

UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO – MECÁNICA DE LA  
MADERA ASERRADA *PINUS RADIATA*  
COMERCIALIZADA EN CUENCA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTO**

**AUTOR: WILSON HERNÁN CADA CAJAS**

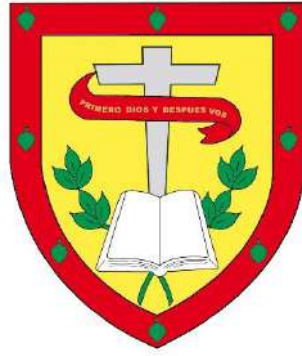
**GUILLERMO SANTIAGO NEIRA BANEGAS**

**DIRECTOR: ARQ. PHD. JUAN FELIPE QUESADA MOLINA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO – MECÁNICA DE LA MADERA  
ASERRADA *PINUS RADIATA* COMERCIALIZADA EN CUENCA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTO**

**AUTORES: WILSON HERNÁN CADA CAJAS**

**GUILLERMO SANTIAGO NEIRA BANEGAS**

**DIRECTOR: ARQ. PHD. JUAN FELIPE QUESADA MOLINA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Wilson Hernán Cada Cajas y Guillermo Santiago Neira Banegas portadores de las cédulas de ciudadanía N° 0104682497 y 0107621591. Declaramos ser autores de la obra: "Caracterización físico – mecánica de la madera aserrada *Pinus radiata* comercializada en Cuenca", sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 11 de octubre de 2023

F:  .....

Wilson Hernán Cada Cajas  
0104682497

F:  .....

Guillermo Santiago Neira Banegas  
0107621591

## Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **ARQUITECTO** con el título: "*Caracterización físico - mecánica de la madera aserrada *Pinus radiata* comercializada en Cuenca*" ha sido elaborado por el Br. **Wilson Hernán Cada Cajas** y el Br. **Guillermo Santiago Neira Banegas**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



Arq. Felipe Quesada Molina

## **Dedicatoria**

Por su confianza, paciencia, amistad, cariño, conocimiento y apoyo, este trabajo de titulación está dedicado a mis padres, hermanas, sobrinos, profesores y amigos, quienes han sido actores importantes dentro de todo este camino, pero sobre todo a mi mamá, quien ha sido mi crítica más severa y, al mismo tiempo, mi más grande fan, enseñándome que cualquier meta se puede alcanzar con esfuerzo y determinación.

¡Gracias a todos por todo!

**Wilson Hernán Cada Cajas**

Dedico este trabajo de titulación a mis padres y a mis hermanos, puesto que ellos son los que me han acompañado y me han impulsado a lo largo de esta gran trayectoria de la carrera de arquitectura llena de alegrías y dificultades que se han podido superar de la mejor manera.

**Guillermo Santiago Neira Banegas**

## Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios, por ser la razón de toda desición, actividad y motivación en este camino.

A nuestros familiares por ser el pilar que sostiene nuestros sueños e ilusiones y el motor para seguir adelante.

A nuestro tutor Arq. Felipe Quesada, por su paciencia, carisma, apoyo, conocimientos, confianza y liderazgo a lo largo de todo este proceso.

A nuestros amigos por compartir risas, fracasos, logros y grandiosas experiencias que quedarán marcadas para el resto de nuestras vidas. Especialmente a las futuras arquitectas Mary y Vale por hacer de estos últimos ciclos los mejores.

A nuestros profesores por compartir sus conocimientos y prepararnos para la vida profesional. Especialmente al Arq. Jefferson Torres, Arq. Julio Pintado, Arq. María del Cisne Aguirre, Arq. Pedro Angumba, Ing. José Solano por permitirnos apreciar la carrera a través de sus palabras.

A la Universidad Católica de Cuenca por acogernos en sus intalaciones y permitirnos llevar a cabo esta investigación. Especialmente al Ing. Juan Monje, Ing. Paola Delgado y al Ing. Marcos Gonzáles por sus consejos, enseñanzas y paciencia.

A la Ing. Dominique Baquero, Ing. Yadira Santamaria y al Ing. Eduardo Ambrosi por acogernos en las instalaciones de Innovacentro de la Madera y el Mueble pertenecientes a EDEC-EP.

Por último, pero no menos importante, a nuestra perseverancia, ya que sin ella no hubieramos alcanzado esta meta.

## Resumen

El siguiente documento detalla la actualidad de la industria maderera dentro del sector de la construcción y describe como este ha sido relegado a un material meramente decorativo. Posterior a esto se realiza una breve descripción de la especie *Pinus radiata*, misma que es objeto de estudio de este documento. Consecutivamente se expone la norma que regula las construcciones en madera dentro del país junto con las normativas de entidades internacionales, teniendo como conclusión una idea más clara de la problemática entorno a la norma.

Una vez establecida la importancia de la caracterización de la madera por especie, se aplica documentación bibliográfica para ejecutar ensayos de compresión paralela a la fibra, flexión estática y tracción paralela a la fibra, con el fin de obtener una caracterización físico-mecánica actualizada dentro del contexto de la ciudad de Cuenca. De esta manera se establecen diferencias entre los resultados obtenidos frente a los proporcionados por la NEC.

Finalmente, con los datos obtenidos se determina un ábaco de predimensionamiento que aplica el método de los esfuerzos admisibles y es representado en una herramienta digital. Esta es aplicada para el diseño de columnas y vigas de entrepisos y cubiertas dentro de un ejemplo de vivienda unifamiliar.

*Palabras clave:* madera, *Pinus radiata*, esfuerzo admisible, estandarización, predimensionamiento.

## Abstract

The following document details the current situation of the timber industry within the construction sector and describes how it has been relegated to a merely decorative material. Later, a short description of the *Pinus radiata* species, which is the subject of study in this document, is provided. Following that, the standard that regulates wood construction in the country and the regulations of international entities are presented. This situation leads to a clearer understanding of the issues related to these regulations.

Once the importance of wood characterization by species is established, bibliographic documentation is applied to perform tests of compression parallel to the grain, static bending, and traction parallel to the thread to obtain an updated physical-mechanical characterization within the context in Cuenca. In this way, differences are established between the results obtained and those provided by the NEC (Ecuadorian Construction Standard by its Spanish acronym).

Finally, with the data obtained, a pre-dimensioning abacus is determined that applies the allowable stresses method and is represented in a digital tool. This is used in the design of columns and beams of mezzanine floors and roofs in an example of a single-family house.

*Keywords:* timber, *Pinus radiata*, allowable stress, standardization, pre-dimensioning

## Índice de Contenidos

Certificación	1
Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	4
Abstract	5
Índice de Contenidos	6
Lista de Figuras	9
Lista de Tablas	11
Introduccion	12
Problematica	13
Objetivos	14
Justificacion	15
Metodologia	16
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>17</b>
1.1. El sector maderero en Ecuador y Azuay . . . . .	17
1.2. Pinus radiata . . . . .	18
1.2.1. Origen . . . . .	18
1.2.2. Usos y características . . . . .	19
1.2.3. Propiedades mecánicas . . . . .	20

---

1.2.4.	Irregularidades naturales y de manufactura . . . . .	21
1.3.	Normativa . . . . .	22
1.3.1.	Normativa nacional . . . . .	22
1.3.2.	Categorización de la madera según su densidad . . . . .	22
1.3.3.	Normativa internacional . . . . .	23
1.4.	Antecedentes de caracterización físico-mecánica en Latinoamérica . . . . .	24
1.5.	Determinación de comportamientos físico-mecánicos . . . . .	25
1.6.	Características físicas de la madera . . . . .	26
1.7.	Características mecánicas de la madera . . . . .	27
1.8.	Predimensionamiento por esfuerzos admisibles . . . . .	28
1.8.1.	Predimensionamiento para vigas . . . . .	28
1.8.2.	Predimensionamiento para columnas . . . . .	29
1.9.	Resumen . . . . .	31
<b>2.</b>	<b>Análisis Experimental</b>	<b>32</b>
2.1.	Selección de muestras . . . . .	32
2.2.	Elaboración y acondicionamiento de muestras . . . . .	34
2.2.1.	Canteado de bordes . . . . .	34
2.2.2.	Corte . . . . .	35
2.2.3.	Cepillado . . . . .	35
2.2.4.	Extracción, identificación y acondicionamiento . . . . .	35
2.3.	Determinación de la compresión axial o paralela a la fibra . . . . .	38
2.3.1.	Elaboración y acondicionamiento de probeta . . . . .	38
2.3.2.	Metodología de análisis . . . . .	38
2.3.3.	Cálculo de contenido de humedad y peso específico . . . . .	40
2.3.4.	Resultados . . . . .	42
2.4.	Determinación de la flexión estática . . . . .	43
2.4.1.	Elaboración y acondicionamiento de probetas . . . . .	43
2.4.2.	Metodología de análisis . . . . .	44
2.4.3.	Cálculo de contenido de humedad y peso específico . . . . .	46
2.4.4.	Resultados . . . . .	46
2.5.	Determinación de la tracción paralela a las fibras . . . . .	47
2.5.1.	Elaboración y acondicionamiento de probeta . . . . .	47
2.5.2.	Metodología de análisis . . . . .	49
2.5.3.	Cálculo del contenido de humedad y peso específico . . . . .	50

---

---

2.5.4. Resultados . . . . .	50
2.6. Resumen . . . . .	52
<b>3. Propuesta</b>	<b>53</b>
3.1. Obtención de resultados promedio . . . . .	53
3.2. Determinación de esfuerzos admisibles . . . . .	54
3.3. Determinación del módulo de elasticidad (MOE) . . . . .	56
3.4. Predimensionamiento de vigas . . . . .	56
3.5. Predimensionamiento para columnas . . . . .	58
3.6. Ejemplo de aplicación en vivienda unifamiliar . . . . .	61
3.6.1. Determinación de vigas . . . . .	66
3.6.2. Determinación de columnas . . . . .	68
3.6.3. Detalles constructivos . . . . .	70
<b>4. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>75</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>76</b>
Referencias . . . . .	76

