia: A= % de proyectos que cuentan con un diseño Arquitectónico E= % de proyectos que cuentan con un diseño Estructural R= % de proyectos que cuentan con un Residente.

6.3.1.1 Implantación

Si bien la mayoría de los casos muestra una correcta adaptación del proyecto al terreno, un tema que se deja de lado es la ventilación y la iluminación, esto es un detonador de deterioro en las condiciones internas de la vivienda, tanto para el confort como para los parámetros admisibles de radiación solar y humedad relativa para el bambú.

6.3.1.2 Protección por diseño

La mayoría de las construcciones no presentan una protección por diseño adecuada, donde se evidencia la carencia de aleros que protejan el bambú de la lluvia y los rayos solares directos, de igual forma no se evidencian sobrecimientos adecuados que permitan aislar la gramínea del suelo, esto genera que el material sea susceptible a la humedad del terreno al igual que el contacto con la lluvia.

6.3.1.3 Conocimiento del material

En la mayoría de las encuestas realizadas se evidencio que un gran porcentaje de las obras realizadas son diseñadas y ejecutadas por personas que no tienen un conocimiento holístico del material este factor se vuelve un detonante de patologías estructurales al no realizar los procesos constructivos de la forma adecuada.

6.3.1.4 Calculo estructural

Según 35 encuestas realizadas a maestros de la guadua de diferentes zonas del país, se encontró que el 65% de los proyectos no cuenta con un diseño estructural, de esta forma en la mayoría la mayoría de los proyectos están a cargo de un maestro de obra o un arquitecto que no poseen el conocimiento

técnico-científico acerca de las estructuras en guadua, esto ocasiona que en la mayoría de los casos se exponga a los culmos a esfuerzos mayores a los admisibles, lo cual desencadena en patologías físicas como fisuras y grietas, que a su vez comprometen la integridad estructural de la edificación.

6.3.2 Etapa de preliminares

Una de las etapas que dan inicio al proyecto y donde se presta menor atención al uso y manipulación del recurso bambu-gadua es la de preliminares, por esta razón en esta sección del documento se detallaran los aspectos relevantes de estas actividades que se han encontrado en los casos de estudio, resultados de la experiencia profesional del investigador.

6.3.2.1 Aprovechamiento

Dentro de la etapa de aprovechamiento del recurso natural en los guaduales, confluyen diferentes detonantes que ocasionan que la guadua pierda integridad en su estructura, como el corte temprano de los culmos, con el fin de tener una mayor tasa de extracción del material, a costa de no permitirle a la gramínea alcanzar su estado maduro óptimo para ser usada en construcción

6.3.2.2 Transporte

En el transporte del material se presenta una indebida manipulación en el cargue y descargue del material, puesto que no es transportado con precaución y en su trayecto este sufre impactos en su superficie, este evento ocasiona en la guadua la generación de fisuras internas y externas, donde las primeras generan una alta incertidumbre en la integridad del material puesto que estas fisuras no son visibles desde la parte exterior de la guadua, por tanto no es posible tomar acciones correctivas para controlar dichas patologías.

6.3.2.3 Acopio

En la recepción del material sucede principalmente dos situaciones, la primera corresponde al descargue del bambú en obra, que en algunas veces se realiza sin cuidado, generando impactos que producen fisuración externas e internas, por otra parte, se encuentra la situación donde el material no es almacenado correctamente en obra, a la intemperie y al contacto directo de la lluvia y los rayos solares, que comprometen la integridad del material.

6.3.2.4 Elección

Posterior al aprovechamiento, es necesario realizar la elección del material a usar en obra, este se debe escoger cuidadosamente, pues al ser un material se cuenta con una varianza en sus medidas, de esta manera se debe propender por que la totalidad de las guaduas estén entre un rango de máximo 1 cm en cuanto al diámetro exterior del mismo.

6.3.3 *Etapa de estructura*

6.3.3.1 Cimentación

En los casos estudiados se evidencia que la mayoría de las estructuras no cuentan con una cimentación o su cimentación es inadecuada, esto ocasiona que los proyectos presenten asentamientos diferenciales que se traducen en fisuras y grietas en la estructura.

6.3.3.2 Sobre-cimiento

En cuanto a los sobrecimientos se observa que en un buen número de proyectos estos no cumplen la altura adecuada para separar los bambús del terreno, y en pocos casos se evidencia la ausencia de sobrecimientos, en estos casos la guadua queda en contacto directo con el suelo, lo que ocasiona que por la capilaridad del terreno el material se pudra.

6.3.3.3 Uniones

En el 85% de los casos de estudios se evidencio falencias constructivas en las realizaciones de las uniones, en estas el acople de los elementos no era el adecuado, principalmente en uniones con corte de boca de pez y pico de flauta, dado su alta complejidad, la necesidad de mano de obra calificada y la ausencia de planeación en las etapas de diseño.

6.3.4 *Etapa de instalaciones*

En esta etapa se analiza la actividad de tendido de redes e instalaciones en los proyectos de bambú y su incidencia en su ciclo de vida.

6.3.4.1 Trazado

Dentro de las encuestas realizadas se encontró que el 93% de los encuestados declaran que en los proyectos que realizaron, el trazado de las redes se decidía en la etapa de obra, cuando se estaba forjando los aceros de la cimentación, esta carencia de planeación previa ocasiona que en obra se tomen decisiones inapropiadas que perjudiquen la integridad de la estructura.

De igual forma en los proyectos no se cuenta con la planeación de las redes al interior de este, por tanto, estas decisiones son resueltas en obra, donde ocurren pases inapropiados en elementos de guadua que afectan su resistencia y propician planos de falla.

6.3.5 *Etapa de acabados*

Dentro de la revisión de los casos de estudio y la realización de las encuestas se encontró que la elección de acabados responde en la mayoría a decisiones de carácter estético, de esta forma se dejaba de lado perspectivas técnicas a la hora de su utilización.

6.3.5.1 **Peso**

En la revisión de los casos de estudio se evidencia que los acabados de piso para sistemas de entrepiso son pesados lo que genera un mayor avalúo de carga muerta, esto ocasiona una mayor concentración de esfuerzos en los elementos que conforman el sistema de entrepiso y en los elementos que transmiten las fuerzas al terreno.

6.3.5.2 **Unión a estructura**

En los proyectos revisados dentro de los casos de estudio, se evidencia una incorrecta unión de los acabados arquitectónicos a la estructura, en la materia de casos se hace uso de puntillas como elemento de sujeción entre el acabado y la estructura, esta práctica ocasiona una separación de las fibras del bambú ocasionando planos de falla que pueden evolucionar en fisuras y posteriores grietas.

6.3.5.3 **Flexibilidad**

En el cerramiento de los proyectos se evidencia que se utiliza acabados que no tienen un nivel de deformación igual a la estructura, en varios casos se utilizan cerramientos de mampostería, la cual es de comportamiento rígido en comparación a la guadua, en estos casos frente a los movimientos eólicos y/o sísmicos la estructura se mueve más que el muro de mampostería, esta acción genera una restricción de la guadua lo que se traduce en concentración de esfuerzos y posteriores fisuras.

6.3.6 ***Etapas de operación***

6.3.6.1 **Cambio de uso**

Si bien dentro de los casos de estudio el cambio de uso no es una situación recurrente, se debe tener especial cuidado puesto que la mayoría de las estructuras que se pueden ver afectadas por un cambio de uso en el contexto colombiano son las de uso residencial, los cambios posteriores a la

construcción pueden ocasionar que la estructura se vea sometida a cargas mas elevadas a las que fueron diseñadas.

6.3.6.2 Mantenimiento

En cuanto al mantenimiento se observan dos situaciones, la primera en la cual los propietarios no realizan un mantenimiento adecuado de la estructura y la segunda donde el equipo de diseño no prevé una correcta estrategia de protección por diseño lo que ocasiona que los mantenimientos sobre las estructuras sean altamente costos y se vuelvan inviables económicamente.

6.3.7 Análisis de etapas constructivas en el desarrollo de patologías

Las etapas abordadas previamente se analizaron en conjunto en las distintas fases de un proyecto constructivo, para indicar la incidencia que puede tener una actividad especifica en el proyecto y que patologías puede desarrollar, es así como se declara en la Tabla 1 las actividades y du respectiva abreviación en la tercera columna.

*Tabla 1
 Codificación de actividades según fase de proyecto*

FASE	ACTIVIDAD	ID
Diseño	Implantación	D1
	Protección por diseño	D2
	Conocimiento del material	D3
	Calculo Estructural	D4
Preliminares	Aprovechamiento	P1
	Transporte	P2
	Acopio	P3
	Elección	P4
Estructura	Cimentación	E1
	Sobre-cimiento	E2

	Uniones	E3
	Cortes	E4
Instalaciones	Trazado	I1
	fugas	I2
Acabados	Peso	A1
	Unión a estructura	A2
	Rigidez - Fragilidad	A3
	Especificaciones	A4
Operación	Cambio de uso	O1
	Mantenimiento	O2

Elaboración propia

En laTabla 1 se declaran las fases del proyecto donde se evidenciaron la mayor cantidad de variables a tener en cuenta para la disminución del riesgo de desarrollo de patologías constructivas.

