

Modelado de elementos estructurales y no estructurales con base en la situación tecnológica y productiva foresto-industrial en Colombia.

Guzmán, J. F.¹, Gómez, E.², Toledo, N. V.³, Castellanos, E. R.⁴ y López, J. C.⁵

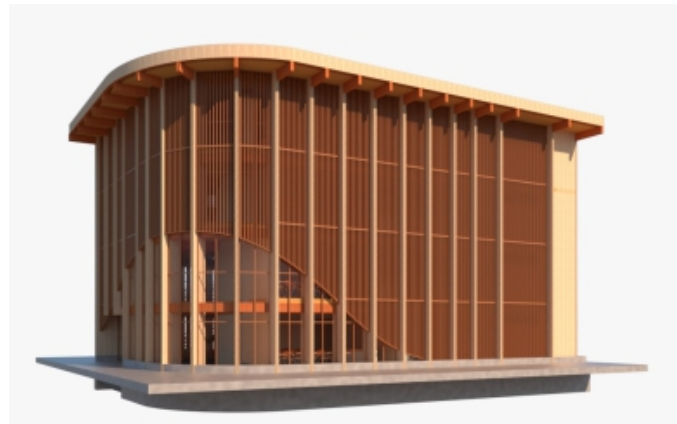
¹ Guzmán, J. F. Ingeniero Forestal, Instructor SENNOVA, jfguzmanz@sena.edu.co

² Gómez, E. Arquitecta, Investigador Experto, egomez9526@misena.edu.co

³ Toledo, N. V., Tecnólogo en Desarrollo Gráfico de Proyectos de Arquitectura, Aprendiz SENA, nvelascotoledo@gmail.com

⁴ Castellanos, E. R., Técnico en Dibujo Arquitectónico, Aprendiz SENA, ricardo87castellanos@gmail.com

⁵ López, J. C. Técnico en Carpintería, Aprendiz SENA, jclopez477@misena.edu.co



Resumen

El presente artículo tiene como objetivo llevar a cabo el diagnóstico de las capacidades y situación tecnológica del sector forestal-industrial colombiano y su aplicación en el modelado de elementos estructurales para la construcción con madera. Para lo cual el proyecto elaboró una encuesta de diagnóstico tecnológico que se aplicó a 30 empresas madereras en Colombia, la especie se definieron a través de una matriz de priorización con 20 variables, el sistema de construcción se definió con base en los resultados del diagnóstico tecnológico y el modelado se desarrolló empleando la metodología Building Information Modeling (BIM). Como resultados el proyecto estableció un diagnóstico de la situación tecnológica actual de la industria forestal como línea base, definió los sistemas de construcción GLULAM y CLT para el proyecto, priorizó 3 especies *Tectona grandis*, *Pinus patula* y *Pinus caribaea* para la construcción de las familias y modeló un edificio prototipo de uso educativo institucional, validando que Colombia posee el potencial tecnológico a corto plazo para la incursión en la construcción con madera a través de sistemas modulares prefabricados.

Palabras clave: BIM, CLT, Colombia, diagnóstico tecnológico, industria forestal, GLULAM.

Abstract

This article is designed to carry out the diagnosis of the capacities and technological situation of the Colombian forestry-industrial sector and its application in the model of structural elements for construction with wood. Thus, the project developed a technological diagnostic survey that was applied to 30 logging companies in Colombia. The species were defined through a prioritization matrix with 20 variables; the construction system was defined based on the results of the Technological diagnosis and the modeling was developed by using the Building Information Modeling (BIM) methodology. As a result, the project established a diagnosis of the current technological situation of the forestry industry as a baseline, defined the GLULAM and CLT construction systems for the project, prioritized 3 species *Tectona grandis*, *Pinus patula* and *Pinus caribaea* for the construction of the families, and modeled a prototype building for institutional educational use; ensuring that Colombia has a short-term technological potential to enter the wood construction through prefabricated modular systems.

Keywords: BIM, CLT, Colombia, forestry industry, GLULAM, technological diagnosis.

Introducción

La construcción con madera se ha convertido en un tema de gran relevancia a nivel mundial; este material por muchos años se vio relegado dentro de la industria constructiva por la aparición y popularización de materiales como el concreto, el acero y el ladrillo, los cuales dominan el mercado actual. Con el cambio climático, se buscaron otras alternativas para disminuir el impacto ambiental, lo que dio paso a sistemas prefabricados con madera como el Cross Laminated Timber (CLT) y Glued Laminated Timber (GLULAM), que permitieron que la madera volviera a tener un papel estructural en las edificaciones.