## Lista de Figuras

1.1. Características visuales de la especie <i>Pinus radiata</i> . . . . .	19
1.2. Normativa para el ensayo de probetas en madera . . . . .	26
1.3. Direcciones o ejes de la madera . . . . .	27
2.1. Extracto de guía de movilización para madera aserrada . . . . .	33
2.2. Guía de movilización para madera aserrada . . . . .	34
2.3. Selección, canteado y corte de madera para probetas . . . . .	34
2.4. Cepillado de madera para probetas . . . . .	35
2.5. Corte con ingletadora y obtención de probetas . . . . .	36
2.6. División de cuadrantes en el tablón . . . . .	36
2.7. Selección del probetas según el cuadrante . . . . .	36
2.8. Inmersión de probetas en agua . . . . .	37
2.9. Medición de CH con xilohigrómetro . . . . .	37
2.10. Dimensiones de probeta para ensayo a compresión paralela a las fibras . . .	38
2.11. Máquina para ensayos a compresión . . . . .	39
2.12. Gráfico esfuerzo - deformación de probeta . . . . .	40
2.13. Medición de probetas y secado en horno . . . . .	41
2.14. Gráfico esfuerzo-deformación de ensayos sometidos a compresión paralela a las fibras . . . . .	43
2.15. Dimensiones de probeta para ensayo de flexión estática . . . . .	44
2.16. Equipo de compresión de hormigón adaptado para ensayos a flexión . . . .	45
2.17. Gráfico esfuerzo-deformación de ensayos sometidos a flexión estática . . . .	47
2.18. Dimensiones de probetas para ensayo de tracción paralela a las fibras . . .	48
2.19. Equipo para ensayo a tracción paralela a las fibras . . . . .	49

---

2.20. Gráfico esfuerzo-deformación ensayos de tracción paralela a las fibras . . . . .	52
3.1. Flujograma para la determinación de sección transversal de vigas . . . . .	57
3.2. Interfaz para el predimensionamiento de vigas . . . . .	58
3.3. Flujograma para la determinación de carga admisible de columnas . . . . .	59
3.4. Interfaz para el predimensionamiento de columnas . . . . .	60
3.5. Planta de cubiertas - vivienda unifamiliar . . . . .	61
3.6. Planta baja - vivienda unifamiliar . . . . .	62
3.7. Planta alta - vivienda unifamiliar . . . . .	63
3.8. Elevación frontal - vivienda unifamiliar . . . . .	63
3.9. Elevación lateral izquierda - vivienda unifamiliar . . . . .	64
3.10. Estructura propuesta - vivienda unifamiliar . . . . .	64
3.11. Vista exterior de vivienda ejemplo . . . . .	65
3.12. Vista interior n°1 de vivienda ejemplo . . . . .	65
3.13. Vista interior n°2 de vivienda ejemplo . . . . .	66
3.14. Sección tributaria para las vigas B1-B2 . . . . .	67
3.15. Sección tributaria para la columna B2 . . . . .	69
3.16. Detalle constructivo: Unión pilar - cimiento . . . . .	72
3.17. Detalle constructivo: Entrepiso . . . . .	73
3.18. Detalle constructivo: Cubierta a dos aguas . . . . .	74

## Lista de Tablas

1.1. Tabla de usos de tierra en Ecuador . . . . .	18
1.2. Características y propiedades arquitectónicas del <i>Pinus radiata</i> . . . . .	20
1.3. Propiedades mecánicas de la madera <i>Pinus radiata</i> . . . . .	20
1.4. Categorías de madera según su densidad . . . . .	22
1.5. Esfuerzo admisible para madera . . . . .	23
1.6. Módulo de elasticidad para la madera . . . . .	23
1.7. Módulo de elasticidad para la madera . . . . .	23
1.8. Tabla de clasificación mecánica UNEN EN 338 . . . . .	25
1.9. Propiedades mecánicas de la madera . . . . .	28
1.10. Clasificación de columnas . . . . .	30
2.1. Resultados para ensayos de compresión paralela a las fibras . . . . .	42
2.2. Resultados para ensayos de flexión estática . . . . .	46
2.3. Resultados para ensayos de tracción paralela a las fibras . . . . .	51
3.1. Tabla resumen de propiedades mecánicas de la madera de <i>Pinus radiata</i> . .	54
3.2. Factores de reducción . . . . .	55
3.3. Esfuerzos admisibles para <i>Pinus radiata</i> . . . . .	56
3.4. Resultados para vigas de vivienda unifamiliar . . . . .	68
3.5. Resultados para columnas de vivienda unifamiliar . . . . .	70

## Introducción

Ecuador es un país que ha ido creciendo exponencialmente gracias a la industria de la construcción, misma que ha estado liderada por la construcción en acero y hormigón, sin embargo, existe poca aplicación de la madera basada en un diseño estructural inicial debido a la escasa y obsoleta información en cuanto a la caracterización de maderas y su desempeño estructural.

Por lo tanto, se busca determinar una nueva caracterización para una de las especies de madera más comercializadas en la localidad, el *Pinus radiata*. Para ello, es indispensable partir de un análisis comparativo de las normativas aplicadas en otros países y la normativa local; seguido de un análisis experimental en probetas de madera, con el fin de determinar sus propiedades físico - mecánicas, y con ello, establecer su estandarización para garantizar su máxima eficiencia y promover uso de este sistema constructivo que ha sido desvalorizado.

Finalmente, en base a toda la información obtenida a partir del análisis experimental, se establece un método para el predimensionamiento estructural. Adicionalmente, se aborda un ejemplo de aplicación para vivienda unifamiliar junto con detalles constructivos enfocados a entepiso y cubierta aplicando la especie de madera mencionada, logrando así, obtener exigencias de calidad estandarizadas para el uso constructivo.

## Problemática

En la actualidad el sector de la construcción en Ecuador se encuentra en continua expansión, centrándose principalmente en los sistemas constructivos en hormigón y acero debido a su facilidad de producción y seguridad estructural. Esto ha ocasionado que se deje a un lado otros sistemas constructivos, tales como, los sistemas en madera, a pesar que esta cuenta con prestaciones similares a los anteriores (Holguín y Delgado, 2018). De esta manera se desperdicia el aprovechamiento de un material con gran potencial constructivo, como se ha demostrado en otros países (Japón, Suecia, USA, Brasil y Chile) que han tomado la iniciativa de apartarse de estándares internacionales y empezar a caracterizar las especies plantadas bajo su propio contexto (Campos, 1989).

En Ecuador, la construcción con madera ha ido en decadencia en comparación con otros sistemas constructivos, debido en parte, a la desactualización de su marco regulatorio en el que se establecen las propiedades y limitaciones para el diseño de estructuras en madera. En la actualidad, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en su capítulo NEC-SE-MD: Estructuras de Madera (NEC, 2014), agrupa 107 especies de madera dentro de tres grandes grupos dependiendo de la densidad básica de la especie. Los grupos “A”, “B” y “C” categorizan las especies maderables del Ecuador y están basados en el “Manual de diseño para maderas del Grupo Andino” (JUNAC, 1984), donde las especies fueron analizadas y estudiadas en la década de los 70tas, y para la actualidad, sus valores normativos no representan la realidad de la madera que se comercializan hoy en día en el país, especialmente en la provincia del Azuay. Debido a esto, los datos plasmados en el documento de la JUNAC y la NEC han quedado como un objeto de estudio y no como una herramienta para el manejo de los profesionales en sus proyectos.

## Objetivos

### Objetivo general

Determinar las propiedades físico-mecánicas de la especie maderable de *Pinus radiata* con el uso de la Norma de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) para contribuir al conocimiento y uso de las especies en la industria de la construcción de la provincia del Azuay.

### Objetivos específicos

I. Conocer las propiedades de las especies establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) e internacional de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) para su uso en la construcción.

II. Evaluar las propiedades físico-mecánicas de la especie de *Pinus radiata* a través de ensayos para determinar sus estándares para el uso en estructuras.

III. Proponer soluciones constructivas enfocadas a las estructuras de madera para el uso de viviendas aplicando un ábaco de predimensionamiento.

## Justificación

Los sistemas constructivos en madera representan un porcentaje pequeño dentro del ámbito de la construcción, ya que este es abarcado principalmente por otros con mayor prestigio como lo son el hormigón y metal. Esto ha llevado a que la NEC se conforme y recomiende datos obtenidos por la JUNAC, mismos que datan del año 1984 y se basan tanto en especies de madera locales como en externas. Estas especies estudiadas a nivel nacional, crecieron bajo otras condiciones, y es debido a esto que se podría catalogar a muchos de sus datos como obsoletos. Además, cabe mencionar que la construcción en madera no cuenta con un control de calidad estricto como lo es para el hormigón y metal.

Conociendo esta situación dentro de la norma local, se toma en cuenta cómo en la zona andina del Ecuador se utilizan especies de madera como el pino y el eucalipto, las dos más comercializadas para el diseño de estructuras de vivienda. Dichas especies dependen tanto de las condiciones climáticas y de silvicultura para su crecimiento y es por esta razón que se debería realizar una caracterización local de la especie dependiendo de la provincia, o en el mejor de los casos, de la ciudad en la que se encuentran los bosques, esto con el objetivo de alcanzar una mayor precisión de las características que posee la madera que se comercializa en el contexto.

Frente a esta problemática, se busca aportar una caracterización actualizada de la madera de *Pinus radiata* comercializada en la ciudad de Cuenca, mediante el ensayo de probetas conforme las recomendaciones de la Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN), Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM), para, mediante los datos obtenidos, elaborar una herramienta técnica que complemente el conocimiento de factores físico-mecánicos de la madera para el diseño estructural de viviendas enfocada en el predimensionamiento.

## Metodología

La metodología a seguirse se basa principalmente en el levantamiento de información bibliográfica, seguido por un análisis experimental y finalizando con una propuesta enfocada a la elaboración de un flujograma de cálculo para la elaboración de una herramienta de predimensionamiento. A continuación, se detalla el proceso a seguirse para cada objetivo.

**Objetivo 1.** Para justificar la propuesta y lograr una mejor comprensión de la problemática se realiza un análisis bibliográfico que detalla el estado actual de la actividad forestal del país y su papel dentro de la industria de la construcción. Del mismo modo, se describe la normativa y criterios a tomar en cuenta para el desarrollo de ensayos y la ejecución de cálculos, además de mencionar las características físico-mecánicas del *Pinus radiata* y de esta manera comparar la normativa nacional vigente con la normativa internacional más relevante.