En la Tabla 2 se encuentra una matriz entre las actividades descritas en la Tabla 1, con una x se indica cuando el incumplimiento de una actividad en el grupo de las filas genera un impacto negativo en las actividades de las columnas.

*Tabla 2
 Matriz de afectaciones por actividades proyectuales e impacto en patologías*

	D1	D2	D3	D4	P1	P2	P3	P4	E1	E2	E3	E4	I1	I2	A1	A2	A3	A4	O1	O2	
D1	24																				
D2		124								x											
D3			1234																		
D4				1												x					
P1			x		34																
P2			x			123															
P3			x				123														
P4		x	x		x	x		1													
E1		x		x					15				x		x						
E2		x	x	x						145			x		x						
E3		x		x	x		x	x			1		x		x	x					
E4		x			x		x	x				1			x	x					
I1		x	x	x									14								
I2		x												14							
A1			x	x											1						
A2			x								x	x				1					
A3		x	x	x							x	x					1				
A4			x															14			
O1				x					x						x					1	
O2			x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x					124

Elaboración propia

En la Tabla 3 se declaran las convenciones de las patologías, las cuales se encuentran en la diagonal de la Tabla 2, e indican las patologías que se pueden desarrollar por el indebido desarrollo de la actividad, en los casos donde se encuentran mas de un número en las casillas de la diagonal, indica que se puede desarrollar más de una patología por el desarrollo erróneo de la actividad.

Tabla 3
Convención de patologías para análisis de Matriz de afectaciones

Nº	PATOLOGÍA
1	Fisura
2	Foto-degradación
3	Xilófagos
4	Hongos
5	Oxidación

Elaboración propia

6.4 Normativa y buenas practicas

Alrededor del bambú se encuentra variada bibliografía que abarcan diferentes temas que van desde la silvicultura, hasta su aprovechamiento, dentro del contexto colombiano el uso en la construcción es el más ampliamente documentado, de esta manera se cuenta con referencias documentales de carácter normativo, referencial y académico.

6.4.1 Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10) Titulo G.12

Desarrollada por medio de la comisión de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica con el fin de establecer requisitos mínimos en la ejecución de los ejercicios de diseño y construcción que garanticen la protección e integridad de las personas. De esta manera en el capítulo A.1 de la NSR-10, se establece que “El diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones en el territorio de la republica e Colombia debe someterse a los criterios y requisitos mínimos que se establecen en las Normas Sismorresistentes Colombianas” (AIS, 2010, pág. 19)

6.4.2 Compendio de Normas Técnico Colombianas (NTC)

Desarrolladas por Icontec establecen los lineamientos de procesos relacionados con ámbitos del aprovechamiento dentro de la cadena productiva de la guadua, con el fin de garantizar estándares de calidad del proceso o el producto final, así como la normalización del mismo, estas normas a pesar de no ser de carácter obligatorio, su aplicación es necesaria de forma articulada con los demás documentos dentro del marco documental expuestos en el presente documento

6.4.3 Compendio de la Organización Internacional de Normalización (ISO)

Esta organización encargada de la normalización y estandarización en los procesos, desarrollo normativas referente al aprovechamiento del bambú, tales como la ISO 22156 del 2004 referente al diseño estructural de proyectos en bambú, estas normativas se encuentran articuladas por mesas técnicas compuestas por equipos multidisciplinarios de especialistas de todo el mundo.

6.5 Lineamientos BIM¹

Los lineamientos de BIM (Building Información Modeling) el cual puede describirse como el compendio de métodos, tecnologías, procesos y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación de una manera simultánea en un espacio virtual. Por ello BIM permiten organizar y gestionar información mediante modelos multidimensionales. En la implementación de BIM, los esquemas arquitectónicos se categorizan en niveles de desarrollo cuyo rango va de LOD 100 a LOD 500 y deben ir acorde a las fases del diseño y al alcance contractual de cada proyecto. A continuación se describe cada uno de los niveles de desarrollo LOD (Level Of Development).

6.5.1 Niveles de desarrollo (LOD)

El LOD permite estandarizar la información gráfica que poseen las instancias constructivas del proyecto, esto permite declarar que propiedades geométricas tendrá cada elemento en función del alcance, la fase y los usos que se desarrollaran en el proyecto.

¹ Puesto que la metodología BIM es un concepto relativamente nuevo, se encuentra una gran variedad de perspectivas conceptuales, por esta razón estos conceptos se basarán en las guías desarrolladas por CAMACOL en conjunto con el BIM Fourm Colombia

6.5.1.1 **LOD 100**

En cuanto al nivel de desarrollo 100 se tiene que “Los elementos no son representaciones geométricas. La información ligada al elemento indica su existencia dentro del modelo más no características como forma, tamaño o localización precisa. La información derivada de elementos LOD 100 debe ser considerada aproximada.” (BIM Forum Colombia, 2020, p. 12) sus características están dadas por sus usos en etapas tempranas del proyecto tales como diseños conceptuales y cabidas.

6.5.1.2 **LOD 200**

En este nivel de desarrollo la información geométrica es aproximada y funciona para reservar un espacio tridimensional o para revisar interacciones con espacios o disciplinas conjuntas, en este caso la información puede ser representada mediante geometrías tridimensionales primarias, como cubos, cilindros, prismas, entre otras.

6.5.1.3 **LOD 300**

Para el LOD 300 se tiene que todas las instancias del modelo cumplen con las medidas reales del mismo y toda información geométrica que se requiera del mismo podrá ser consultada directamente.

6.5.1.4 **LOD 350**

Para el presente nivel de desarrollo se tiene de acuerdo con el BIM KIT actualizado en el 2020 por Camacol, que las instancias deben poseer todas las medidas y dimensiones reales del elemento constructivo, así como los subcomponentes necesarios para su coordinación con otras disciplinas. (BIM Forum Colombia, 2020, p. 13)

6.5.1.5 LOD 400

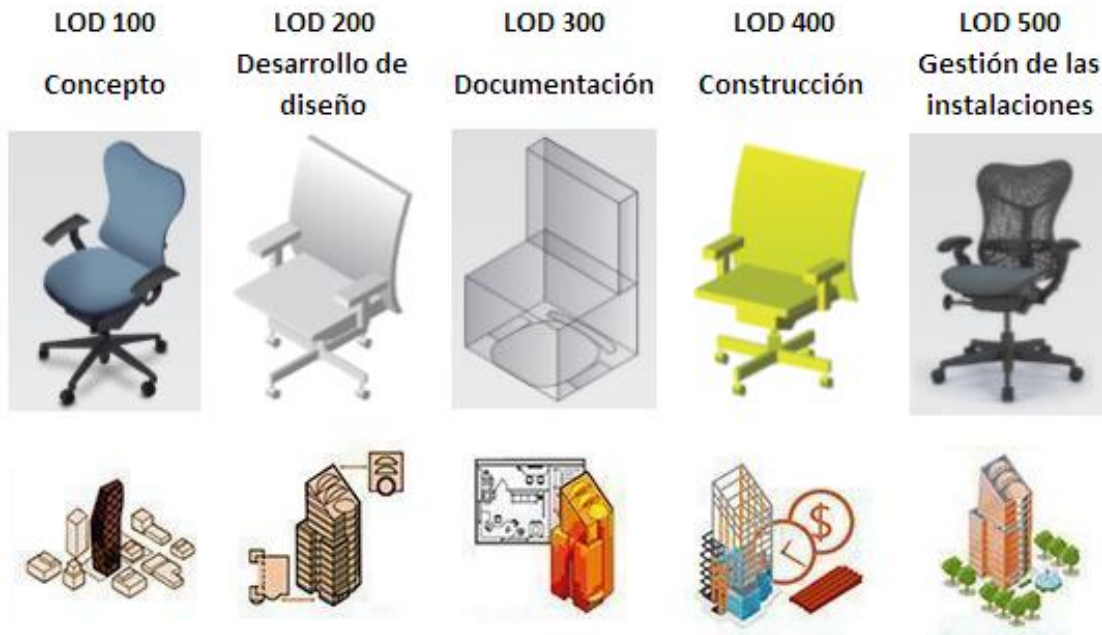
En la guía actualizada por el BIM Forum con la colaboración de Camacol en el 2020 se declara que: "Los elementos LOD 400 están modelados de manera detallada y exacta para fabricación/construcción. La cantidad, tamaño, forma, localización y orientación de los elementos se puede medir directamente desde el modelo sin necesidad de referirse a información no modelada como notas o detalles."(p. 14)

6.5.1.6 LOD 500

Este nivel de detalle hace referencia a lo dispuesto en el nivel anterior, con la adición que las instancias del modelo deben corresponder a las características físicas y espaciales de los elementos constructivos en obra y la metadata debe ser la necesaria para las labores de operación y mantenimiento (BIM Forum Colombia, 2020, p. 14)

En la siguiente ilustración se ejemplifica los niveles de desarrollo

Ilustración 1 Ejemplos - niveles de desarrollo LOD



Tomado de la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol) y de la revista técnica Pro instalaciones. Recuperado de <https://www.proinstalaciones.com/articulos/tecnico/372-iniciando-bim-en-las-instalaciones-de-un-edificio>

6.5.2 Niveles de información (LOI)

“En los modelos BIM, LOI hace referencia a la información no gráfica, es decir la información técnica del modelo, por ejemplo, instancias con un alto LOI, contiene información para su manufactura tales como precio y disponibilidad en bodega.” (LOD simply explained: the lod kiwi, 2019).