Los beneficios generados por la construcción con madera van desde el ámbito ambiental hasta el económico, de acuerdo con Viotto (2013) al generarse un beneficio económico por la madera, se produce un interés por el sector forestal, las plantaciones y los productos que de este se derivan; marcando la tendencia de que los únicos bosques que crecen son los artificiales. Algunos países europeos, Australia, Estados Unidos, Canadá, entre otros, implementan políticas donde se dictan parámetros y se estimula la construcción con madera; estas iniciativas han logrado que en la actualidad se puedan encontrar varios edificios en madera, el más alto registrado hasta el momento es la Torre Mjøsa, ubicada en Noruega con 18 pisos y 85.4 metros de altura. (Block, 2019).

En Latinoamérica, Chile encabeza las construcciones con madera, teniendo la torre Peñuelas como referente, la cual cuenta con 6 pisos y una altura de 20 metros (Eligemadera, s.f.). Este país cuenta con reglamentación, incentivos normativos, varios centros de investigación y universidades que se enfocan en promover el

desarrollo del sector forestal; todas sus acciones no solo tienen un alcance interno, también contribuyen a que otros países del continente se capaciten y adopten estrategias sostenibles para el sector de la construcción.

En Colombia, la tecnología está encaminada como lo hace notar Minambiente y ONF Andina (2015) a la producción de madera aserrada, pulpa de madera, madera rolliza y tableros. En la actualidad se encuentran algunas empresas que ofrecen entre sus productos el GLULAM como lo son Refocosta y taller de ensamble, esta última además de la producción de vigas laminadas, construye viviendas unifamiliares con madera de una y dos plantas; esta limitación es reflejo del escaso desarrollo tecnológico que ha tenido el sector forestal, con respecto a otros países.

La ilegalidad y el mal aprovechamiento del territorio han sido factores relevantes para el estancamiento de la industria maderera en el país; según Ospina (2020), Colombia tiene un alto potencial forestal, contando con 7.3 millones de hectáreas disponibles para fomentar las plantaciones forestales y de esta manera incrementar el aporte que hace el sector maderero al PIB nacional; así mismo, resalta que actualmente el 84% de la madera proviene de bosques nativos, solamente el 12.4% es de plantaciones y el 3.5% se importa. Estas cifras marcan un deterioro de los bosques por la deforestación, como se mencionó anteriormente un mal aprovechamiento de la tierra y como consecuencia la necesidad de adquirir madera de países como Canadá y Chile.

El servicio nacional de aprendizaje (SENA) desde el centro de tecnología para la construcción y la madera (CTCM), desde el 2018 está trabajando en un proyecto que busca identificar las brechas

tecnológicas que tiene el país e identificar parámetros para fomentar la construcción con madera, a este proyecto se le denominó Smart Prefab, el cual se ha desarrollado en 3 fases:

El objetivo de la primera fase fue principalmente identificar las especies existentes en el comercio de Bogotá y Soacha, dimensiones, precios, así como la construcción de un nuevo modelo pedagógico para la identificación de maderas comerciales. Esta fase se desarrolló en el 2018 y su resultado fue un artículo publicado IUFRO 2019 y un libro de identificación de especies comerciales para formación.

La segunda fase se desarrolló en 2019 y tenía como objetivo identificar las fortalezas y debilidades de la normativa internacional frente a la colombiana; para esto se realizó un análisis comparativo de la normativa para la construcción con madera del país, frente a 6 códigos internacionales. Como resultado se obtuvo un artículo presentado en la revista Arquitectura de la universidad católica.

La última fase es en la que se encuentra el proyecto actualmente, el cual tiene como objetivo caracterizar la tecnología dura para la transformación industrial de la madera en las empresas de Colombia; todo esto mediante un diagnóstico actualizado del estado de la industria, para poder definir que sistemas constructivos se adaptan mejor al desarrollo tecnológico del país y de esta manera establecer parámetros de diseño modular con madera.

Metodología

Ubicación del proyecto

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en

las instalaciones del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), sede Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (CTCM), en la Ciudad de Bogotá (Colombia).

Conformación del comité externo

Para la conformación del comité externo, se envió por correo electrónico y por WhatsApp una invitación a las empresas madereras y entidades educativas enfocadas en investigación, a ser parte del proyecto; este comité como su nombre lo indica tiene como objetivo que sus integrantes sirvan como agentes externos para validar que el proceso y los resultados de la investigación sean congruentes con el panorama de la industria forestal nacional.

Diagnóstico

Para poder realizar un diagnóstico del estado actual de la industria se realizó una base de datos con las empresas madereras a nivel nacional, las cuales fueron contactadas vía telefónica o por correo electrónico solicitando su participación en una encuesta, creada con el fin de evaluar el estado tecnológico de la industria maderera en el país; la encuesta fue creada por Google forms y su diligenciamiento se realizó de forma virtual, teniendo como meta alcanzar 50 empresas encuestadas.