**Objetivo 2.** Para obtención de datos se realiza un análisis experimental, iniciando con la selección visual y aleatoria de muestras de *Pinus radiata*. Posterior a esto, se elaboran y acondicionan las probetas siguiendo la norma Nch968. Seguido, se realizan los diferentes ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus radiata* en probetas en estado verde y estado seco, siguiendo las recomendaciones dadas por la norma ASTM-D143: Métodos de prueba estándar para pequeños especímenes claros de madera, COPANT 461: Método de determinación del peso específico aparente, COPANT 464: Método de determinación de la compresión axial o paralela a las fibras, COPAN 555: Método de ensayo de flexión estática COPANT 742: Método de ensayo a tracción paralela a la fibra y Nch176/1: Determinación de contenido de humedad (CH). Cabe mencionar que todos los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de pisos del CIITT, propiedad de la Universidad Católica de Cuenca, con la única excepción del ensayo a tracción paralela a la fibra, el cual fue realizado en las instalaciones municipales de Innovacentro de la Madera y el Mueble, administrada por la Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico o con sus siglas EDEC-EP.

**Objetivo 3.** Se establecen los valores promedio y esfuerzos admisibles aplicando información bibliográfica. Con ello, se obtiene una propuesta para el predimensionamiento estructural aplicable a vivienda en conformidad con los cálculos para vigas y columnas estipulados en la NEC. De este modo, se determina un flujograma de cálculo dirigido a la elaboración de un script o código de programación. Finalmente, como resultado se obtiene la facilidad para el cálculo de elementos estructurales haciendo uso de una herramienta digital que cumple la función de un ábaco, en donde solamente es necesario conocer la información básica. En el caso de vigas; los datos necesarios serán: carga y luz, y para columnas: carga, altura y lado.

El siguiente capítulo recopila información sobre la actualidad de la industria maderera en Ecuador evidenciando su presencia e importancia en el país y su situación frente al sector de la construcción. Además, se adjunta una breve descripción de las características e historia del sujeto de estudio (*Pinus radiata*), continuando con una descripción del cómo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) gestiona y clasifica la madera para uso estructural y sistemas constructivos frente a las tendencias de caracterización de la madera en Latinoamérica y Europa. Finalmente, en base al análisis bibliográfico, se establecen los ensayos físico - mecánicos necesarios para el predimensionamiento estructural y sus respectivos cálculos.

## 1.1. El sector maderero en Ecuador y Azuay

Hoy en día el sector forestal es uno de los más importantes del mundo debido a la versatilidad y características con la que cuenta el material. Ecuador cuenta con una superficie forestal que representa el 40 % del territorio nacional, siendo la región Amazónica la más importante (ProEcuador, 2015). El país cuenta con una cantidad estimada de 11,000,000 de hectáreas, donde existe una gran variedad de especies debido a las condiciones de la cordillera de los Andes y corrientes marina(ProEcuador, 2015). El sector forestal, dentro del país, ha evidenciado un consumo de alrededor de 3,500 millones de metros cúbicos en el que alrededor del 47 % es usado para construcción de vivienda, mobiliario, fabricación de papel, entre otros. Mientras que el 53 % restante representa la madera destinada a calefacción y cocción (Holguín y Delgado, 2018), obteniendo un total aproximado de 200,000 hectáreas de bosque talado.

Un área importante de interacción de la industria maderera es el sector de la construcción, esto debido a la demanda del material, mayormente utilizados para la elaboración de diversos tipos de estructuras y acabados, pero dentro de ella podemos evidenciar como el descubriendo de nuevas técnicas, como el hormigón y el acero, ha llevado a la madera a ser tomada en cuenta como un material para la elaboración de implementos domésticos como muebles y utensilios, aunque exista un gran potencial forestal. Esto se evidencia en la tabla de uso de tierra generado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), obtenido un total de 9.8 % como se observa en la Tabla 1.1 (Zuñiga, 1995).

Tabla 1.1: Tabla de usos de tierra en Ecuador

Uso	Área (miles de ha)	Porcentaje (%)
Agricultura y ganadería	7.733	28.60
Salinas	25.000	0.10
Camarones	139.000	0.50
Bosques naturales	11.473	42.40
Plantaciones forestales	143.000	0.50
Tierra con potencial forestal	2.523	9.30
Otros usos	5.031	18.60
<b>Total</b>	<b>27.057</b>	<b>100</b>

Fuente: INEFAN ITTO, 1995

Elaboración: Autores

Dentro de la región Andina las especies de madera más comercializadas son el *Pinus radiata* y *Eucalyptus Globulus* (Holguín y Delgado, 2018). Considerando que en la ciudad de Cuenca se comercializan maderas provenientes de la Costa y Oriente ecuatoriano que pertenecen a bosques no renovables, es fundamental para un desarrollo sostenible reemplazar estas maderas por especies que provienen de bosques renovables como los ya mencionados.

## 1.2. Pinus radiata

### 1.2.1. Origen

Es una especie originaria de la costa de California en Estados Unidos. Esta especie fue introducida y plantada a gran escala en 1960 para controlar la amenaza que el sector maderero generaba a las especies nativas (Acosta, 1949). El *Pinus radiata* presenta un periodo de crecimiento relativamente corto, lo cual fue factor importante para garantizar la sustentabilidad forestal que se requería en aquel tiempo, además que, después de un periodo de prueba, la decisión de usarla se concretó debido a su gran adaptabilidad al clima, suelo y topografía del país, llevándolo a ser hoy en día la segunda especie más plantada en la sierra ecuatoriana, siendo superada por el *Eucalyptus globulus* (Acosta, 1949). A continuación se muestra las características visuales de la especie maderable (Figura 1.1).

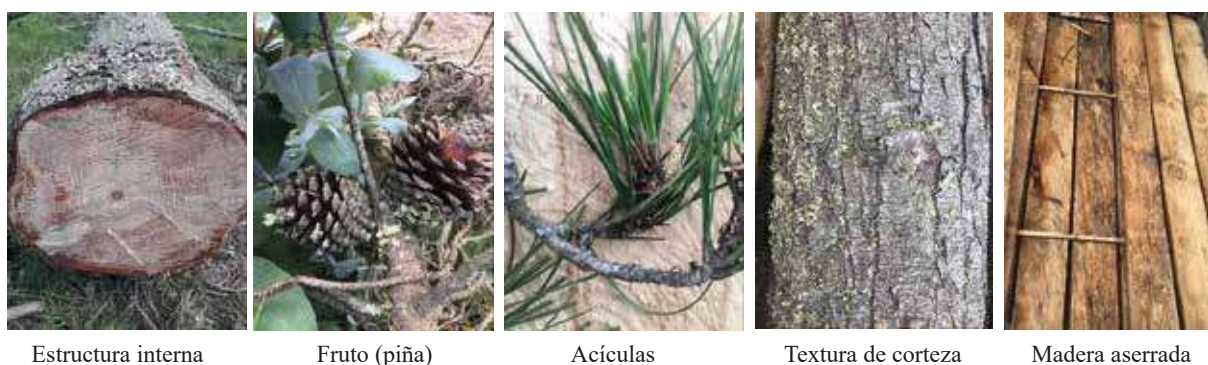


Figura 1.1: Características visuales de la especie *Pinus radiata*

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

### 1.2.2. Usos y características

La madera de *Pinus radiata*, al igual que muchas otras, cuenta con la característica de estar presente tanto en el área de diseño de interiores como en el de la construcción, esto debido a que es considerada una madera semidura y de fácil trabajabilidad. Dentro del sector de la construcción, la madera de *Pinus radiata* destaca por ser considerada como un material de alta demanda debido a su gran versatilidad y resistencia a la descomposición por factores externos. Los usos que se recomienda para esta madera son (INEFAN, s.f.):

- Mueblería
- Encofrados
- Entablados
- Estructuras de construcciones
- Revestimientos interiores y exteriores

Cabe mencionar que la calidad y patologías presentes al momento de aserrar la madera definirá la utilidad que esta tendrá. Se puede observar un resumen de sus características en la Tabla 1.2 presentada a continuación.

Tabla 1.2: Características y propiedades arquitectónicas del *Pinus radiata*

Características generales							
Nombre científico	Pinus Insigne						
Origen	California, USA						
Estructura celular	Conífera						
Altura	30 - 45 m						
Tiempo de crecimiento	25 – 35 años aprox.						
Edad de vida	500 años aprox.						
Color corteza	Gris						
Ø de tronco	40-50 cm						
Clima para crecimiento	Húmedo/Templado/Cálidos						
Resistencia a temperatura.	Hasta -12 °C						
Precipitaciones óptimas	800-1700 mm anuales						
Tolerancia sequía	4 meses						
Propiedades arquitectónicas							
Resistencia al agua	Bajo	Med.	Alto	Resistencia factores externos	Bajo	Med.	Alto
	x					x	
Resistencia a plagas	Bajo	Med.	Alto	Textura	Bajo	Med.	Alto
	x						x
Brillo				Bajo	Medio	Alto	
				x			

Fuente: JUNAC, 1984

Elaboración: Autores

### 1.2.3. Propiedades mecánicas

La JUNAC cuenta con una ficha técnica de la especie de *Pinus radiata* (Tabla 1.3, en la que consta su comportamiento mecánico. En ella se puede observar que la especie posee una densidad básica de 39 g/cm<sup>3</sup> situándola como una especie de madera suave, aunque se encuentre ubicado por debajo del rango de la categoría C (Tabla 1.4), la cual representa el índice de densidad más bajo.