A pesar de que es un tema muy importante, la información al respecto es muy escasa, en la ISO 19650 se hace una referencia de los requerimientos de información, no obstante, esta es muy genérica puesto la dificultad de establecer parámetros de metadata para todos los proyectos a nivel mundial.

6.5.3 Requerimientos del modelo bim

Los requerimientos BIM surgen a raíz de las necesidades del proyecto, de esta forma desde las etapas tempranas se debe establecer el alcance BIM en el proyecto, puesto que esto permite el desarrollo de una estrategia para dar cumplimiento a dichos requerimientos.

Estos requerimientos definirán parámetros tridimensionales como el LOD y parámetros no gráficos como el LOI, así como el flujo de trabajo y de información que se deberá llevar a cabo.

6.5.4 Usos BIM²

Los usos BIM son aquellos parámetros de entrada que permiten generar una estrategia BIM adecuada, de esta manera se establece el alcance que se pretende lograr y que herramientas serán usadas para dicho propósito, los usos configuran el accionar BIM en cada una de sus etapas

6.5.4.1 Planeación

Para la etapa de planeación se tiene que se pueden dar los siguientes usos BIM:

- Análisis de sitio
- Análisis de cabidas y prefactibilidad
- Revisiones de diseño
- Autoría de Diseño
- Análisis energético

6.5.4.2 Diseño

Para la etapa de diseño se tiene que se pueden dar los siguientes usos BIM:

- Análisis de la estructura
- Análisis de la iluminación

² Los Usos BIM se desarrollan con base a lo establecido en las guías de Camacol y el BIM Forum Colombia, por medio de los diferentes tomos del BIM KIT.

- Análisis de otras disciplinas
- Evaluación LEED
- Validación de códigos
- Coordinación técnica

6.5.4.3 Construcción

Para la etapa de diseño se tiene que se pueden dar los siguientes usos BIM:

- Revisión de constructibilidad
- Información para taller de construcción
- Seguimiento en obra

6.5.4.4 Operación

Para la etapa de diseño se tiene que se pueden dar los siguientes usos BIM:

- gestión de los equipos
- Mantenimiento de los espacios y/o recintos

6.5.5 Marco Referencial

Puesto que un proyecto de construcción consta de una gran variedad de elementos y adicionalmente estos se encuentran inmersos en diferentes usos BIM, se hace necesario que estos cuenten con una nomenclatura o codificación que permita su estandarización y así la automatización en el flujo de trabajo, actualmente se han desarrollado una buena cantidad de estándares de nomenclatura de elementos como los que se describirán a continuación, no obstante ninguno de estos presenta codificaciones adecuadas para los elementos en bambú

6.5.5.1 Unifomat

Unifomat “corresponde a un estándar para la clasificación de especificaciones, estimación de costos y análisis de gasto energético en EE.UU y Canadá. Es un método estandarizado que ordena la información de construcción, organizando mediante partes físicas llamados sistemas y ensamblajes”(Gabriel Conejera Cea, 2019, p. 4)

Unifomat refiere un sistema de clasificación de acuerdo con capítulos representado por caracteres alfabéticos, donde:

A = Sub-estructura

B = Super-estructura

C = Elementos interiores

D = Redes de servicio

E = Equipamiento y mobiliario

F = Construcción especial y demolición

G = Actividades de sitio

Z = Zonas de trabajo

6.5.5.2 Uniclass

Como indica Cea (2019) el sistema Uniclass consta de una clasificación alfabética de acuerdo con las fases proyectuales, este primer parámetro consiste en dos caracteres alfabético que relacionan la categoría seguido de 6 caracteres numéricos que identifican el elemento constructivo, los cuales se pueden evidenciar a continuación:

Co – Edificaciones complejas

En – Entidades constructivas

Ac – Actividades

SL – Espacios o ubicaciones

EF – Elementos o funciones

Ss – Sistemas

Pr – Productos

TE – Herramientas y equipos

PM – Gerencia del proyecto

Zz – archivos tipo cad

F1 – Formas de información

6.5.5.3 **Omniclass**

Omniclass “es un sistema de organización y clasificación para la industria de la construcción. Basado en la clasificación por códigos ordenados en tablas y según la función, forma, fases, etc., de todos los elementos presenten en un proyecto”(Gabriel Conejera Cea, 2019, párr. 3).

Tabla 4
Tabla extendida de definiciones - Omniclass

2012 DRAFT OmniClass Table 12 - Construction Entities by Form						
Number	Level 1 Title	Level 2 Title	Level 3 Title	Level 4 Title	Definitions	Alternate Terms:
12-11 00 00	Building				A structure used or intended for supporting or sheltering any use or continuous occupancy.	
12-11 11 00		Low-Rise Building			A building or structure having less than seven stories above ground level and typically not containing an elevator or mechanical lift system.	
12-11 11 14			Low-Rise Free-Standing Building		A building or structure that is fully located within its lot and not supported by any other structure, having less than seven stories above ground level and typically not containing an elevator or mechanical lift system.	
12-11 11 14 11				Low-Rise Free-Standing Point Building	A building or structure with pointed roof or aerial at its top that is fully located within its lot and not supported by any other structure, having less than seven stories above ground level and typically not containing an elevator or mechanical lift system.	
12-11 11 14 15				Low-Rise Free-Standing Slab Building	A building or structure with a largely rectangular shape and flat roof that is fully located within its lot and not supported by any other structure, having less than seven stories above ground level and typically not containing an elevator or mechanical lift system.	
12-11 11 14 19				Low-Rise Free-Standing Helical Building	A building or structure composed of spiral-shaped or curved surfaces representing a geometrical system of fields that is fully located within its lot and not supported by any other structure, having less than seven stories above ground level and typically not containing an elevator or mechanical lift system.	
12-11 11 14 23				Low-Rise Free-Standing Organic Building	A building or structure composed chiefly of wavy lines and curved shapes that suggest natural forms; concrete, cantilever trusses, and swooping arches without visible beams or pillars are often employed, that is fully located within its lot and not supported by any other structure, having less than seven stories above ground level and typically not containing an elevator or mechanical lift system. An Organic structure is generally not linear or rigidly geometric.	

Tomado de Sistemas de Clasificación BIM Omniclass, Uniclass, UniFormat, MasterFormat y NL/Sfb. Conejera G., BuildBIM. Artículo 04. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/330712793_Sistemas_de_Clasificacion_en_BIM_Omniclass_Uniclass_UniFormat_MasterFormat_y_NL_SfB

7. Recomendaciones / Propuesta

7.1 Recomendaciones constructivas y compositivas

En el presente subcapítulo se abordará las propuestas estudiadas en los casos de estudio dentro del subcapítulo 6.3, de esta forma el usuario que realice el proyecto pueda tener un mejor entendimiento de las implicaciones de las actividades dentro del proyecto en bambú, esta información se ve diagramada dentro de la Figura 5.

Figura 5
 Falencias constructivas en el ciclo de vida de proyectos en guadua



Nota: En el diagrama se evidencia en la periferia las principales etapas estudiadas del proyecto, al interior se indica las actividades o consideraciones que al no tener en cuenta se puede desarrollar patologías en la estructura, correspondientes a las definidas en el subcapítulo 6.3. Elaboración propia.

7.1.1 *Calidad del material y puesta en obra*

Las perforaciones del proceso de inmunización no deben estar alineadas, puesto que genera un plano de falla.

El acopio del material debe darse en condiciones *óptimas* de temperatura, humedad e incidencia solar, la guadua debe estar almacenada de forma tal que no tenga contacto directo con el suelo (5-10cm) separado del suelo, debe estar protegida de la lluvia y radiación solar.

Evitar el uso de guaduas donde una grieta pase de un canuto a otro.

Realizar inspección visual de ataques por Xilofagos como el *Dinoderus minutus*, si se observan ataques biológicos de estos insectos se debe descartar el material y no hacer uso dentro del proyecto.

En el momento de descargue del material se debe hacer con precaución evitando golpes de impacto que puedan generar fisuras externas e internas en el material que puedan derivar en futuras grietas.

El contenido de humedad del material no debe ser mayor a 20% y el transporte desde la zona de aprovechamiento hasta la obra se debe hacer de forma progresiva cuando el diferencial de humedad sea alto, para evitar contracciones súbitas del material por la pérdida u obtención de humedad de forma acelerada.