Estado actual de la industria foresto-industrial

Para el análisis del estado actual de la industria foresto – industrial del país, se enfocó la encuesta en recopilar información general de las empresas, la capacidad instalada y utilizada, la tecnología actual de las plantas, los procesos de transformación y tratamiento de la madera; de la siguiente manera:

Información general: Dentro de la información general de la empresa se recopilaron datos

referentes al tamaño de la empresa, los años de funcionamientos, la ubicación y los estudios que poseen los operarios de planta.

Tecnología actual: Los datos sobre la tecnología van encaminados hacia el número de máquinas que poseen para la transformación de la madera, número de empleados, tiempo transcurrido desde la última compra de maquinaria para evaluar que tan actualizados se encuentran con respecto a otros países, tamaño en metros cuadrados de la planta, la periodicidad de los mantenimientos y el tipo de maquinaria de última tecnología que poseen.

Procesos de transformación y tratamiento de la madera: Para conocer sobre los procesos de transformación de la madera fue importante conocer acerca de cuanta madera procesan diario las empresas, que especies compran, como son los procesos de selección de la madera, que productos son los que más comercializan, cuanta madera compran al mes y en qué condiciones y los procesos con los que inmunizan y secan la madera.

Priorización de las especies

Para la priorización de las especies se adaptó la metodología empleada por (CONIF, 1998. pg. 27), en la priorización de especies con potencial comercial en Colombia. En este sentido se incluyeron las variables requeridas desde el componente arquitectónico y estructural a considerar.

Selección de especies

Para la determinación de las especies forestales más adecuadas en la construcción modular con madera en Colombia se procedió de la siguiente manera:

Priorización por empresas: Se contactó vía correo, teléfono y WhatsApp a 165 empresas de

construcción con madera, depósitos, aserraderos y reforestadoras en toda Colombia con el objetivo de obtener una priorización inicial de especies forestales para la construcción con madera en Colombia. Para este proceso se definieron 4 preguntas:

1. Nombre Común
2. Nombre Científico
3. ¿Para qué elementos de la construcción la emplearía?
4. ¿Describa las razones de por qué la seleccionó?

Validación interna de la priorización: Una vez priorizadas las especies por las empresas se validó la disponibilidad (Área plantada en hectáreas con registro ICA), con la información disponible en el Boletín Estadístico Forestal 2019 publicado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura).

Priorización de otras especies: Para el proceso de priorización de otras especies se consi-deraron las especies que contarán con mínimo 20 registros de plantaciones ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en el país, información suministrada por el ICA a corte del 31 de diciembre de 2017. De igual manera, se consideraron las especies con mayor volumen de madera movilizadas de acuerdo con el libro publicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE) “Caracterización de las 30 especies forestales: maderables más Movilizadas en Colombia provenientes del bosque natural” que fue publicado en 2020.

Construcción de la matriz de priorización

Se construyó una matriz de doble entrada con información de las 17 especies forestales (nativas e introducidas) que corresponden a las priorizadas por las 30 empresas de nivel nacional, las de mayor

número de registros ICA y mayor volumen movilizado de acuerdo con el Salvocon-ducto Único Nacional en Línea (SUNL).

La matriz se construyó con base en tres categorías (Ver)de criterios (Económico, Técnico y Ambiental). Estos criterios se cuantificaron mediante una escala de puntajes de 1 a 5, los cuales se analizaron para cada una de las especies promisorias; las especie seleccionadas como de alto potencial e importancia nacional para el proyecto de construcción modular con madera serán las que registren el mayor puntaje. Los criterios adoptados y la escala de calificación general se presentan a continuación:

Figura 1
Categorías de la matriz de priorización



Económico: Conformado por las variables que permiten determinar si comercialmente la especie posee potencial de industrialización y sostenibilidad de producción en el tiempo, que permitirá satisfacer la demanda del sector

construcción a mediano y largo plazo.

1. No ha plantadas (Disponibilidad)
2. Demanda
3. Turno
4. Precio pieza en pesos colombianos (COP)
5. Paquete tecnológico
6. Desarrollo industrial

Técnico: Conformado por las variables que desde el concepto técnico estructural y arquitectónico determinan si la especie posee potencial para la construcción con madera en sus componentes estructurales y no estructurales.

- A.** propiedades físicas mecánicas en condición de la madera seca al 12%
 7. Densidad básica (g/cm³)
 8. Contracción radial total (%)
 9. Contracción tangencial total (%)
- B.** Propiedades mecánicas en condición de la madera seca al 12%
 10. Flexión
 11. Tracción
 12. Compresión paralela
 13. Compresión perpendicular
 14. Dureza (Kg)
 15. Cizalladura Kg/cm²)
 16. Tenacidad (Kg –m)
 17. Extracción de clavos (Kg)
- C.** Usos
 18. usos

Ambiental: Conformado por las variables que desde un criterio de sostenibilidad permiten reducir las tasas de deforestación y tala ilegal de madera, contemplado en la política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques (documento CONPES 4021).