Tabla 1.3: Propiedades mecánicas de la madera *Pinus radiata*

PROPIEDADES MECÁNICAS								
Nombre	País	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Condición	Flexión estática			Compresión	
				ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (t/cm <sup>2</sup> )	ER (kg/cm <sup>2</sup> )	ELP (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>PINO</b>								
<b>INSIGNE</b>	EC	39	Verde	116	252	45	98	26
<b><i>Pinus radiata</i></b>			Seco	293	664	76	390	70
<b>PINACEAE</b>								

Fuente: Instituto forestal, 1964

Elaboración: Autores

### 1.2.4. Irregularidades naturales y de manufactura

La madera al igual que otros materiales presenta, de forma natural o durante su proceso de tratamiento, diversas características que se deben tomar en cuenta para evitar que afecten afectar su comportamiento mecánico dentro de un sistema estructural. Las más importantes son (de Chile, 1964):

#### Irregularidades naturales

1. **Mohos:** Hongos presentes en las fibras de la madera por consecuencia de la temperatura y altos índices de humedad. Se puede cepillar y eliminar, pero si no se toma en cuenta a tiempo este puede podrir la pieza y producir que esta falle.
2. **Nudos:** Estas son las desviaciones de las fibras de la pieza de madera en las que se encontraban las ramas del árbol acerrado. Estas pueden ser descritas por su tamaño y cantidad, pero los más importantes son los nudos circulares y cónicos. La primera presenta una forma oval y se encuentra en sentido transversal; mientras que la segunda, tiene forma alargada y se encuentra en sentido longitudinal. Si no se toma precauciones puede afectar al comportamiento mecánico de la pieza.
3. **Rayos de resina:** Es el exceso de resina acumulado en la madera.
4. **Bolsillos:** Es la separación entre los anillos de crecimiento. La pieza debe ser descartada si esta separación es demasiado grande o existe el efecto de rayos de resina.

#### Irregularidades de manufactura

1. **Luz solar:** Se produce por la descomposición del sistema celular de la madera expuesta a radiación ultravioleta prolongada. Este proceso se puede acelerar si también es expuesto a lluvias constantemente. El desgaste de la madera se puede observar fácilmente en su superficie, ya que encontraremos agrietamientos en dirección de las fibras y pérdida de color.
2. **Humedad atmosférica:** La madera al ser un material higroscópico es susceptible a los cambios de humedad en el ambiente. Este lleva a que la madera tienda a incharse y contraerse en temporadas húmedas y secas respectivamente. Si no se tiene el debido cuidado esto provoca que a largo plazo la capa superficial presente un desgaste mecánico y se deteriore visualmente.
3. **Efecto hielo-deshielo:** Si la madera cuenta con agua dentro de sus fibras este puede congelarse y producir un aumento en el volumen de la misma. Si no se toma en cuenta a tiempo la repetición de este efecto lleva a la reducción de la resistencia. Cabe mencionar que este fenómeno solo ocurre en lugares con climas demasiado fríos.

## 1.3. Normativa

### 1.3.1. Normativa nacional

El sector de la construcción en Ecuador se maneja bajo la normativa dada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción o también conocida por sus siglas NEC, esta como su nombre indica norma los diversos sistemas constructivos que se pueden usar en el país. Dentro de esta podemos encontrar la norma NEC-SE-MD, centrada en las definiciones, características, técnicas de tratamiento y datos de diseño para estructuras de madera, mismas que toman de referencia a documentos de la JUNAC como el “Manual de diseño para maderas del Grupo Andino” y normas establecidas por la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM en inglés) y la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT).

### 1.3.2. Categorización de la madera según su densidad

En la actualidad, la NEC categoriza 105 especies de madera estructural agrupándolas en tres categorías según su densidad básica (Tabla 1.4) para determinar su comportamiento mecánico (Tabla 1.5 y Tabla 1.6). Para lograr identificar el grupo al que pertenece una especie es necesario recurrir a la ficha técnica proporcionada por la JUNAC o a su vez hacer uso de investigaciones realizadas por la Universidad de Medellín o similares (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014).

Tabla 1.4: Categorías de madera según su densidad

GRUPO	DENSIDAD BÁSICA (g/cm <sup>3</sup> )	DESCRIPCIÓN
A	0.71 – 0.90	<i>Especies de madera con una densidad alta consideradas como “Maderas duras”</i>
B	0.56 - .0.70	<i>Especies de madera con una densidad media consideradas como “Maderas semiduras”</i>
C	0.40 – 0.55	<i>Especies de madera con una baja densidad consideradas como “Maderas suaves”</i>

Fuente: *Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014*

Elaboración: Autores

Tabla 1.5: Esfuerzo admisible para madera

<b>ESFUERZO ADMISIBLES (kg/cm<sup>2</sup>)</b>					
<b>Grupo</b>	<b>Flexión</b>	<b>Tracción paralela</b>	<b>Compresión paralela</b>	<b>Compresión perpendicular</b>	<b>Corte paralelo</b>
	$f$	$f$	$f$	$f_{\perp}$	$f$
<b>A</b>	210	145	145	40	15
<b>B</b>	150	105	110	28	12
<b>C</b>	100	75	80	15	8

Fuente: *Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014*

Elaboración: Autores

Tabla 1.6: Módulo de elasticidad para la madera

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>Grupo</b>	$E$	$E$
<b>A</b>	95000	130000
<b>B</b>	75000	100000
<b>C</b>	55000	90000

Fuente: *Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014*

Elaboración: Autores

Estos datos representan un factor importante para la selección de la madera, ya que estos designan el uso que se le podrá dar a la misma. Cabe mencionar que, como se dijo en la sección 1.2.3, la densidad básica del *Pinus radiata*, según la JUNAC, es de 39 g/cm<sup>3</sup>, lo cual la sitúa fuera de la clasificación establecida en la Tabla 1.4 y por consecuencia, de las tablas de comportamiento mecánico (Tabla 1.5 y Tabla 1.6).

En el campo práctico, esto podría conducir a confusiones en la elaboración de predimensionamientos o cálculos de diseños estructurales.

### 1.3.3. Normativa internacional

Tabla 1.7: Módulo de elasticidad para la madera

<b>NOMBRE</b>	<b>SIGLAS</b>	<b>IMPACTO</b>
<b>Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales</b>	ASTM (inglés)	Norteamérica
<b>Comisión Panamericana de Normas Técnicas</b>	COPANT	Panamericana
<b>Junta del Acuerdo de Cartagena</b>	JUNAC	Grupo Andino

Elaboración: Autores

En la Tabla 1.7 se lista las diferentes organizaciones que referencia la NEC, ya que han tenido un impacto importante para la elaboración de la normativa ecuatoriana de

madera. Organizaciones como la COPANT y JUNAC, en Latinoamérica, y la ASTM en Estados Unidos, establecen los estándares para un uso estructural certificado. Esto ha logrado facilitar la gestión de diseño dentro del sector constructivo de cada país, como se puede evidenciar en la NEC, que basa muchos de sus capítulos en normas y estudios establecidos por estas organizaciones.

Sin embargo, los datos que sugiere la NEC no representan la realidad dentro del contexto local. La razón se debe a que los ensayos se llevaron a cabo con especímenes de madera en condiciones climatológicas y geográficas diferentes, por lo tanto, los datos serán distintos. Esto ha llevado a que los valores descritos en documentos como el de la JUNAC queden relegados como sujeto de estudio y guías básicas para el diseño.

## **1.4. Antecedentes de caracterización físico-mecánica en Latinoamérica**

En el caso de Latinoamérica el crecimiento exponencial de la población ha llevado a sistemas como el hormigón y metal sean tomados en cuenta debido a la gran rentabilidad que estos generan, pero estudios revelan como la únicamente la producción de hormigón representa entre el 4-5 % del CO<sub>2</sub> mundial (Watts, 2019). Debido a esto, países como Chile han tomado la decisión de usar el sistema constructivo de madera como un actor importante frente a esta problemática social y ambiental, siendo su mayor prioridad las especies con el menor tiempo de crecimiento garantizando un desarrollo constructivo sostenible (Rodríguez y Vergara, 2008).

Pero, al existir una falta de fiabilidad de datos técnicos sobre la madera, provocó que dentro de Latinoamérica se tome la iniciativa de caracterizar las especies plantadas bajo su propio contexto (Trelles, n.d), tomando en consideración normativas internacionales. Un claro ejemplo de caracterización local es la normativa europea UNEN EN 338, misma que contiene un amplio rango de categorías para ubicar y determinar el comportamiento físico-mecánico de las maderas estructurales (Figura 1.8). Esto es debido a que los comportamientos mecánicos de la madera pueden variar dependiendo del proceso de crecimiento que este haya tenido, tratamiento y posibles acciones tomadas durante el proceso de aserrado.

Tabla 1.8: Tabla de clasificación mecánica UNEN EN 338

		Clasificación mecánica UNE EN 338																	
		Especies coníferas y chopo										Especies frondosas							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Propiedades resistentes en N/mm<sup>2</sup></b>																			
<i>Flexión</i>	$f_{L1}$	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00	24,00	27,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	30,00	35,00	40,00	50,00	60,00	70,00
<i>Tracción paralela</i>	$f_{L1}$	8,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	16,00	18,00	21,00	24,00	27,00	30,00	18,00	21,00	24,00	30,00	36,00	42,00
<i>Tracción perpendicular</i>	$f_{L2}$	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
<i>Compresión paralela</i>	$f_{L1}$	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	25,00	26,00	27,00	29,00	23,00	25,00	26,00	29,00	32,00	34,00
<i>Compresión perpendicular</i>	$f_{L2}$	2,00	2,20	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,10	3,20	8,00	8,40	8,80	9,70	10,50	13,50
<i>Cortante</i>	$f_{L3}$	1,70	1,80	2,00	2,20	2,40	2,50	2,80	3,00	3,40	3,80	3,80	3,80	3,00	3,40	3,80	4,60	5,30	6,00
<b>Propiedades de rigidez en kN/mm<sup>2</sup></b>																			
<i>Mód. Elasticidad paralelo medio</i>	$E_{L100}$	7,00	8,00	9,00	9,50	10,00	11,00	12,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	10,00	10,00	11,00	14,00	17,00	20,00
<i>Mód. Elasticidad paralelo 5° percentil</i>	$E_{L5}$	4,70	5,40	6,00	6,40	6,70	7,40	8,00	8,00	8,70	9,40	10,00	10,70	8,00	8,70	9,40	11,80	14,30	16,80
<i>Mód. Elasticidad perpendicular medio</i>	$E_{L200}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
<i>Módulo de cortante medio</i>	G	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
<b>Densidad en Kg/m<sup>3</sup></b>																			
<i>Densidad característica</i>	$P_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
<i>Densidad media</i>	$P_{med}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080

Fuente: UNE, 2012

Elaboración: Autores

## 1.5. Determinación de comportamientos físico-mecánicos

Para obtener una ficha técnica que refleje datos del comportamiento físico-mecánico de la madera acorde al contexto, se debe llevar a cabo la ejecución de ensayos en probetas pertenecientes a especímenes de la localidad. Estos ensayos tomarán en cuenta normativa referenciada por la NEC, además de incluir otras como la Norma Chilena Oficial. En la figura presentada a continuación se muestra la normativa a aplicarse.