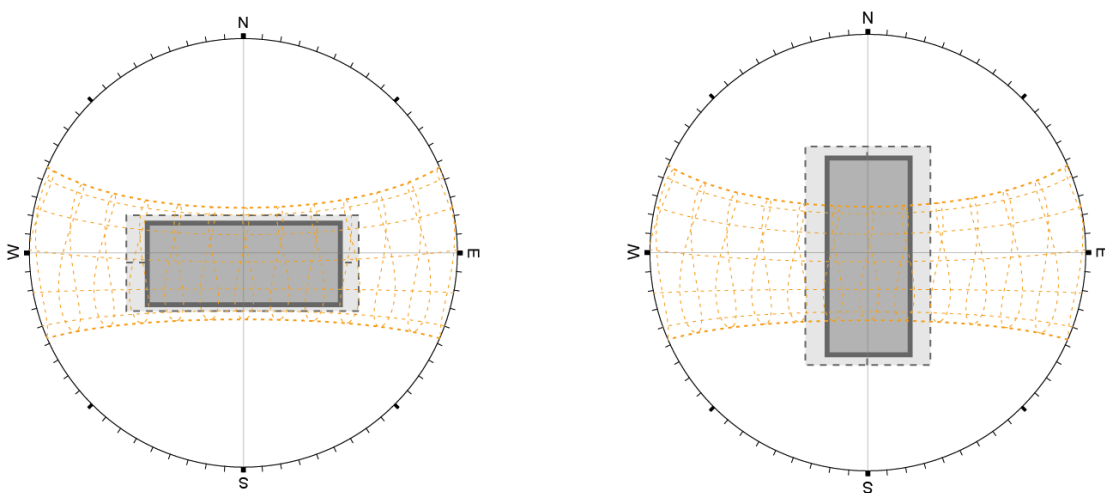
Para el aprovechamiento del recurso natural en aplicaciones estructurales este debe tener una edad de 4 a 6 años, donde sus propiedades físicas mecánicas son las mas óptimas.

7.1.2 *Implantación*

Dentro de los factores que influyen en el proceso de implantación del proyecto se encuentra principalmente el viento y el recorrido solar, no obstante, dentro de este capítulo se tendrá en cuenta

únicamente la asoleación para este proceso, pues es un factor clave en la protección por diseño que debe recibir el material para evitar patologías de foto-degradación que evolucionen en patologías mecánicas como las fisuras y las grietas

Figura 6
Orientación del proyecto y distribución de aleros de acuerdo con el clima

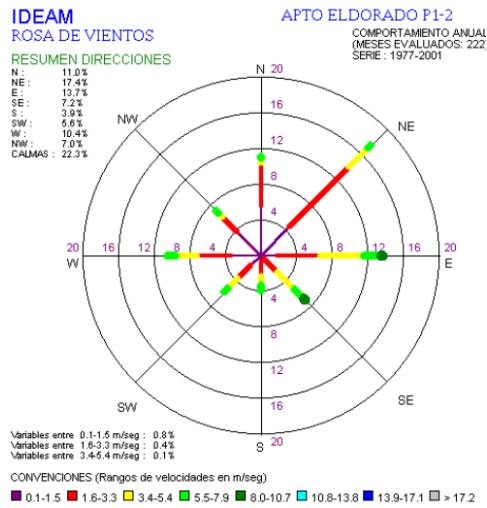


Elaboración propia (caliente izquierda, frío derecha) Las líneas amarillas representan el recorrido solar para Colombia las líneas grises discontinuas, los aleros que debe tener el proyecto, estos en el sentido Este-Oeste puesto que es la dirección de la trayectoria solar.

Como se puede observar en la Figura 6 se detalla que el único factor predominante en la elección de la orientación del proyecto corresponde a la trayectoria solar, puesto que esta tiene un mayor efecto en el desarrollo de las patologías estructurales, para la ventilación, se debe garantizar una renovación constante del aire al interior del proyecto.

Para el proceso de garantizar la renovación de aire propicio en la vivienda se debe consultar la base de datos del IDEAM con el fin de obtener los datos de las rosas de los vientos de la zona más cercana al proyecto, tal como se muestra en la Figura 7

Figura 7
Rosa de los vientos del aeropuerto el dorado IDEAM



Tomado de: Distribución espaciotemporal de vientos en superficie, IDEAM, p. 02. <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/dire-text.pdf>

Una vez obtenida la información de distribución de vientos se debe identificar la dirección predominante de los vientos, de esta forma permitirá ubicar la mayor cantidad de aperturas en las fachadas en la dirección predominante en climas cálidos, mientras que en climas fríos se buscara que estas aperturas no queden enfrentadas a los vientos predominantes pues se enfriará la vivienda de forma acelerada.

7.1.3 Cimentación

La cimentación es el sistema encargado de transmitir los esfuerzos de la estructura al terreno, es de vital importancia su adecuada selección y ejecución pues de ella depende en gran medida el correcto funcionamiento de la estructura, su elección surge de la suma de variables como el terreno, el uso, las cargas, programa arquitectónico, entre otras, en el presente documento se abordaran las referentes a

cimentaciones de vigas corridas y zapatas aisladas, las cuales son las más usadas en proyectos de vivienda en guadua.

Con el fin de la elección adecuada del tipo de cimentación a usar se validará según el parámetro del terreno, según lo dispuesto en la Tabla 5

*Tabla 5
 Elección de sistema de cimentación de acuerdo con la pendiente del terreno*

Pendiente	Pendiente [%]	Pendiente [°]	Zapata aislada	Viga de Cimentación
Plano	0-11	0-6	X	X
Semiplano	11-18	6-10	X	X
Pendiente	18-58	10-30	X	*
Muy Pendiente	58-100	30-45	X	*

*En zonas con pendientes mayores al 18% se puede hacer uso del sistema de viga de cimentación siempre y cuando la guadua cuente con un sobre cimientado que la separe mínimo 50cm del terreno a lo largo de todo el elemento de cimentación, como estrategia se puede ubicar las vigas en forma perpendicular a la pendiente del terreno, de requerirse en forma paralela, esta viga deber escalonarse para mantener el aislamiento de 50 cm al terreno. Elaboración propia

Para el sistema conformado por vigas de cimentación se tiene unos valores mínimos en la geometría del elemento, con el fin que la estructura presente un adecuado comportamiento estructural, de acuerdo con la Tabla 6

*Tabla 6
 Variables mínimas para cimientos de viga corrida y sistema de muros en guadua*

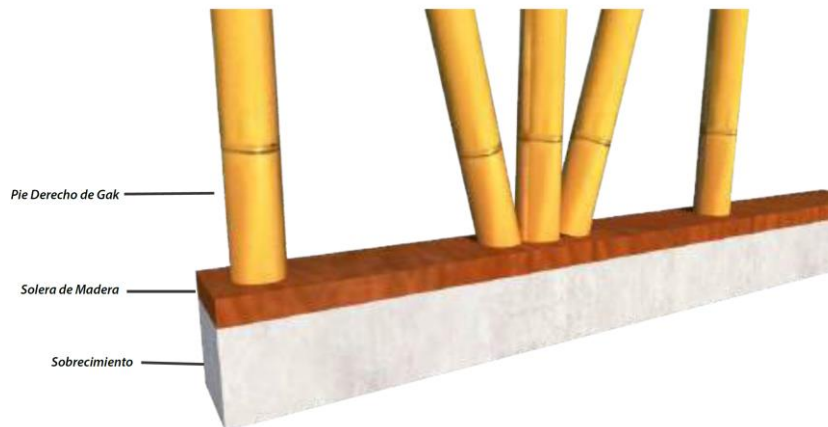
	Número de pisos		Referencia / Resistencia	
	1	2	MPa	Kg/cm ²
Ancho	30 cm	30 cm	Fc: 17,25	172,5
Altura	30 cm	30 cm		
Acero longitudinal	4 #3	4 #4		
Estribos	#2 cada 20cm	#2 cada 20cm	Fy: 235	2350
Aceros de arranque	#3	#4		

Adaptado de Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado por Asociación colombiana de ingeniería sísmica, p. 31. Recuperado de https://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrvtbe/guadua_lared.pdf

7.1.4 Sobre-cimientos

En el caso de sistemas estructurales compuestos de muros se debe utilizar un sobrecimiento compuesto por muro en bloques, que permitan aislar la guadua de la humedad del terreno, de esta forma, se debe propender que el bambú quede no menos de 50 cms a la altura del terreno, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8
Esquema general de sobrecimiento para sistemas de muros estructurales en guadua



Tomado de Guía didáctica para diseño y construcción de estructuras de guadua (GAK) y otros bambúes. Cadena D., INBAR, p. 58. Recuperado de <https://www.inbar.int/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-Did%C3%A1ctica-Dise%C3%B1o-y-Construcci%C3%B3n-estructuras-de-Guadua-y-otros-Bamb%C3%BAes-Final-1.pdf>

7.1.5 Super estructura

Los elementos de la superestructura deben ser homogéneos en diámetro a lo largo del culmo, se debe optar por una tolerancia máxima de 1cm entre el diámetro de un extremo y el otro extremo.

Las uniones y empalmes se deben realizar conforme lo estipulado en el título G de la NSR10, se debe mantener de igual forma al mínimo el uso de uniones a corte, a no ser que estas se encuentren calculadas por un ingeniero especialista. En las uniones se debe garantizar que la totalidad transversal de la guadua este en contacto con el elemento que recibe o apoya, con el fin de garantizar que la transmisión de cargas se realiza de forma correcta.

En cuanto a uniones longitudinales pernadas, se debe garantizar no realizar perforaciones alineadas que puedan generar planos de falla.