19. Veda

20. Estado de peligro

Para determinar los valores de rango en cada puntuación (De 1 a 5) se utilizaron los datos de Mínimo, Máximo de la información recolectada de fuentes secundarias. A estos valores se le calculó el Rango (Ver ecuación 1).

Rango = Máximo -Mínimo (Ecuación 1)

Este valor hallado del rango se dividió en los 5 intervalos. De esta manera se asignaron los valores para los intervalos de cada puntuación (Del 1 al 5).

De igual manera, para cada elemento estructural y no estructural se construyó una tabla con pesos porcentuales para cada una de las variables, adicionando de esta manera el uso para el cual se requiere al proceso de selección.

Definición del sistema de construcción

El análisis del diagnóstico determina el estado actual de la industria maderera en Colombia, esto establece que capacidad tecnológica tienen las empresas para la fabricación de elementos estructurales y de esta manera definir cuál sería el sistema constructivo más adecuado para el país.

Modelado del edificio prototipo: Para poder establecer parámetros constructivos y de diseño con madera, se planteó el modelado de un edificio de vivienda de cuatro pisos, el cual servirá como guía para el uso de los sistemas constructivos; usando la metodología implementada por Marulanda (2018) la cual establece que la arquitectura debe satisfacer una necesidad dentro de un espacio habitable, razón por la cual se debe tener en cuenta la creatividad, la funcionalidad, el entorno físico, el sistema constructivo y su viabilidad; se planteó el modelado tomando como base un lote real con el fin de que sea construible

posteriormente y se desarrolló de la siguiente manera:

Investigación documental: Se realizó una investigación documental de los sistemas empleados a nivel mundial el CLT y GLULAM, tomando manuales de empresas fabricantes e investigaciones realizadas por universidades para determinar la adecuada implementación de estos; de igual manera, se revisaron referentes de edificios construidos con madera de más de 4 pisos de altura que se tomaron como base para el diseño.

Análisis del objeto: Para iniciar el proceso de diseño se empezó con el análisis del uso del edificio, definiendo la necesidad que iba a satisfacer y las características que debía incluir para su adecuado funcionamiento. En este proceso se realizó una lista de los espacios indispensables para el uso planteado.

Análisis del usuario: Para fijar las dimensiones del edificio y de cada uno de los espacios, se tuvieron en cuenta las dimensiones antropométricas que establecen Neufert (2013) y Panero y Selkin (1996) para hacer espacios habitables y ergonómicos.

Análisis del entorno: El entorno se divide entre el medio natural y el artificial, los cuales hacen referencia a las condiciones naturales del entorno y las creadas por el hombre; para este análisis se realizó una observación directa en el lugar de implantación y se recolectaron datos relacionados con la orientación del lote, el clima, las visuales, la dinámica social del lugar, los edificios aledaños y los ingresos.

Matriz de relaciones y diagrama de flujo: Para poder establecer la distribución de los espacios dentro del edificio se precisó la relación entre ellos,

por medio de una matriz de relaciones la cual indica en un rango de 1 a 3 si la relación de un espacio con otro es directa o indirecta; siendo 1. Directa; 2. Indirecta; 3. Nula; con los datos arrojados por la matriz se desarrolló un diagrama de flujo que permite ver la información recolectada de una manera gráfica.

Elaboración del programa arquitectónico: El programa arquitectónico es la recolección de información previa, definiendo los espacios y sus dimensiones; se estructuró un cuadro en Excel, el cual indica por nivel que espacios tiene el edificio, sus respectivas áreas, incluyendo las circulaciones y estableciendo el área total del edificio.

Composición volumétrica y zonificación: Tomando parámetros de diseño se estableció una volumetría en la cual se visualizan los parámetros establecidos según el entorno, el usuario y el objeto; para esto se concibieron esquemas enmarcados en la memoria del proceso de diseño; por otro lado, para la zonificación se desarrollaron esquemas en planta estableciendo la distribución interior de los espacios.

Modulación estructural: El planteamiento de la modulación estructural se determinó según la distribución de los espacios y los aspectos recolectados en la investigación documental; se realizó una distribución en planta de todos los elementos estructurales indicando distancias entre apoyos.

Desarrollo de anteproyecto: El desarrollo del anteproyecto se desarrolla bajo la metodología BIM, la cual según Esarte (2020) busca centralizar toda la información de un proyecto en las 7 dimensiones BIM que van desde el inicio de la idea hasta la demolición del proyecto, logrando una coordinación entre todas las especialidades involucradas. Para el proyecto Smart prefab se

desarrolló la metodología BIM hasta la tercera dimensión que hace referencia a la coordinación de especialidades; creando las familias de elementos estructurales y no estructurales.