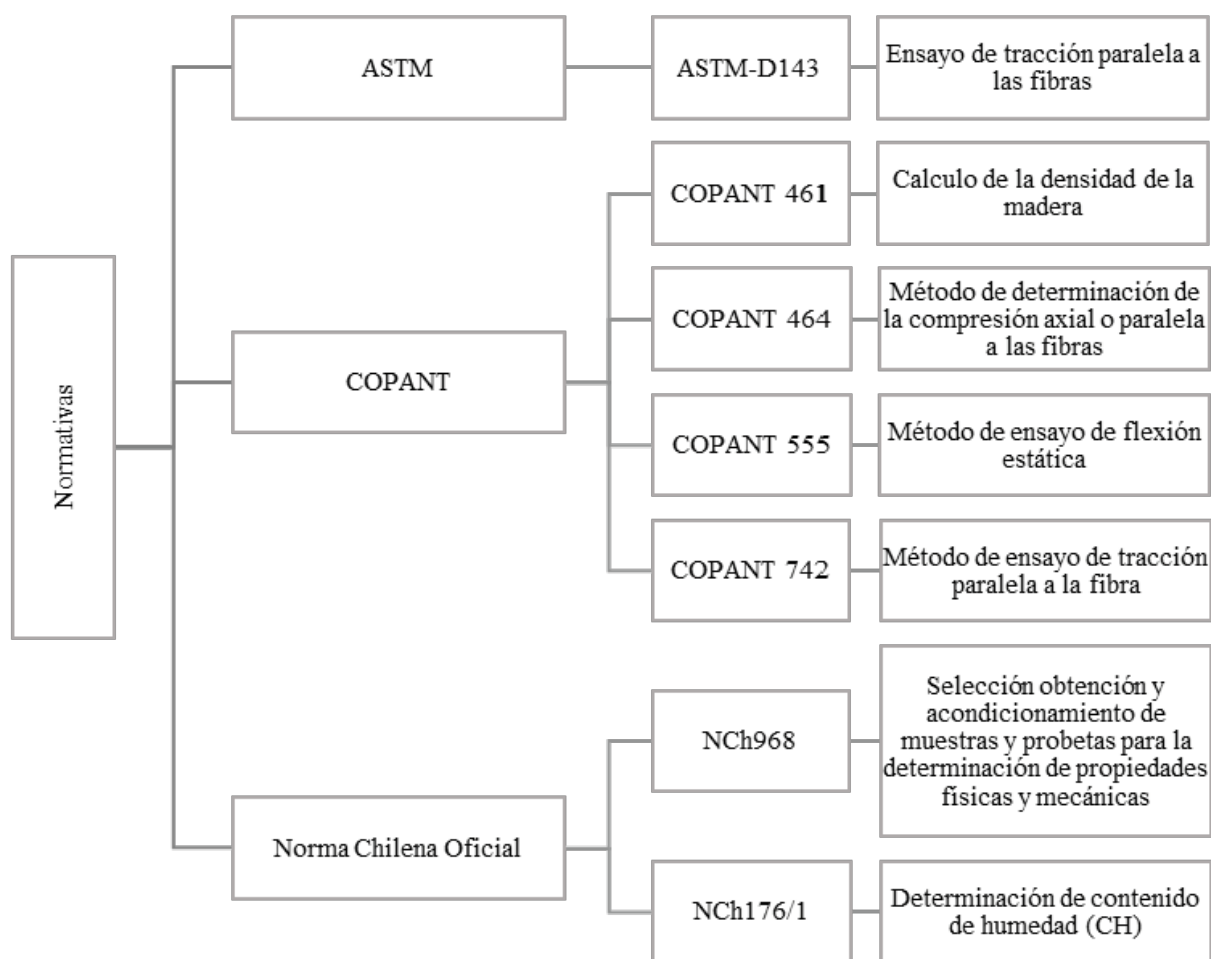


Figura 1.2: Normativa para el ensayo de probetas en madera

Fuente: JUNAC, 1972

Elaboración: Autores

## 1.6. Características físicas de la madera

Podemos definir características físicas como todas las singularidades observables que presenta una determinada forma. En el caso de la madera, y dentro del sector de la construcción, se encuentran características específicas que permiten determinar comportamientos. Las siguientes definiciones se las puede encontrar en la publicación de la JUNAC, “Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Ecuador” (JUNAC, 1981), y también en documentación de la Corporación Chilena de la Madera del año 2004, estas son (CORMA, 2004):

- Contenido de Humedad:** Se refiere a la cantidad de kilos de agua por cada 100kg de madera expresada en porcentaje. En el caso del *Pinus Radiata*, este porcentaje puede ir desde el estado anhidro al estado verde, representados por un CH del 0% y mayor al 30% respectivamente.

- **Densidad:** Relación masa - volumen que puede variar dependiendo del contenido de humedad (CH). Por ello, la madera puede tener una densidad anhidra para una madera completamente seca, densidad normal con un CH=12%, densidad básica para madera con una masa anhidra y un volumen en estado verde con CH=30% o mayor, densidad nominal para madera con masa anhidra y volumen con CH=12% considerándose como madera seca, y, por último, densidad de referencia para una relación masa - volumen con igual contenido de humedad.
- **Contracción de la madera:** Es el resultado de la pérdida de agua en las paredes celulares de la madera, por lo tanto, las dimensiones disminuyen en los ejes tangencial, radial y longitudinal.

## 1.7. Características mecánicas de la madera

A diferencia de la isotropía u homogeneidad del acero, una característica muy importante de la madera es su anisotropía, factor que determina su comportamiento dependiendo del plano o eje con respecto a las fibras (Figura 1.3), por tanto, las características o propiedades mecánicas son las que determinan la resistencia frente a cargas externas aplicadas en un eje específico. Dentro del ámbito de la construcción representan un factor importante, ya que gracias a estas, es posible realizar los respectivos cálculos para el diseño y función de cualquier proyecto constructivo. Enfocándose en el predimensionamiento, las características a tomar en cuenta se establecen en la Tabla 1.9.

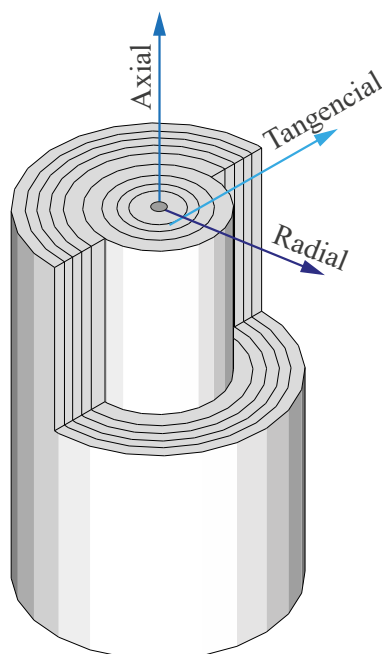
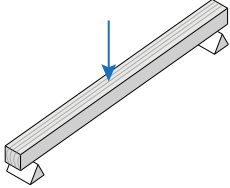
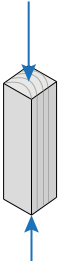
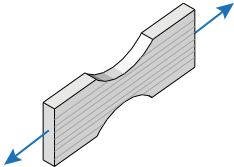


Figura 1.3: Direcciones o ejes de la madera

Fuente: CORMA, 2004

Elaboración: Autores

Tabla 1.9: Propiedades mecánicas de la madera

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA			
Nombre	Imagen	Descripción	Factores que determina
<b>Flexión estática</b>		Es la resistencia a una fuerza aplicada en la mitad de la luz de una viga, generalmente perpendicular a las fibras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esfuerzo en el límite de proporcionalidad.</li> <li>- Módulo de elasticidad.</li> <li>- Módulo de rotura.</li> </ul>
<b>Compresión paralela a las fibras.</b>		Es la resistencia a una fuerza aplicada dirección paralela a las fibras, aplicable para columnas, determinando un límite de proporcionalidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esfuerzo en el límite de proporcionalidad.</li> <li>- Módulo de elasticidad.</li> <li>- Módulo de rotura.</li> </ul>
<b>Tracción paralela a las fibras</b>		Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esfuerzo en el límite de proporcionalidad.</li> <li>- Módulo de elasticidad.</li> <li>- Módulo de rotura.</li> </ul>

Fuente: CORMA, 2004

Elaboración: Autores

## 1.8. Predimensionamiento por esfuerzos admisibles

### 1.8.1. Predimensionamiento para vigas

Para determinar el cálculo de predimensionamiento de vigas se aplicaron las formulas proporcionadas por la "Guía práctica para el diseño de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC 2015", donde se especifican condiciones para la resistencia a flexión como (NEC, 2015):

$$\sigma_m < f_m \quad (1.1)$$

Donde:

- $\sigma_m$ : esfuerzo máximo en  $kgf/m^2$
- $f_m$ : esfuerzo máximo admisible a flexión en  $kgf/m^2$

Esto establece que el esfuerzo máximo generado en una pieza sometida a flexión debe

ser menor al esfuerzo admisible. La fórmula para el cálculo del esfuerzo máximo es la siguiente:

$$\sigma_m = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2} \quad (1.2)$$

Donde:

- $\sigma_m$ : esfuerzo máximo en  $kgf/m^2$
- $M$ : momento flector máximo
- $b$ : base de la viga en  $m$
- $h$ : altura de la viga en  $m$

Para el cálculo de momento flector se aplica la siguiente ecuación:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8} \quad (1.3)$$

Donde:

- $q$ : carga uniformemente distribuida en  $kg/m$
- $L$ : luz de la viga en  $m$

Por lo tanto, reemplazando la ecuación de momento flector máximo (1.3) en la ecuación (1.2) y haciendo uso del esfuerzo admisible para el grupo de madera seleccionado y considerando vigas de sección rectangular con  $b=h/2$ , es posible despejar  $h$ , que permite conocer la sección mínima para el elemento a flexión, aplicando la siguiente fórmula:

$$h = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot q \cdot L^2}{2 \cdot \sigma_{adm}}} \quad (1.4)$$

Donde:

- $\sigma_{adm}$ : esfuerzo admisible para flexión estática en  $kgf/m^2$

## 1.8.2. Predimensionamiento para columnas

Al igual que para elementos a flexión, es posible predimensionar a través del diseño por esfuerzos admisibles (NEC, 2015). En el caso de elementos a compresión paralela o

axial a la fibra, se toma en cuenta la relación de esbeltez, representada en la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{d} \quad (1.5)$$

Donde:

- $\lambda$ : relación de esbeltez
- $l_{ef}$ : longitud efectiva de la columna en *cm*
- $d$ : dimensión del lado de la columna considerado, en *cm*

El resultado determina la clasificación de la columna dependiendo de las condiciones presentadas a continuación en la Tabla 1.10

Tabla 1.10: Clasificación de columnas

<b>CLASIFICACIÓN DE COLUMNAS</b>	
<b>Cortas</b>	$\lambda < 10$
<b>Intermedias</b>	$10 < \lambda < C_k$
<b>Largas</b>	$C_k < \lambda < 50$

*Fuente: NEC, 2015*

*Elaboración: Autores*

Sin embargo, la relación de esbeltez tiene un límite, que depende del grupo de la clasificación de la madera estructural. Esta relación máxima se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad (1.6)$$

Donde:

- $C_k$ : relación de esbeltez máxima
- $E$ : módulo de elasticidad del grupo estructural en  $kg/cm^2$
- $f_c$ : esfuerzo admisible para compresión paralela a la fibra en  $kg/cm^2$

Con los resultados de las ecuaciones anteriores, se procede a determinar la carga admisible de la columna, misma que siempre deberá ser mayor a la carga total aplicada en el proyecto. Dicha carga admisible se obtiene a partir las siguientes fórmulas según la clasificación de la columna:

a. **Columnas cortas:**

$$N_{adm} = f_c \cdot A \quad (1.7)$$

b. **Columnas intermedias:**

$$N_{adm} = f_c \cdot A \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right) \quad (1.8)$$

c. **Columnas largas:**

$$N_{adm} = 0.329 \frac{E \cdot A}{\lambda^2} \quad (1.9)$$

Donde:

- $N_{adm}$ : carga admisible en  $kg$
- $E$ : módulo de elasticidad del grupo estructural en  $kg/cm^2$
- $A$ : área de la sección transversal de la columna en  $cm^2$
- $f_c$ : esfuerzo admisible para compresión paralela a la fibra en  $kg/cm^2$
- $C_k$ : relación de esbeltez máxima
- $\lambda$ : relación de esbeltez

## 1.9. Resumen

En base a la investigación realizada se puede observar varios puntos importantes entorno a la normativa y comercialización de la madera aserrada de *Pinus radiata* en la ciudad de Cuenca. Se puede rescatar la existencia de una normativa nacional básica y falta de control de calidad en comparación a entidades internacionales que han profundizado el tema. De esta manera, se considera fundamental caracterizar nuevamente las especies maderables comercializadas en la ciudad, tomando en cuenta las normativas relacionadas a ensayos físico – mecánicos con el objetivo de actualizar la base de datos aplicada hasta el momento.

## Análisis Experimental

En el siguiente capítulo se determinarán tres factores básicos para el predimensionamiento estructural, estos son: compresión paralela a la fibra, flexión estática y tracción paralela a la fibra en madera aserrada de *Pinus radiata*. En este se detalla el proceso que se llevó a cabo para cada uno de ellos y se presenta los resultados obtenidos de los mismos. Finalmente, por medio de estos ensayos experimentales, se entenderá de mejor manera el comportamiento mecánico de la madera de *Pinus radiata* comercializada en la ciudad de Cuenca.

### 2.1. Selección de muestras

Para la selección de los sujetos de estudio se toma como referencia a la norma chilena NCh968. Maderas – 'Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas', misma fue realizada en concordancia con la norma COPANT 458: 'Maderas – Selección y recolección de muestras'. En ella se establece una cantidad mínima de 5 árboles extrayendo 4 muestras de cada uno con la finalidad de conocer las variaciones en diferentes partes del tronco.

Debido a la poca accesibilidad a especímenes sin talar, la toma de muestras se basa en los productos aserrados disponibles en los locales comerciales vinculados a la venta de madera. Estos locales comerciales, en su mayoría, recepta madera a proveedores encargados del aserrío en bosques dentro de la provincia del Azuay y también de Cañar. Por lo tanto, su transporte desde el bosque hasta el depósito de madera o local comercial se controla mediante guías de movilización otorgadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería. En estos documentos se especifica la especie maderable al igual que las dimensiones y la cantidad del producto aserrado (Figura 2.1). Es indispensable verificar el nombre de la especie, en este caso *Pinus Radiata*, con el fin de obtener las muestras de madera correcta, ya que evidentemente la venta de la madera de pino se comercializa sin importar su especie, motivo que destaca lo descrito en la problemática de la investigación.

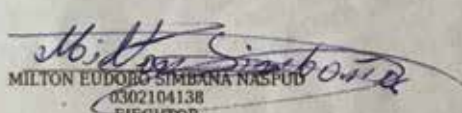
Origen		Destino							
<b>Propietario</b>		<b>Industria Forestal</b>							
Nombres y Apellidos:	NASPUD SALTO SEGUNDO LUIS BENIGNO	Nombre Sucursal:	- Sucursal - 1						
Razón Social:	NASPUD SALTO SEGUNDO LUIS BENIGNO	Razón Social:	LEON DELGADO WILIAM ALEJANDRO						
R.U.C.:	0300471901	R.U.C.:	010017773001						
<b>Ejecutor</b>		Dirección:							
Nombres y Apellidos:	SIMBAÑA NASPUD MILTON EUDORO	AV. JAIME ROLDOS y COLON - A UNA CUADRA DEL REDONDEL DE LA GASOLINERA							
Razón Social:	SIMBAÑA NASPUD MILTON EUDORO	Teléfono:							
R.U.C.:	0302104138	Provincia:	AZUAY						
<b>Ubicación</b>		Cantón:	GUALACEO						
Provincia:	CAÑAR	Parroquia:	GUALACEO						
Cantón:	AZOGUES	<b>Datos Vehículo:</b>							
Parroquia:	TADAY	Color Vehículo:	BLANCO						
Sitio:	MACHICORRAL	Placa Vehículo:	ADO0347						
		Marca de Vehículo:	HINO						
		Tipo de Vehículo:	Camión						
Válida desde: 2022-10-27 12:00:00 hasta: 2022-10-27 17:00:00 tiempo en horas: 5									
DETALLE DE PRODUCTOS INGRESADOS									
N.	PRODUCTO	COD. ESPECIE	NOMBRE COMUN	LARGO	DIAMETRO/ ESPESOR	ANCHO	UNIDADES	VOLUMEN APROVECHADO	VOLUMEN MOVILIZADO
1	Aserrada dimensionada	28810	PINO (Pinus radiata)	3	0.13	0.13	2	0.2	0.1
2	Aserrada dimensionada	28810	PINO (Pinus radiata)	3	0.05	0.22	162	10.69	5.35
								TOTAL MOVILIZADO	5.45
Declaro que los datos en esta guía se apegan a la verdad y en caso contrario, asumo las responsabilidades legales conforme a los artículos 78 y 94 de la Codificación de la Ley Forestal y Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre.									
 MILTON EUDORO SIMBAÑA NASPUD 0302104138 EJECUTOR									

Figura 2.1: Extracto de guía de movilización para madera aserrada

Fuente y elaboración: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022

Para obtener un promedio más variado y cercano a la realidad, se tomaron al azar cinco tablones con dimensiones 0,22 x 0,05 x 3,00 m (Figura 2.2) correspondientes a la guía de movilización (Figura 2.1), descartando por medio de observación tablones que cuenten con características similares. Durante este proceso, se aseguró que la calidad del tablón sea similar a los estándares recomendados por la norma (INN, 1986), además de evitar defectos como: nudos, ramas, rajaduras, médula, etc. Cabe mencionar que las muestras seleccionadas han permanecido aproximadamente 4 meses en proceso de secado al aire libre, razón por la cual, las probetas destinadas a ensayos en estado verde, mismas que deben contener un porcentaje contenido de humedad mayor o igual al 30 % fueron sometidas a inmersión en agua hasta alcanzar una masa constante, factor que indica que la madera se ha saturado en su totalidad. (INN, 1986)



Figura 2.2: Guía de movilización para madera aserrada

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

## 2.2. Elaboración y acondicionamiento de muestras

Para la obtención de las muestras provenientes de los tablones aserrados se siguió el siguiente procedimiento:

### 2.2.1. Canteado de bordes

Consiste en la reducción de imperfecciones a lo largo del eje longitudinal del tablón con el fin de obtener cortes paralelos perfectos. Para ello, se hizo uso de una canteadora (Figura 2.3), misma que permite canteado o rebajar las imperfecciones y obtener cantos en un ángulo de  $90^\circ$ .



Figura 2.3: Selección, canteado y corte de madera para probetas

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

### 2.2.2. Corte

Se hizo uso de una sierra circular de mesa en la que se realizaron cortes transversales al tablón seleccionado para obtener tiras de 5 x 5 cm. Como resultado de cada tablón se obtuvieron cuatro tiras aproximadamente.

### 2.2.3. Cepillado

Una vez obtenidas las tiras, se prosiguió con el cepillado de las mismas (Figura 2.4) para lograr retirar todas las imperfecciones superficiales de las cuatro caras hasta alcanzar los 5 cm recomendados por la norma. De esta manera se obtiene una superficie más lisa en la madera que facilita visualizar posibles patologías omitidas durante la fase de selección inicial. Cabe mencionar que realizar este procedimiento ayuda que el comportamiento mecánico de la probeta sea estable durante los ensayos explicados más adelante en este capítulo.



Figura 2.4: Cepillado de madera para probetas

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

### 2.2.4. Extracción, identificación y acondicionamiento

Para obtener las probetas las cuatro tiras obtenidas por cada tablón, se hizo uso de una ingletadora (Figura 2.5) que permitió obtener ángulos rectos en los extremos de las probetas. Este proceso se realizó para cada tipo de probeta variando únicamente en la dimensión longitudinal que sugiere su respectivo ensayo estipulado por la COPANT.