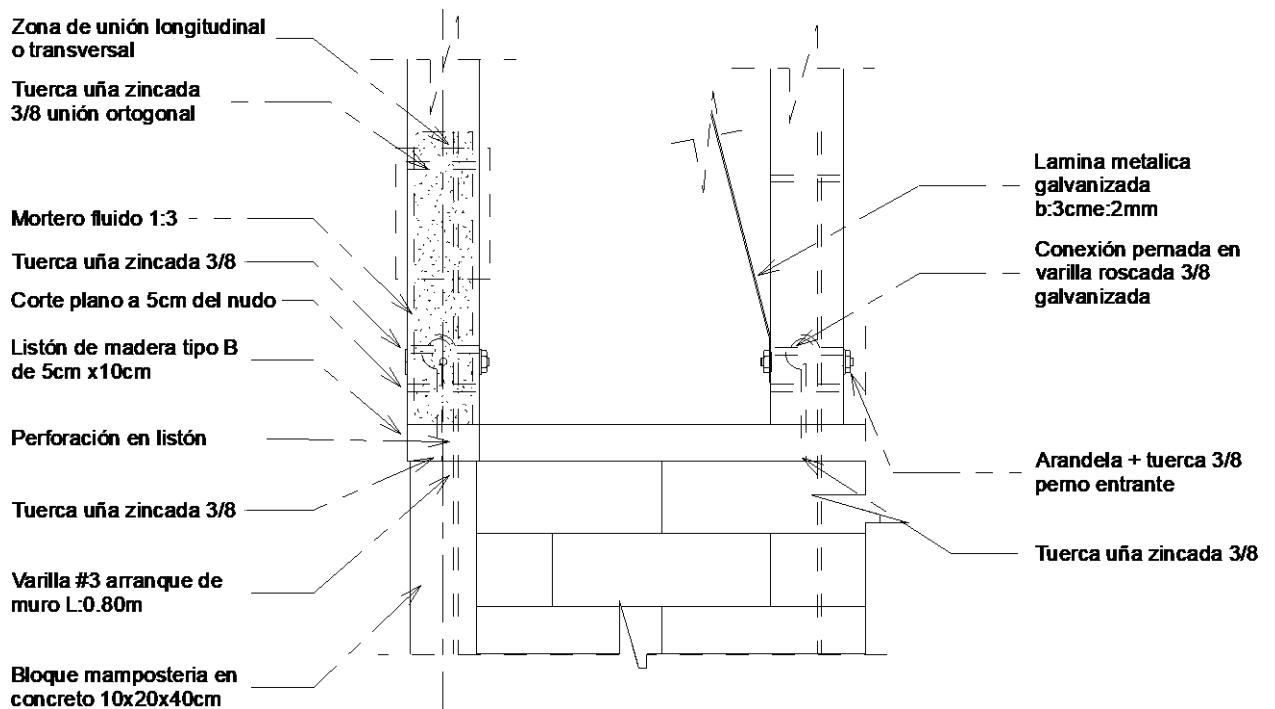
7.2 Proceso constructivo de vivienda modular

7.2.1 Sub-estructura

Cuando se realice el sobrecimiento se debe garantizar un trabajo conjunto entre los elementos que garantice la correcta transmisión de los esfuerzos a la cimentación, para lo cual se detalla el planteamiento constructivo en la Figura 9. Y se puede revisar a mayor profundidad en el book de planos en la zona de anexos.

Para el sistema conformado por vigas de cimentación se tiene unos valores mínimos en la geometría del elemento, con el fin que la estructura presente un adecuado comportamiento estructural, de acuerdo con la Tabla 6

*Figura 9
Detalle de unión de los módulos al sobrecimiento*

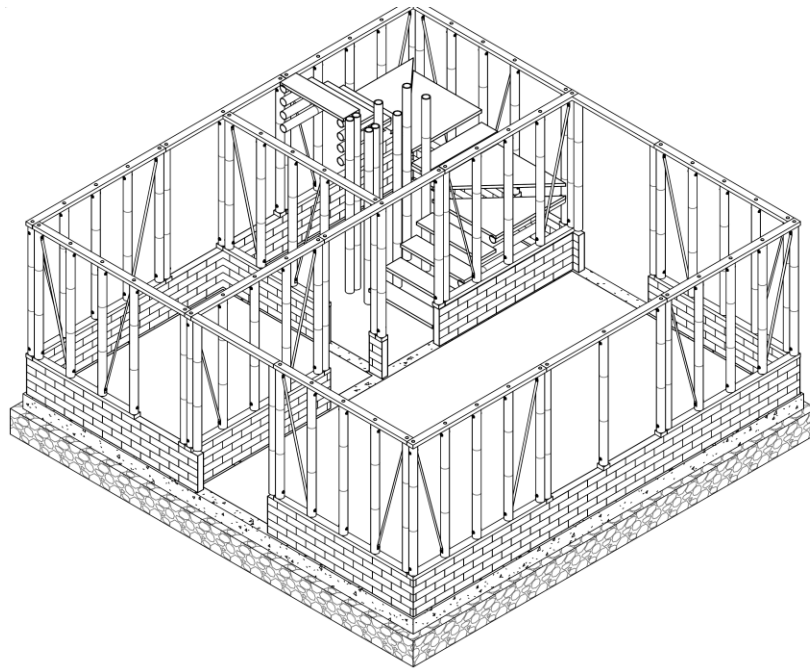


Nota: se debe garantizar que en terrenos pendientes, se realice un correcto escalonamiento del cimiento y sobrecimiento, garantizando en todo caso una altura mínima de 50cm entre la solera inferior y el nivel de terreno próximo. Elaboración propia

7.2.2 Paneles estructurales

El concepto de la vivienda de autoconstrucción está enfocado en la utilización de módulos conformados por pies derechos en guadua rolliza y pies derechos inferiores y superiores de madera aserrada, tal como se muestra en la Figura 10 esto con el fin de minimizar al máximo la utilización de uniones que puedan dificultar su realización, así como no requerir mano de obra especializada para la ejecución.

Figura 10
axonometría de módulo de primer piso

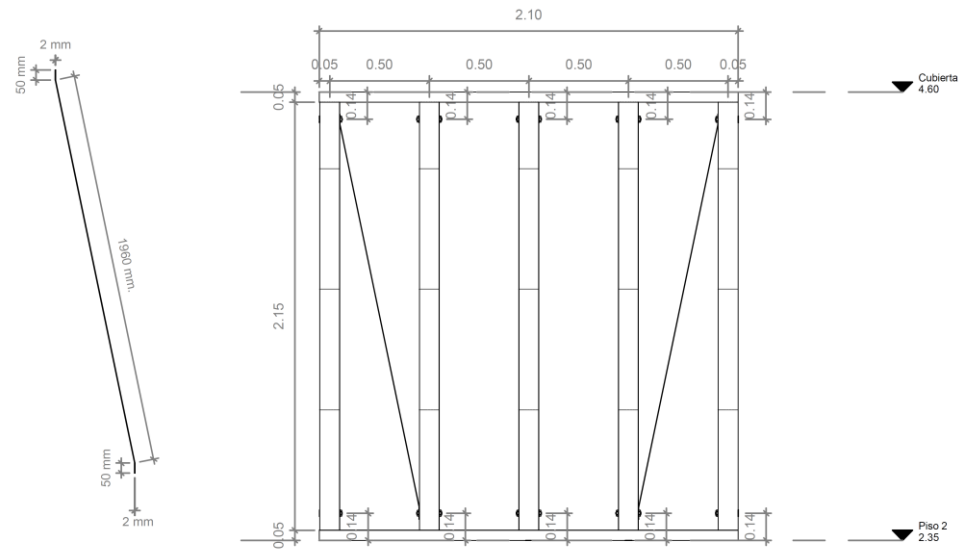


Nota: se evidencia la axonometría del módulo de primer piso compuesto por la cimentación corrida, un muro en bloque que conforma el sobrecimiento y los muros de carga que conforman la estructura. Elaboración propia

7.2.3 Panel A

El panel A conforma el sistema principal de resistencia de fuerzas sísmicas y gravitacionales, siendo el de mayor longitud y rigidez, este compuesto por 5 pies derechos en guadua rolliza y diagonales en sus extremos, como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11
Alzado de panel A

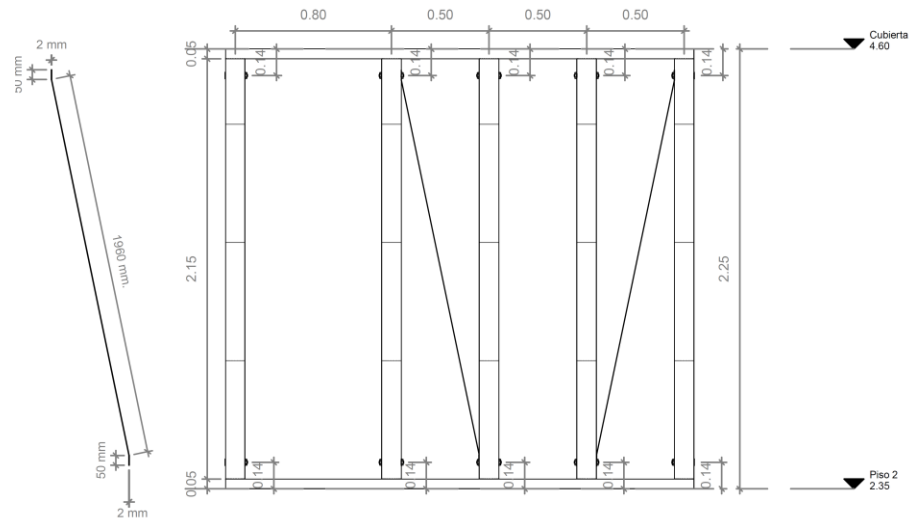


Nota: el presente modulo hace referencia a las dimensiones del segundo piso el cual es mas alto que el primer piso, pues no se cuenta con la altura del sobre cimiento, a mano izquierda se detalla la figuración del perfil metálico. Elaboración propia.