Resultados

Diagnóstico

Para el diagnóstico inicialmente se tenía planteado encuestar 50 empresas, pero por sugerencia del comité externo la muestra se redujo a 30 empresas. Se envió el enlace de la encuesta por correo electrónico y por WhatsApp a distintas empresas madereras a nivel nacional; previamente fue necesario hacer una revisión de empresas a través del buscador de Google y redes sociales como Facebook para crear una base de datos como línea base.

Como primer punto se recolectaron datos generales de las empresas, identificando que el 58% de estas se encuentran localizadas en el departamento de Antioquia, un 14% en Risaralda; con un 10% cada una Bogotá, Caldas y Santander y finalmente con un 5% en Cesar, Cundinamarca y Vichada; encontrando la tendencia que el 58% de estas se encuentran fuera del casco urbano. Estas empresas se caracterizan por ser en su mayoría micro o pequeñas empresas, contando solo con el 19% clasificadas como mediana empresa con más de \$7.442.958.460 y menos de \$63.051.202.020 ingresos anuales.

Con respecto a la capacidad instalada y utilizada, se evidencia que las plantas en su mayoría registran áreas menores a 5000 metros cuadrados, solo dos casos presentan áreas superiores a 6700 y 30000 metros cuadrados; contando en su mayoría con un máximo de 35 empleados por planta, dato que equivale al 71%. De igual manera, se recopila información referente a la maquinaria, hallando que el 38% de las empresas

tienen alrededor de 5 a 9 máquinas para transformar la madera por planta, mientras que un 24% cuenta con aproximadamente 16 o 20 máquinas; siendo las que provienen de casa comercial (de marca) las preferidas por el 67%.

La tecnología de las plantas va dirigida hacia el tipo de maquinaria que poseen y los productos que fabrican, señalando que las empresas encuestadas se enfocan en gran parte a la madera aserrada (66,7%), pisos de madera y machimbre (38,1% cada una), mobiliario, productos de carpintería, paneles y tableros (23,8% equitativamente); además reportan contar con maquinaria de alta tecnología como las máquinas de control numérico (CNC), con un porcentaje del 19%, donde se incluye las seccionadoras, los centros de mecanizado y las canteadoras, todas en CNC; las prensas hidráulicas para la elaboración de tableros en un 14,3%, la molduradora o machimbre con un 55% y la seccionadora de tableros con el 15%; otras máquinas mencionadas en la encuesta fueron la sierra múltiple, la perfiladora, la cámara de secado Mulhbock, la rectificadora 4 caras, la acolilladora y la cámara de calentamiento para cumplir con la nimf-15.

Así mismo, se obtuvo información de los procesos de transformación y tratamiento de la madera, los cuales inician con la compra del material, indicando que el 60% compra madera aserrada, teniendo un promedio de compra de 1250 piezas o trozas de madera al mes; el 80% de las empresas realizan proceso de selección de la madera, reflejando que los defectos más comunes son los nudos (64%), las rajaduras (56%), las deformaciones (28%) y los daños generados por hongos e insectos (24 y 12% respectivamente). Con respecto al tratamiento que recibe la madera, el 60% realiza proceso de secado, principalmente en

horno (66,7%); y el 68% de los encuestados inmuniza la madera, siendo en el 52,9% de los casos por absorción y en un 23,5% por inmersión.

Priorización de las especies

De las 165 empresas a las que se envió el modelo de carta de priorización con las 4 preguntas, respondieron 30 empresas, con las cuales se priorizaron las siguientes especies:

1. Pino caribea (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*)
2. Pino pátula (*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.)
3. Teca (*Tectona grandis* L.f.)

Los registros de plantaciones del ICA y datos del MINAMBIENTE de las especies con mayor volumen de madera movilizada arrojaron 14 especies que se priorizaron, teniendo un total de 17 especies incluyendo las priorizadas por las empresas. La matriz de priorización se evaluó con estas 17 especies, arrojando como resultado que las más aptas para la construcción con madera según características económicas, técnicas y ambientales son el Pino Patula, Pino Caribea, Teca (*Tectona grandis*) y *Eucalyptus Globulus*, coincidiendo con la priorización obtenida por las empresas; el *Eucalyptus Globulus* a pesar de ser el que mejores resultados obtuvo en las variables técnicas, se descartó debido a que de las 4 especies era la que menor disponibilidad tenía.

El cuadro de pesos para la definición de los elementos estructurales y no estructurales, ayudó a determinar el uso que iba a tener dentro del proyecto cada una de las 3 especies priorizadas; en la tabla 1 se pueden ver los aspectos a tener en cuenta por cada elemento constructivo, los cuales corresponden a los de mayor peso en cada una de las variables.