Figura 2.5: Corte con ingletadora y obtención de probetas

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

Para asegurar la variabilidad de los resultados y alcanzar un muestreo más amplio, se dividió al tablón en cuatro cuadrantes y se codificó como se muestra en la Figura 2.6.

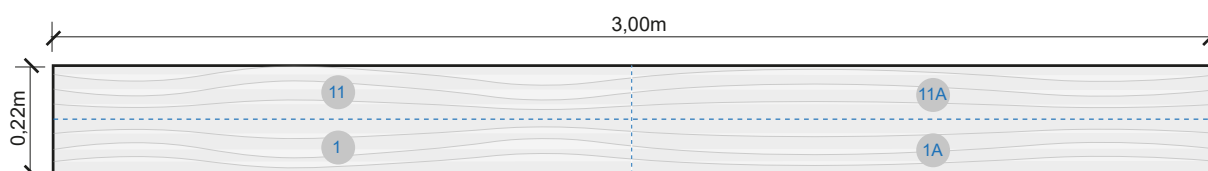


Figura 2.6: División de cuadrantes en el tablón

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

Una vez extraídas las probetas y codificadas, se procedió a mantenerlas en un ambiente seco y protegido de factores externos con la finalidad de preservarlas de la mejor manera posible y evitar alteraciones en el estado de la madera (contenido de humedad, hongos, torceduras, rajaduras, entre otras), hasta el momento del ensayo en laboratorio.

Para la selección de probetas en estado verde y estado seco (CH=12%) se estableció una selección como se muestra en la Figura 2.7, ampliando el margen de resultados.

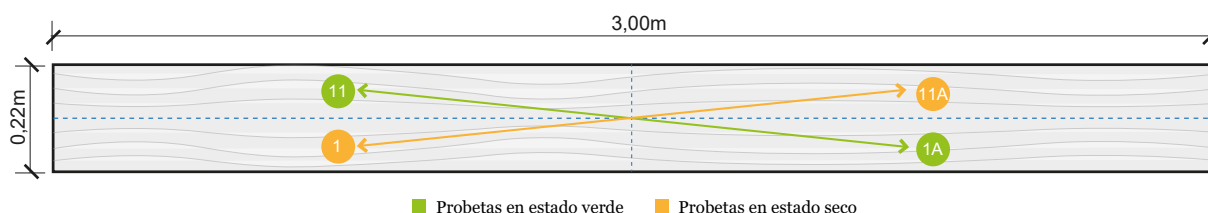


Figura 2.7: Selección de probetas según el cuadrante

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

De este proceso se obtuvo un total de 20 probetas libre de defectos para cada ensayo mecánico, diez probetas se mantuvieron en estado seco con un contenido de humedad

entre 12%-13% aproximadamente, y las diez restantes fueron sometidas a inmersión en agua libre de impurezas (Figura 2.8), hasta alcanzar un peso constante (INN, 1986), a fin de asegurar que las probetas alcancen el mayor porcentaje de contenido de humedad posible ( $CH \leq 30\%$ ) para destinarlas a ensayos en estado verde o saturado. Para confirmar dicho porcentaje, se usó un xilohigrómetro (Figura 2.9), un dispositivo que permite medir el contenido de humedad (CH) de la madera.



Figura 2.8: Inmersión de probetas en agua

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

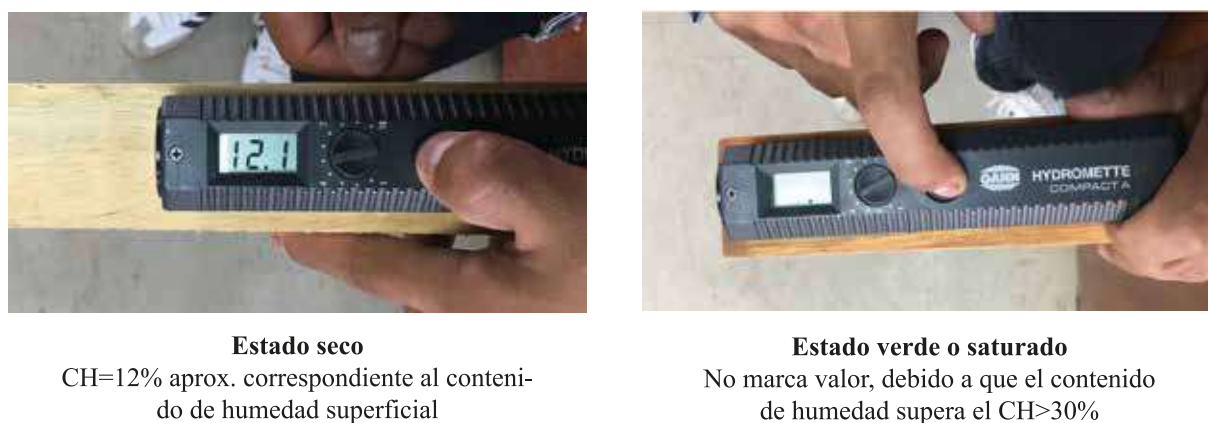


Figura 2.9: Medición de CH con xilohigrómetro

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

Cabe mencionar que las tiras que no fueron usadas se almacenaron en un espacio seco, con la finalidad de tener una reserva a la hora de elaborar las probetas o en el caso de que alguna probeta presente una patología o que su ensayo sea descartado.

## 2.3. Determinación de la compresión axial o paralela a la fibra

### 2.3.1. Elaboración y acondicionamiento de probeta

Siguiendo el procedimiento indicado en la sección 2.2.4, se prepararon las probetas con las dimensiones 5x5x20cm, obteniéndose un total de 20 probetas, procurando cumplir con las disposiciones de la norma, en la que se especifica una probeta libre de defectos.

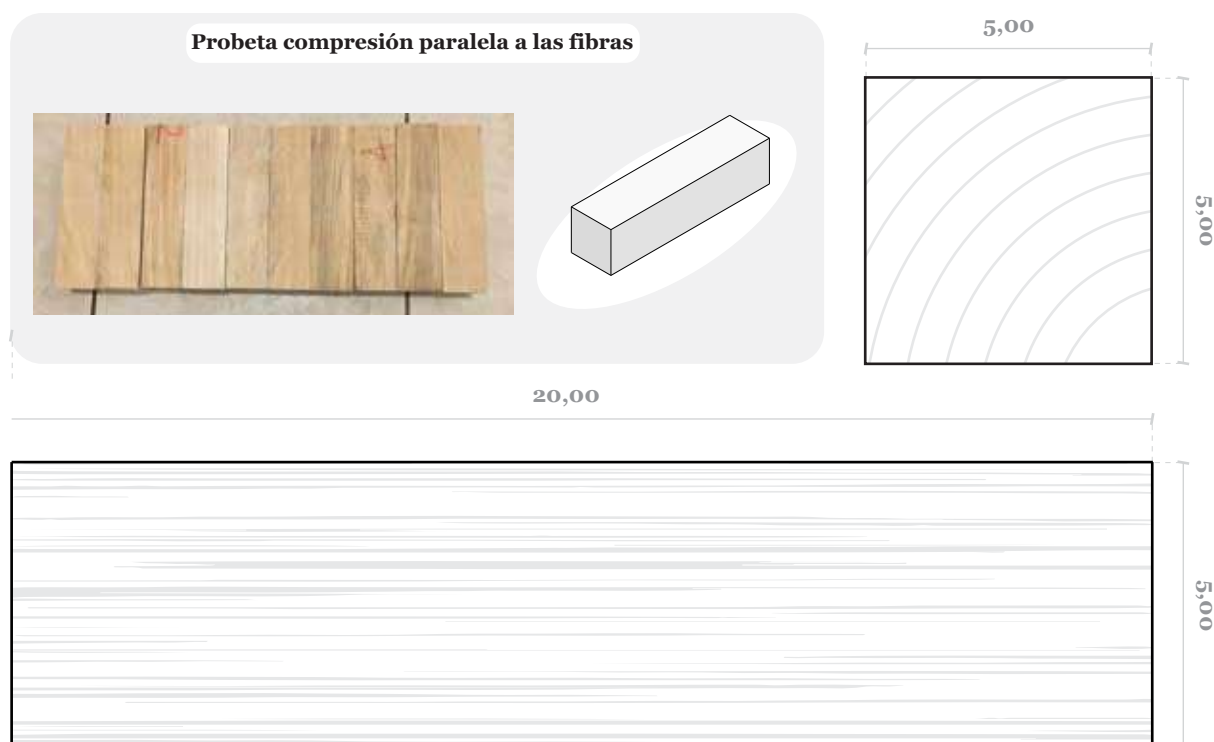


Figura 2.10: Dimensiones de probeta para ensayo a compresión paralela a las fibras

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

### 2.3.2. Metodología de análisis

La ejecución de estos ensayos se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica (CITT) perteneciente a la Universidad Católica de Cuenca. Siguiendo la norma COPANT 464. Las dimensiones de la probeta fueron tomadas con un calibrador vernier con una precisión de 0,001cm. La carga fue aplicada a una velocidad de 0,6mm/min ó 0,1kg/cm<sup>2</sup>/seg, misma que fue calibrada previo a los ensayos definitivos. El equipo utilizado para este ensayo se muestra en la Figura 2.11 presentada a continuación.