7.2.4 Panel B

El panel B presenta una rigidez un poco menor a la del panel A, puesto que en su lado izquierdo posee una abertura que permite comunicar espacios al interior de la vivienda, las diagonales que rigidizan el panel se encuentran en un extremo antes de la apertura y en el otro extremo libre, como se puede observar en la Figura 12.

Figura 12
Alzado de panel B

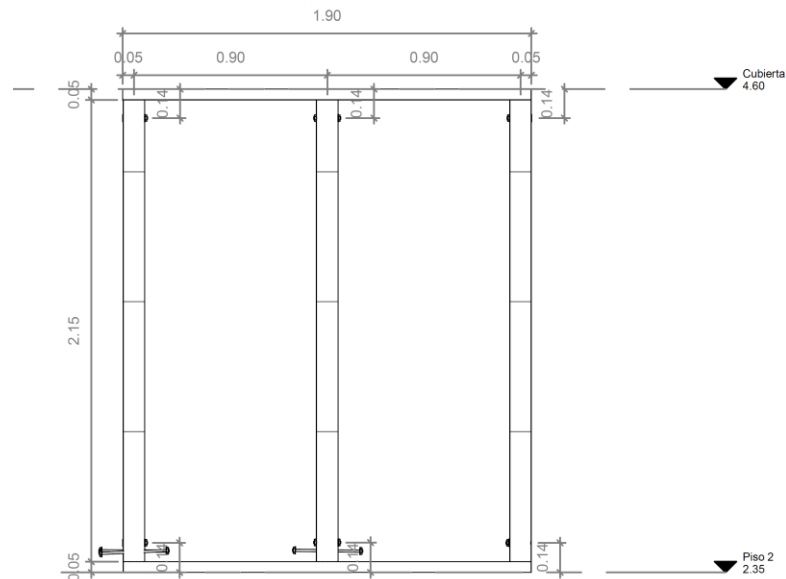


Nota: el presente modulo hace referencia a las dimensiones del segundo piso el cual es mas alto que el primer piso, pues no se cuenta con la altura del sobre cimientto, a mano izquierda se detalla la figuración del perfil metálico. Elaboración propia.

7.2.5 Panel C

El panel C presenta una rigidez mucho menor, puesto que su función principal es conectar futuros módulos de expansión, adicionalmente cumple la función de dar soporte al sistema de entrepiso, este panel no cuenta con diagonales que le aporten rigidez, como se puede observar en la Figura 13.

Figura 13
 Alzado de panel C

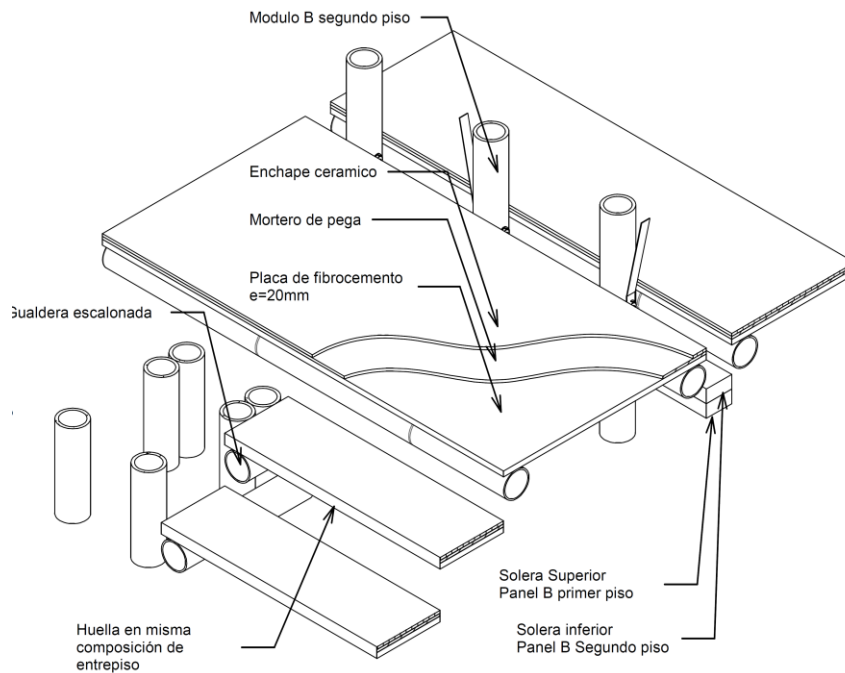


Nota: el presente modulo hace referencia a las dimensiones del segundo piso el cual es mas alto que el primer piso, pues no se cuenta con la altura del sobre cimiento. Elaboración propia.

7.2.6 *Sistemas de entrepiso*

El entrepiso está conformado por placas de fibrocemento, a la cual se adhiere una capa de geotextil por medio de engrudo blanco, sobre este se aplica una capa de mortero de pega que sirve para alistar el enchape cerámico, este entrepiso debe serlo más liviano posible, para evitar sobre esfuerzos y cortes en las uniones entre soleras de los muros de carga

Figura 14
Detalle constructivo del sistema de entrepiso

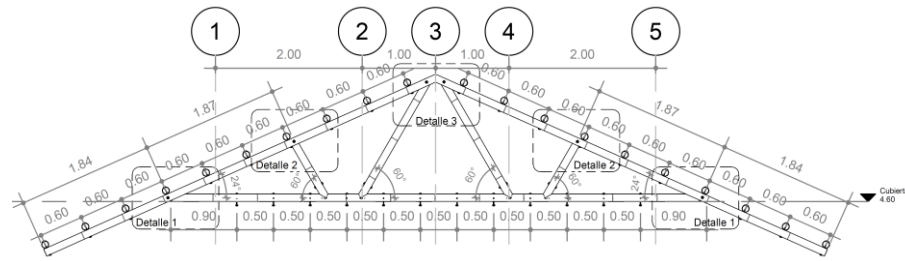


Nota: se presenta la opción del sistema de entrepiso con acabado cerámico, la opción de acabado vinílico se realiza directamente sobre la lámina de fibrocemento. Elaboración propia

7.2.7 Cubierta

Para la cubierta se realiza un módulo de cercha, mediante un cordón inferior en guadua sencilla y un cordón superior en composición doble que permite la utilización de conexiones a corte lo que facilita el ensamblado y hace que sea optimo el izado del módulo para su colocación en la parte superior de la solera del muro de carga

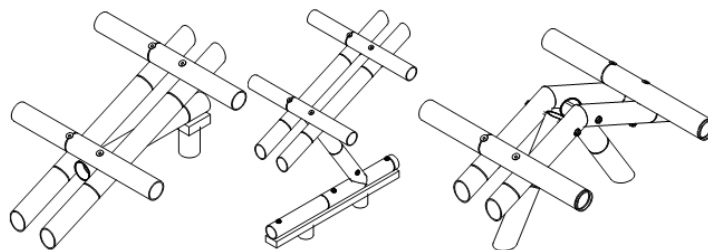
Figura 16
Alzado de módulo de cubierta



Nota: el módulo de cubierta está compuesto en su mayoría por uniones a corte, solo se usa uniones tipo pico de flauta en el apoyo de las diagonales al cordón inferior. Elaboración propia

Para la cubierta se realiza un módulo de cercha, mediante un cordón inferior en guadua sencilla y un cordón superior en composición doble que permite la utilización de conexiones a corte lo que facilita el ensamblado y hace que sea optimo el izado del módulo para su colocación en la parte superior de la solera del muro de carga

Figura 17
 Detalles axonométricos de la cubierta



Nota: el primer detalle es referente al remate se los extremos de la cubierta, el segundo indica el detalle de la unión diagonal entre el cordón inferior y superior y el ultimo indica el detalle del punto mas alto de la cubierta correspondiente a la cubierta. Elaboración propia

7.3 BIM en la guadua

El proceso de desarrollo de un proyecto bajo la metodología BIM es dinámico y este cuenta con dos grandes premisas, el modelado 3D y la información o metadata... Estas dos entidades funcionan de forma articulada y son transversales en las fases del ciclo de vida del proyecto, de esta forma se abordan los requerimientos mínimos en la sección 7.3.1 y en la sección 7.3.3

7.3.1 USOS BIM BÁSICOS

Son los usos mínimos requeridos para la implementación de un proceso BIM en una organización y deben ser acompañados por un plan de implementación BIM. Entre sus objetivos generales para la utilización de dichos flujos y procesos BIM están optimizar los resultados del proceso de planeación, mejorar el entendimiento de los documentos del proyecto. En la siguiente ilustración se presenta el proceso general de los usos BIM básicos.