Tabla 1
Uso proyectado dentro del edificio para las especies priorizadas.

Item	Elemento	Descripción	Especie	Anotación
1	Piso	Especie económica, abundante en área plantada y con alto valor de flexión, demanda, densidad baja	•• Pino pátula (Pinus patula)	
2	Muro estructural	Especie económica, abundante en área plantada y con alto valor de compresión, demanda	•• Pino caribea (Pinus caribea var hondurensis)	
3	Fachada	Liviana, económica, para exteriores	•• Pino pátula (Pinus patula)	
3	Cielo raso	Especie baja densidad, económica	•• Pino pátula (Pinus patula)	
4	Cubierta	Liviana, económica, para exteriores	•• Pino pátula (Pinus patula)	
5	Vigas	Flexión alta, no requiere ser económica	•• Teca (Tectona grandis)	• Eucalyptus globulus Se descarta por área plantada... pero era superior
6	Columnas	Compresión alta, no requiere ser económica	•• Pino caribea (Pinus caribea var hondurensis)	

Definición del sistema de construcción

Con base en los resultados del diagnóstico se definieron dos sistemas constructivos el CLT (Cross Laminated Timber) y el GLULAM (Glued Laminated Timber); El primero debido a que la encuesta evidencio que entre el 14 y el 19% de las empresas cuentan con maquinaria de alta tecnología que permite la fabricación de tableros y el segundo porque actualmente empresas como Refocosta, Central maderero y taller de ensamble ofrecen dentro de su catálogo de productos vigas laminadas, demostrando que el GLULAM no es un sistema constructivo nuevo en el país.

Definición del modelado

El centro de tecnología para la construcción y

la madera (CTCM) presenta actualmente un déficit de aulas de formación y debido a la pandemia del Covid 19, tiene el reto de adaptarse a las nuevas condiciones generadas por la virtualidad; estas necesidades llevaron a replantear el uso del proyecto el cual en su formulación era de vivienda multifamiliar y se modificó por institucional. El nuevo uso determinó el usuario y los espacios, el primero se enmarco en varios grupos, los aprendices, los instructores y los profesionales de SENNOVA, mientras que el segundo determinó que espacios se requieren para satisfacer estas necesidades.

Por medio de la investigación documental se recopiló la información de los sistemas

constructivos, determinando las uniones, la forma de emplearlos dentro del proyecto y adaptando sus especificaciones a los herrajes que se encuentran en el mercado colombiano; esta información se empleó primero para construir un manual de construcción con madera y segundo para determinar las pautas del modelado.

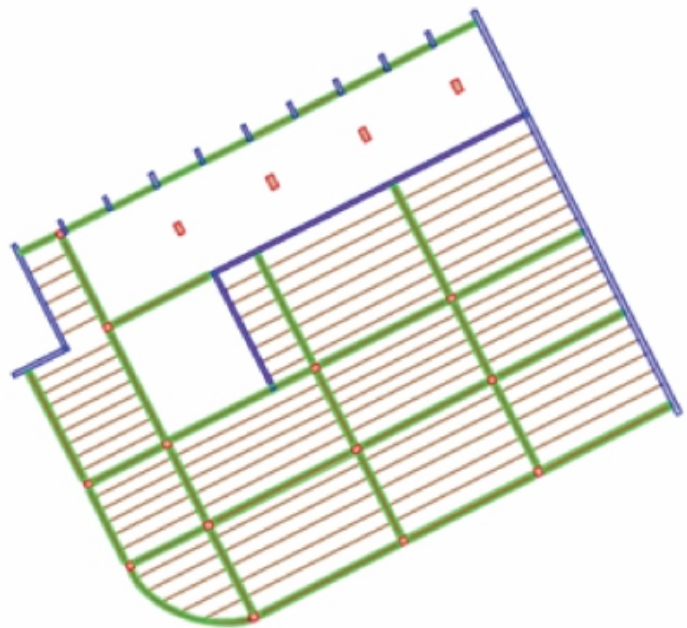
El edificio se diseñó dejando en cada planta aulas de formación y aulas virtuales para que los instructores cuenten con un espacio idóneos al desarrollar cada sesión; cada piso cuenta con una batería de baños para mujeres y una para hombres, la cual tiene relación directa con las aulas; para la circulación se planteó una escalera y una rampa que conecta todas las aulas de formación y las oficinas de SENNOVA ubicadas en el último piso; este espacio de oficinas busca unificar en un solo lugar a todo el grupo de investigación y brindarles espacios flexibles de trabajo.