*Tabla 7
 Usos BIM de acuerdo con las etapas del proyecto*

Etapas	Uso
Usos básicos	Autoría de Diseño
	Coordinación 3D
	Revisión de Diseño
	Estimación de costos
	Planeación de fases
Planeación	Análisis de Sitio
	Modelado de Condiciones Existentes
	Programa arquitectónico
Construcción	Planificación de utilización de Sitio
	Diseño de sistemas de Construcción
	Fabricación Digital
	Seguimiento y administración de campo
	Modelado Record
Operación	Gestión y seguimiento de espacios
	Planeación de Desastres
	Programación de Mantenimiento
	Gestión de Activos
Análisis	Códigos de verificación
	Análisis de otros sistemas de ingeniería
	Evaluación de sustentabilidad
	Validación de norma

Nota: La presente tabla cuenta con los usos BIM aplicables a un proyecto en Guadua de acuerdo a sus etapas dentro del ciclo de vida.
 Elaboración propia

7.3.2 Información gráfica en los modelos BIM

La información gráfica cumple una función de coordinación 3D así como una representación para el desarrollo de planos y detalles constructivos, esta información se encuentra ligada tanto al uso como a la fase de proyecto, como se puede observar en la sección 7.3.2.1

7.3.2.1 LOD & LOI por fases constructivas

Debido a que el entorno de un proyecto es dinámico y este cuenta con diferentes etapas, es necesario que las definiciones de parámetros como el nivel de desarrollo (LOD) y el nivel de información (LOI) sean definidos para cada categoría, puesto que existen instancias que requieren de más información gráfica y metadata, mientras que otras categorías como los ejes o niveles, no precisan de altos niveles de información.

Adicionalmente se tiene que a medida que un proyecto evoluciona con el desarrollo de las disciplinas, se hace necesario que la información que contienen también evolucione, por esta razón en la Tabla 8 se declara los niveles LOD y LOI que debe poseer cada categoría de acuerdo a la fase proyectual en la que se encuentre, donde en etapas tempranas del proyecto contamos con LOD básicos de 100, mientras que en etapas posteriores se alcanzan LOD de 300 y 500.

Tabla 8
LOD y LOI de acuerdo con las categorías y las fases constructivas

Fases en ciclo de vida del proyecto	Entidades BIM																		
	Ejes	Terreno	Elementos civiles	Elementos Geograficos	Cimientos	Sobrecimientos	Columnas	Vigas	Muros	Entrepisos	Ventanas	Puertas	Cubiertas	Cielo falso	Instalaciones hidrosanitarias	Escaleras	Estructuras especiales	Mobiliario	
Prefactibilidad	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Esquema Basico	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	200	200	100	100	100	100	200	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Anteproyecto	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	300	300	200	200	200	200	300	300	300	300	200	200	300	200	200	300	200	200	200
Proyecto	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	300	300	300	300	300	300	400	400	400	400	300	300	400	300	300	400	400	300	300
Uso y administración	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	300	300	300	300	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Nota: Se declara el valor de LOD y LOI de cada categoría respecto a su fase de construcción. Elaboración propia

En cuanto al LOI ocurre similar al LOD, a excepción que su evolución también se encuentra supeditada por los usos BIM, por esta razón a medida de una mayor cantidad de usos BIM la categoría LOI será mayor, estos valores pueden ser consultados en la

Categoría	Tipo	Descripción
A	Información general del proyecto	Información básica de identificación del proyecto como el tipo de edificio, nombre del proyecto, dirección o requerimientos especiales, entre otros
B	Propiedades físicas y geométricas	Información de las características y propiedades físicas de las entidades, tal como ancho, largo, alto, área, volumen, masa, etc.
C	Proceso constructivo	Notas aclaratorias en cuanto a acopio ensamble y puesta en obra de la entidad, referenciar las buenas prácticas / recomendaciones, prever recomendación para actividad posterior, mano de obra calificada.
D	Información estimación de costos	Información como código CBS en notas clave, códigos de ensamble, costo unitario

Nota: Para indagar las características, propiedades y categorías a las cuales aplica cada paramero se debe remitir a la sección de anexos. Elaboración propia

7.3.3 Metadata en modelos BIM

Entendiendo la Metadata como la información no grafica contenida en las entidades del modelo, es necesario definirla en función de los usos BIM que tenga el proyecto, de esta forma esta ira evolucionando de acuerdo con las fases proyectuales de la edificación, es así como esta metadata está dentro del término LOI, que va alfabéticamente desde la letra A hasta la E, en la Tabla 9, se declara el nombre de los parámetros que deben tener cada instancia de acuerdo a la categoría, así como el tipo de unidad del mismo.

Tabla 9
Parámetros declarados de acuerdo con la categoría LOI

LOI		PARAMETRO	TIPO
CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	INFORMACION GENERAL	Unidad
A	Información general del proyecto	Nombre del proyecto	Texto
		Código del Proyecto	Texto
		Ubicación	Texto
		Dirección	Texto
		Tipo de Edificación	Texto
		Latitud	Texto
		Longitud	Texto
		Sistema de Coordenadas	Texto
B	Propiedades físicas y geométricas	Cantidad	Texto
		Longitud	m
		Grosor	m
		Altura	m
		Área	m ²
		Perímetro	m
		Material	Texto
		Volumen	m ³
C	Proceso constructivo	Recomendación	URL o Cap
		Requerimientos	URL o Cap
		Restricciones	URL o Cap
		Fase de construcción	Phase

	Fase de demolición	Phase
D	Información estimación de costos	
	CBS (Nota clave)	Texto
	Código de ensamble	Código
	Costo unitario	Moneda
E	Operación y mantenimiento	
	Contacto Encargado	Número entero
	Exterior	Dato lógico
	Área mojada	m ²
	Mantenimiento	Texto
	Fecha puesta en obra	Texto
	Primer mantenimiento	Texto
	Periodicidad Mantenimiento (meses)	Número entero
	Costo Manteamiento	Moneda
	Tipos de Repuestos	Texto
Manual de Mantenimiento	URL	

Nota: Para indagar las características, propiedades y categorías a las cuales aplica cada paramero se debe remitir a la sección de anexos. Elaboración propia

7.3.4 Codificación Notas clave

La vinculación de la metadata propuesta como sistema de clasificación de elementos constructivos en el entorno BIM, se realiza mediante el parámetro nativo de Revit, denominado Nota clave, el cual permite la asignación de un código a los elementos, el cual guarda relación con la especificación técnica del elemento, lo que permite vincular los elementos del modelo con diferentes usos BIM de una forma sencilla.

En la Tabla 10 se evidencian los capítulos y subcapítulos propuestos para la codificación CBS, donde se puede detallar que se hace uso de la codificación Masterformat en cuanto a la utilización de categorías alfabéticas para su clasificación y agrupación, mientras que en la Tabla 11 se detalla la utilización conjunta de estándares como el Unifomat y el Uniclass

Tabla 10
Capítulos y subcapítulos de la estructura CBS.

A	SUB-ESTRUCTURA
A.1	Vigas de cimentación
A.2	Zapata rectangular concreto f'c=17,5MPa
A.3	Refuerzo longitudinal en acero
A.4	Refuerzo transversal en acero
A.5	Refuerzo losa contrapiso electrosoldada
A.6	Losas de contrapiso
B	SUPER-ESTRUCTURA
B.1	Pedestales
B.2	Guadua Angustifolia Kunth
B.3	Estructura de entrepiso
B.4	Uniones
B.5	Muros estructurales
B.6	Cubierta
C	INTERIORES
C.1	Muros
C.2	Acabados
C.3	Cielo raso
C.4	Puertas
C.5	Muros
D	SERVICIOS
D.1	Sistema sanitario
D.2	Sistema de ventilación
D.3	Sistema de agua fria
D.4	Sistema de agua caliente
D.5	Sistema de iluminación y energia
E	EQUIPAMIENTO Y MOBILIARIO
E.1	Muebles
E.2	Incrustaciones de baño
F	CONSTRUCCIÓN ESPECIAL Y DEMOLICIÓN
F.1	Picsinas
F.2	Demoliciones
G	CONSTRUCCIÓN SITIO
G.1	Limpieza de terreno
Z	GENERAL
Z.1	AIU

Nota: en la presente tabla se referencia los capítulos y subcapítulos desarrollados para la nomenclatura CBS, de requerir revisar la información de las instancias que pertenecen a cada uno, se debe dirigir a la sección de anexos.

En la Tabla 11 se desarrolló la mayor cantidad de codificaciones, puesto que es el capítulo que contiene mayor número de instancias correspondientes a la construcción en guadua, mientras que otras instancias que son transversales a todos los tipos de construcción, como tubería en PVC o elementos de

concreto o mampostería, no se abundan en la presente investigación puesto que existe suficiente documentación al respecto de estas instancias.