La volumetría se definió según las determinantes físicas y artificiales del entorno; dentro de las físicas la orientación del lote fue la de mayor influencia, definiendo qué fachadas deberían tener mayor incidencia de luz natural. El entorno artificial es otro factor de gran importancia, debido a que las visuales y los puntos de acceso determinaron que fachadas necesitaban un mayor protagonismo; por último, las circulaciones internas definieron la forma del proyecto generando dos volúmenes (ver figura 2), el primero es un bloque de circulación, en este se encuentra la rampa la cual se planteó como recorrido contemplativo aprovechando la visual hacia la zona verde del centro; por otra parte, en el segundo volumen (el principal) donde se concentran las aulas, la zona de oficinas y las áreas de servicios, se plantea el ingreso; motivo por el cual se rompe la esquina en la fachada para abrirse hacia el resto de la sede.

Composición volumétrica.

La estructura se planteó como un sistema de pórticos en GLULAM, combinada con muros estructurales en CLT (ver figura 3); los pórticos se configuran con luces de 5 y 4 metros, complementándose con muros de carga perimetrales alrededor del volumen de circulación. Las fachadas principales se manejaron con vidrio y unos paneles verticales que rompen la fachada. Dentro del modelado se establecen las familias de los elementos estructurales, las cuales complementadas con el manual de construcción con madera muestran parámetros de diseño y la materialidad según los resultados arrojados por la matriz de priorización.

Figura 2
Modulación estructural proyecto Smart Prefab.



Nota. Planta estructural del proyecto Smart Prefab, indicando con azul los muros estructurales, en verde las vigas, en naranja las columnas y en café las viguetas.

Usando la metodología BIM, se desarrolló el modelado del proyecto en Revit, logrando la ejecución del diseño arquitectónico, la construcción de las familias de los elementos estructurales y no estructurales y una modulación estructural, dejando el proyecto en una etapa de anteproyecto; el cálculo estructural, el diseño de instalaciones hidrosanitarias y eléctricas y el cálculo presupuestal quedan pendientes para una siguiente fase.

Discusión

La presente investigación permitió cumplir con el objetivo de caracterizar la tecnología dura para la transformación industrial de la madera en las empresas colombianas; por medio del diagnóstico se actualizó el estado de la industria y con esta información se definieron los sistemas constructivos que más se adaptan al desarrollo tecnológico actual; por último, por medio de la matriz de priorización y el modelado en Revit del edificio institucional, se establecieron algunos parámetros de diseño para dar paso a la construcción con madera en el país.

El diagnóstico evidenció que la mayoría de empresas encuestadas se enfocan en la producción de madera aserrada, siendo en su mayoría empresas pequeñas que carecen de maquinaria de alta tecnología; actualmente el porcentaje de empresas que se dedican a la construcción con madera es muy bajo, según la ONF Andina (2018) esta cifra ha ido en descenso debido a los costos y su resistencia en comparación con otros materiales; así mismo, resaltan que las pocas empresas que construyen con madera importan el material desde países como Chile y Canadá, siendo la madera aserrada la menos usada en la construcción.

El principal problema que tiene el país es la falta de desarrollo tecnológico e incentivos para el uso de este material en la construcción; aun así, el tema no es nuevo, en Colombia encontramos empresas como Refocosta que fabrica vigas laminadas y taller de ensamble que además de fabricar elementos en GLULAM, construye viviendas en madera; estos dos referentes marcan pautas para la producción e implementación de un sistema constructivo que en otros países lleva varios años; por otro lado, el diagnóstico arrojó que entre el 14 y el 19% de las empresas poseen maquinaria de alta tecnología, lo que marca que en un corto o mediano plazo estas podrán empezar a fabricar elementos en CLT, siendo una oportunidad para el sector de la construcción en Colombia.

Al comparar la presente investigación con otras se puede identificar que está ayudó en la identificación del estado actual de la industria, para visualizar las posibles oportunidades y falencias con las que cuenta el país para empezar a implementar la construcción con madera; la priorización de especies fue un punto importante debido a que permitió enfocar la investigación a la realidad actual de la industria maderera y determinar que especies son las más aptas para la construcción, pero no se alcanzó a incluir la fabricación de los paneles y las pruebas de resistencia para validar su comportamiento estructural. Para lo cual se recomienda llevar a cabo los estudios requeridos para dicha validación.

El modelado en Revit plantea un edificio institucional, el cual tendrá aulas de formación y oficinas del área de investigación; según un artículo publicado en Forestal Maderero (2020) los edificios en madera generan un impacto positivo en las personas que lo habitan, al ser un edificio educativo pueden lograr beneficios a la salud física

y mental, ayudando con la concentración y disminuyendo los niveles de estrés.

La metodología planteada para el diseño del edificio dio como resultado un desarrollo detallado del edificio y el sistema constructivo mixto que se planteó, para que sirva como guía de diseño; el diseño incluye las familias paramétricas de muros, forjados, cubiertas, vigas y columnas; esto servirá de herramienta para que los integrantes del comité externo inicialmente, puedan implementarlas en futuros diseños en CLT y GLULAM.

En comparación con otras investigaciones como la de Quintana (2020) en la cual desarrolla el modelado de un edificio de uso mixto, con estructura combinada entre concreto y madera; se puede observar que para validar el funcionamiento estructural del modelo y las uniones del sistema es necesario realizar el cálculo estructural, sin esto solo es una aproximación proyectual; por esta razón es necesario otra fase en la investigación donde se verifiquen los aspectos técnicos tanto del sistema como de las maderas priorizadas, mientras tanto esta investigación sirve como primer paso para establecer parámetros e incentivar a la industria del país.

Conclusiones

Se caracteriza la tecnología dura para la transformación industrial de la madera en las empresas colombianas con base en el diagnóstico tecnológico realizado a 30 empresas, encontrándose que solo el 18% de la industria nacional está preparada a corto plazo para la implementación de procesos productivos de CLT, sin embargo, actualmente ya existen empresas en Colombia como REFOCOSTA que vienen

implementando la producción del GLULAM.

Se mide y clasifica el nivel Tecnológico de la industria forestal en Colombia encontrándose que comparada con países como Estados Unidos, Canadá, Australia y España que son los principales países donde se está construyendo con madera en el mundo, es muy bajo el nivel tecnológico que posee actualmente la industria forestal colombiana para poder llevar a cabo la implementación de procesos automatizados de industria 4.0 en plantas de producción de tableros de CLT o GLULAM. Siendo una restricción en la actualidad la devaluación del peso colombiano respecto al dólar y el euro, ya que de estos países con esta moneda es de donde proceden las máquinas para su compra, que pueden alcanzar valores hasta de 21 millones de dólares para la implementación de una planta de producción.

Se definen los sistemas de construcción modular GLULAM y CLT como los más acordes al nivel tecnológico de Colombia para su implementación en la industria nacional a largo plazo (20 años), ya que en la actualidad solo el 18% de la industria forestal cuenta con la tecnología necesaria para implementar a corto plazo (5 años) procesos de producción automatizados de industria 4.0.

Se establecen los parámetros mínimos de diseño para la construcción de elementos estructurales y no estructurales de un edificio de 4 pisos de tipo institucional educativo en la construcción modular con madera, considerando la disponibilidad actual del comercio nacional para herrajes y uniones esperando que esto facilite los procesos de implementación a nivel nacional.

Bibliografía

- Block. I (11 de abril de 2019). El edificio mjøstårnet en noruega se convierte en la torre de madera más grande del mundo. Madera 21 de corma. <https://www.madera21.cl/blog/2019/04/11/mjostarnet-en-noruega-la-torre-de-madera-mas-grande-del-mundo/>
- DFM Directorio Forestal Maderero (20 de mayo de 2020). Los beneficios del diseño con madera en escuelas. Forestal Maderero. <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/los-beneficios-del-diseno-con-madera-en-escuelas.html>
- Eligemadera. (s.f.) Edificios de madera: sustentabilidad e innovación. <https://eligemadera.com/edificios-de-madera-sustentabilidad-e-innovacion/>
- Esarte, A (16 de enero de 2020) BIM o metodología BIM (Qué es) más que tecnología. EspacioBIM. <https://www.espaciobim.com/bim>
- IDEAM. (2019). Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono: BOLETÍN DE DETECCIÓN TEMPRANA DE DEFORESTACIÓN No 17. <http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBC-WEB/pub/alertasDeforestacion.jsp?0.17457814519179027>
- Marulanda, J. (2018). Introducción al diseño arquitectónico. Libélula editores.
- Minambiente, & ONF Andina. (2015). Uso y legalidad de la madera en Colombia. Análisis parcial. ONF Andina. <https://www.minambiente.gov.co/>
- Neufert, E. (2013). Neufert el arte de proyectar en arquitectura. Editorial GG.
- Ospina, L. (22 de agosto de 2020). Colombia tiene madera. Territorios sostenibles. <https://territoriosostenibles.com/biodiversidad-y-ecosistemas/colombia-tiene-madera>
- Panero, J. Y Zelkin, M. (1996). Las dimensiones humanas en los espacios interiores, estándares antropométricos. Editorial GG.
- Quintana, D (2020). El entramado pesado en madera. Sistema estructural y diseño para obra nueva en usos mixtos – terciarios, en altura. [Trabajo final máster en estructuras, construcción y diseño en madera]. Escuela técnica superior de arquitectura.
- Viotto, U., Tesina, D., & Diaz – Grande, J. A. (2013). Máster oficial universitario "Tecnología en la arquitectura", línea de construcción y nuevas tecnologías. Universidad politécnica de Catalunya. 129.