Tabla 11
Nomenclatura de notas clave del capítulo de super estructura

B SUPER-ESTRUCTURA	
B.1	Pedestales
B.1.1	Pedestal rectangular concreto f'c=17,5MPa
B.1.2	Pedestal circular concreto f'c=17,5MPa
B.2	Guadua Angustifolia Kunth
B.2.1	Esterilla Guadua Angustifolia Kunth e=0,01m
B.2.2	Esterilla Guadua Angustifolia Kunth e=0,02m
B.2.3	Guadua Angutifolia Kunth Ø=0.10m e=0.01m
B.2.4	Guadua Angutifolia Kunth Ø=0.10m e=0.02m
B.2.5	Guadua Angutifolia Kunth Ø=0.11m e=0.01m
B.2.6	Guadua Angutifolia Kunth Ø=0.11m e=0.02m
B.2.7	Guadua Angutifolia Kunth Ø=0.12m e=0.01m
B.2.8	Guadua Angutifolia Kunth Ø=0.12m e=0.02m
B.3	Estructura de entepiso
B.3.1	Torta de entepiso en concreto e=0.05m f'c 17MPa
B.3.2	Lamina de fibro cemento de 20mm
B.4	Uniones
B.4.1	Unión pernada incluye varilla roscada, 2 arandelas y 2 tuercas roscadas de 3/8"
B.4.2	Unión pernada incluye varilla roscada, 1 arandela, 1 tuercas roscadas y arandela tipo uña zincada de 3/8"
B.4.3	Unión pernada tipo gancho, incluye varilla roscada, 1 arandela y una tuerca roscada de 3/8"
B.4.4	Unión pernada tipo gancho, incluye varilla roscada, 1 tuerca tipo uña zinada de 3/8"
B.4.5	Mortero fluido proporción en volumen 1 cemento : 4 arena : 0.50 a 1.25 de cal hidratada f'c 7.5MPa
B.5	Muros estructurales
B.5.1	Muro en mampostería de perforación vertical **Revisar dimensiones**
B.5.2	Malla de alambre trenzado Ø=1,25mm, BWG 18, abertura heagonal de 25.4mm
B.6	Cubierta
B.6.1	Manto asphaltico
B.6.2	Teja termoacustica

Nota: en la presente tabla se referencia alguno de los elementos que conforman el capítulo B, correspondiente a la superestructura, para consultar las demás instancias correspondientes a los demás capítulos se debe consultar la sección de anexos. Elaboración propia

7.3.5 QA/QC en modelos BIM de guadua

Con la finalidad que los modelos BIM se puedan utilizar para cumplir con los usos BIM requeridos es necesario que estos tengan criterios de calidad que garanticen que la información tridimensional y no grafica.

Dado que en la metodología BIM la precisión y validez de la información que se exporte del modelo depende en gran medida de la calidad de los parámetros y la metadata con la que se alimente el modelo, por esta razón es necesario garantizar que la información que cuenta el modelo sea la adecuada para desarrollar los alcances BIM planteados en el plan de ejecución BIM.

7.3.5.1 Control de calidad del modelo BIM

Para que los procesos en los cuales se emplean modelos BIM funcionen, es necesario garantizar que modelos cumplan con unos estándares mínimos de calidad, los cuales van cambiando, dependiendo de la etapa de desarrollo en la cual se encuentren los modelos. Es importante que se cuente con manuales que estandaricen los procesos de modelación de todas las disciplinas a coordinar en un proyecto. A continuación, se muestra un esquema que recopila la información mínima que se debe verificar a modo de lista de chequeo de calidad, la cual permite validar que un modelo cumpla con los requerimientos establecidos para las diferentes etapas de desarrollo:

Tabla 12
Checklist de calidad de modelos BIM

ID	DESCRIPCIÓN	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
ESPECIFICACIONES DEL ARCHIVO					
1	El nombre del archivo coincide con lo establecido en el BEP				
2	El Archivo se encuentra liberado del Central y sin worksets (subproyectos).				
3	El punto de origen del Modelo es el definido para el Proyecto y/o la edificación en el BEP				
4	La ubicación espacial del punto base del proyecto y el punto de reconocimiento (Project Base Point / Survey Point) coinciden con lo establecido en el modelo de Arquitectura y sus valores corresponden a lo descrito en el BEP				
5	El modelo pesa menos de 200 MB (Megabytes)				
6	La versión del modelo corresponde a lo descrito en el BEP (.rvt 2019)				
FAMILIAS, TIPOS, CATEGORIAS Y ELEMENTOS					
7	Validar que se haya utilizado una nomenclatura de los elementos/objetos según el BEP				
8	Los elementos están modelados y parametrizados según fase y nivel de desarrollo del Plan de ejecución BIM				
9	Verificar la existencia de familias o elementos corruptos (El modelo ha sido auditado				
10	El modelo ha sido purgado antes del envío.				
11	Los elementos están modelados según proceso constructivo (i.e. Columnas piso a piso)				
12	Las familias, tipos y/o elementos no hacen referencia a ningún proveedor				
13	Los elementos cuentan con un material que corresponde a la especificación del producto real y permiten detallarlo para su correcta presupuestación				
14	Los elementos cuentan con Notas clave (keynotes de elemento y material) según el nivel de desarrollo establecido en el BEP.				
ORGANIZACIÓN DE VISTAS					
15	Validar que las vistas y planchas cuenten con la nomenclatura establecida en el BEP				
16	Todas las vistas se encuentran organizadas según su correspondiente parametro de organización				
17	El proyecto tiene como vista inicial la portada del proyecto				
18	Verificar que los rotulos del proyectos son los requeridos por el cliente				
VINCULOS (LINKS)					
19	Referencias CAD deben purgarse antes de cargar al proyecto				
20	Los Revit links deben estar pineados				
21	Los Revit-links deben contener las mismas coordenadas del archivo de referencia				
22	Verificar que todos los links se encuentran cargados				
COORDINACIÓN BIM					
23	El modelo no cuenta con Warnings ("Avisos") que afecten cantidades o coordinación				
24	El modelo no cuenta con interferencias y se ha ejecutado el test de colisiones contra la misma disciplina, se adjunta reporte de colisiones				
25	Verificar que los ejes se encuentren coordinados con lo definido por arquitectura				
26	Verificar que los niveles se encuentren coordinados con lo definido por arquitectura				
27	El modelo no esta desplazado del punto de origen, y el punto de origen del Modelo es el definido para el BEP.				

Nota: La presenta lista de chequeo tiene como fin garantizar la calidad mínima de los modelos BIM para la realización de proyectos en Guadua. Elaboración propia.

8. Conclusiones y Recomendaciones

- La mayoría de las patologías analizadas en los casos de estudio pueden evitarse con acciones concretas en la etapa de diseño esquemático (protección por diseño), evitando así sobrecostos en mantenimiento.

- Se debe propender el uso BIM en los proyectos en guadua puesto que permite prever situaciones de procesos constructivos que puedan afectar al proyecto en la etapa de obra y en su puesta en servicio, en cuanto el modelo 3D, permite resolver detalles constructivos que aumentan el riesgo de la aparición de patologías mecánicas como fisuras y grietas.
- Teniendo en cuenta la particularidad de la guadua en el contexto BIM fue imprescindible el desarrollo de un sistema de nomenclatura de elementos constructivos, basado en unos ya existentes como el Uniformat y el Masterformat, que sirviera como elemento vinculante entre las dimensiones BIM y lograr la estandarización del uso de la guadua en proyectos BIM. En caso de futuras investigaciones se recomienda seguir los lineamientos y la lógica aquí establecidas, para la creación de codificaciones de instancias adicionales
- Para facilitar el flujo de trabajo BIM se definieron generaron elementos parametrizables que permiten la actualización para un proyecto en específico y así lograr una mayor precisión y ahorro en tiempos de ejecución de las actividades de estimación de costos, simulación de obra y generación de informes de operación y mantenimiento.
- Con base en este proyecto se puede formular otras líneas de investigación dirigidas a: la aplicación del BEP formulado a proyectos en guadua nuevos o existentes, documentación de patologías bajo un modelo BIM, divulgación de la investigación en el gremio constructor colombiano mediante entidades como Camacol.

9. Anexos

Anexo 1: Juego de planos de la vivienda de autoconstrucción

Anexo 2: Plan de ejecución BIM para proyectos en Guadua

Anexo 3: Tablas del plan de ejecución BIM

Anexo 4: Diagrama BPMN del flujo de trabajo BIM en un proyecto en guadua

10. Lista de Referencia o Bibliografía

BIM Forum Colombia. (2020). Guía de modelado BIM. En *Bim Kit 2, Guías Para La Adopción Bim En Las Organizaciones*.

Gabriel Conejera Cea. (2019). Sistemas de Clasificación BIM. *Build BIM*, 04(2018).

Grosser, D., & Liese, W. (1971). On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles. En *Wood Science and Technology* (Vol. 5, Número 4, pp. 290–312).
<https://doi.org/10.1007/BF00365061>

LOD simply explained: the lod kiwi. (2019). Constructible.
<https://constructible.trimble.com/construction-industry/lod-simply-explained-the-lod-kiwi>

Londoño, X., Camayo, G. C., Riaño, N., & López, Y. (2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. *Bamboo Science and Culture*, 16(1), 18–31.
http://www.bamboo.org/publications/e107_files/downloads/ABSJournal-vol16.pdf#page=3