Figura 2.11: Máquina para ensayos a compresión

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

Este equipo permite obtener datos de carga y deformación inmediatos a través de sensores, estos datos son indispensables para generar el gráfico esfuerzo - deformación para cada una de las probetas (Figura 2.12), y con ello lograr obtener los valores de (COPANT, 1972c):

- a. **Módulo de rotura:** Se determina con la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{P}{S} \quad (2.1)$$

Donde:

- **MOR:** módulo de rotura medido en  $kgf/cm^2$
- **P:** carga máxima en  $kgf$
- **S:** área de la sección transversal de la probeta en  $cm^2$

- b. **Módulo de elasticidad:** se obtiene a partir del gráfico esfuerzo – deformación, determinando la carga en el límite de proporcionalidad y aplicando la siguiente fórmula:

$$MOE = \frac{P_1 \cdot l}{S \cdot d} \quad (2.2)$$

Donde:

- **MOE**: módulo de elasticidad medido en  $kgf/cm^2$
- **$P_1$** : carga en el límite de proporcionalidad en  $kgf$
- **$l$** : distancia en centímetros entre los apoyos
- **$S$** : área de la sección transversal de la probeta en  $cm^2$
- **$d$** : deformación en centímetros con la carga  $P_1$

c. **Esfuerzo en el límite de proporcionalidad**: se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$ELP = \frac{P_1}{S} \quad (2.3)$$

Donde:

- **$P_1$** : carga en el límite de proporcionalidad en  $kgf$
- **$S$** : área de la sección transversal de la probeta en  $cm^2$

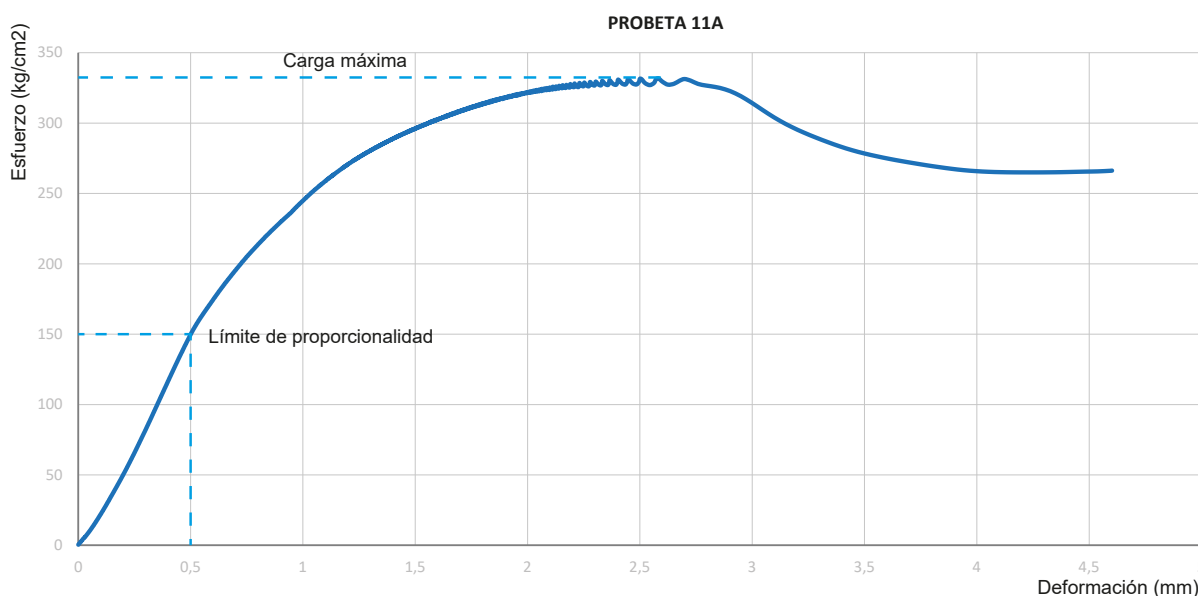


Figura 2.12: Gráfico esfuerzo - deformación de probeta

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

### 2.3.3. Cálculo de contenido de humedad y peso específico

Una vez concluidos los ensayos mecánicos, inmediatamente se procedió a realizar las probetas según establece el procedimiento de la COPANT 464, estas probetas consisten en prismas de 2cm de altura extraídos de la parte más cercana a los extremos de la probeta, obteniéndose así, una probeta de 5x5x2cm. Estas probetas permiten determinar el contenido de humedad y el peso específico que presentó la madera durante el ensayo

mecánico. Para ello, se aplicó el método que sugiere la COPANT para el cálculo del peso específico aparente básico o densidad básica (COPANT, 1972a) y la Norma Chilena NCh 176/1 para el cálculo del contenido de humedad (INN, 1984). El procedimiento se detalla a continuación:

$$\text{Peso específico básico } (PE_b) = \frac{P_a}{V} \quad (2.4)$$

Donde:

- $P_a$ : peso en gramos de la probeta anhidra
- $V$ : volumen de la probeta con contenido de humedad del momento del ensayo en  $cm^3$

$$\text{Contenido de humedad } (CH) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (2.5)$$

Donde:

- $m_1$ : masa inicial en gramos
- $m_2$ : masa anhidra en gramos

Cabe mencionar que, para realizar los cálculos correspondientes, las mediciones de las probetas se tomaron con un calibrador vernier con una precisión de 0,001cm. De la misma manera, los pesos fueron tomados con una balanza con una precisión de 0,01g. Por último, la temperatura del horno se ajustó a  $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  durante 24 horas. (Ver Figura 2.13)



Figura 2.13: Medición de probetas y secado en horno

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

### 2.3.4. Resultados

Partiendo de la obtención de datos de carga aplicada y deformación, se generaron los gráficos de esfuerzo – deformación (Figura 2.12), y con ello se llevó a cabo la ejecución de los cálculos correspondientes obteniendo los resultados registrados en la Tabla 2.1. Cabe mencionar que el CH para las probetas en estado seco mantienen un porcentaje superior al 12%, esta variación se debe a la humedad de equilibrio que se presenta en la localidad de Cuenca.

Tabla 2.1: Resultados para ensayos de compresión paralela a las fibras

ESTADO	IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	ELP (kgf/cm <sup>2</sup> )	CH (%)	PE (g/cm <sup>3</sup> )
VERDE	1A	165,38	6121,53	122,00	117,97	0,44
	11	172,42	9118,98	96,00	88,48	0,49
	2A	212,84	6448,21	158,66	60,89	0,50
	22	161,91	5697,05	117,17	105,80	0,42
	3A	133,59	7754,13	79,81	113,85	0,42
	33	169,25	4176,37	84,77	119,37	0,36
	4	179,20	5336,27	135,69	144,93	0,36
	44A	132,47	4714,24	70,19	108,97	0,44
	5A	164,30	6699,70	102,68	93,64	0,45
	55	200,50	8776,69	136,31	74,85	0,43
SECO	1	188,99	7573,29	128,75	18,56	0,40
	11A	331,77	14494,29	162,02	16,69	0,52
	2	348,60	11762,42	260,27	17,20	0,51
	22A	347,55	15081,28	214,72	15,36	0,47
	3	188,91	6095,77	114,84	18,23	0,40
	33A	202,01	6720,25	124,31	15,77	0,39
	4A	241,66	8243,04	148,13	16,68	0,46
	44	254,39	8789,61	156,60	14,71	0,37
	5	297,81	11377,92	193,68	15,91	0,50
	55A	299,05	16159,22	195,11	17,23	0,47

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

En la Figura 2.14 presentada a continuación se realiza una comparación entre los esfuerzos alcanzados por las probetas en estado seco y las probetas en estado verde. Se puede apreciar que las probetas en estado seco superan en resistencia a las probetas verdes,

sin embargo, las probetas verdes, son más susceptibles a la deformación antes de su falla. Esta información es fundamental para la determinación de esfuerzos admisibles, puesto que se tomará en cuenta los esfuerzos más desfavorables (JUNAC, 1984), es decir, los resultados de las probetas en estado verde.

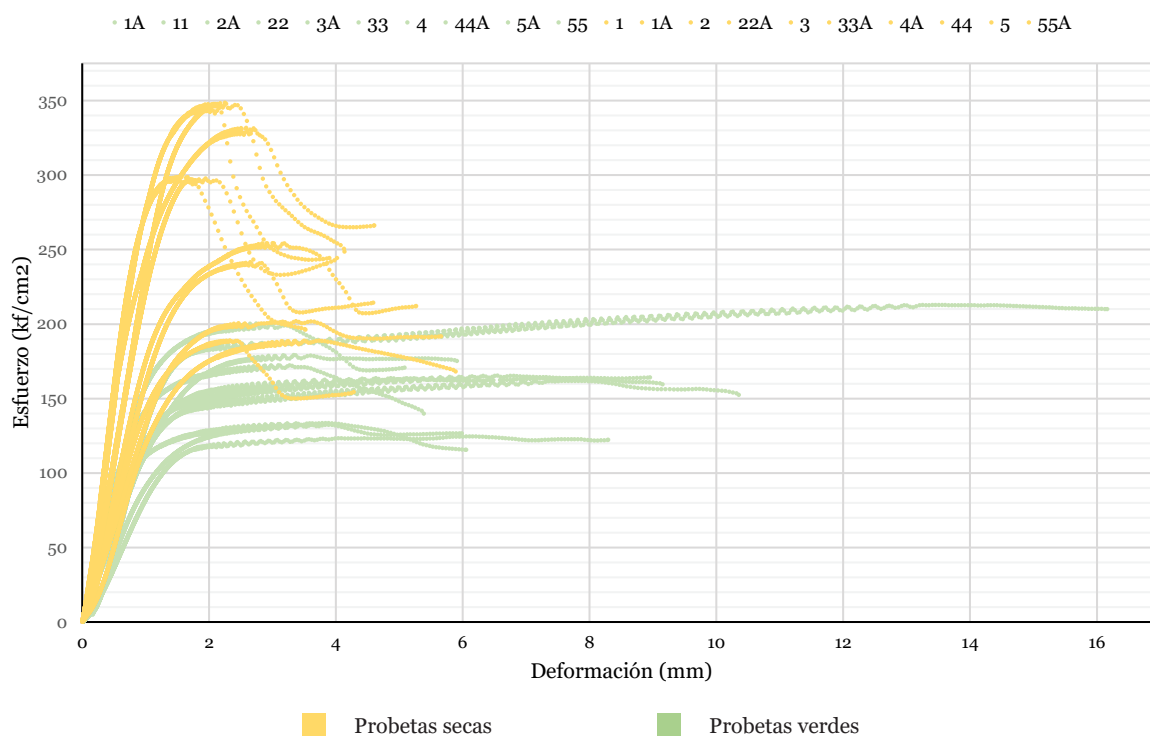


Figura 2.14: Gráfico esfuerzo-deformación de ensayos sometidos a compresión paralela a las fibras

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

## 2.4. Determinación de la flexión estática

### 2.4.1. Elaboración y acondicionamiento de probetas

Al igual que el método de determinación de la compresión axial o paralela a las fibras, se aplicó la norma COPANT 555 correspondiente al método de ensayo de flexión estática. Para la ejecución de este ensayo se extrajeron probetas de dimensiones  $5 \times 5 \times 75 \text{cm}$  de los especímenes mencionados anteriormente. De la misma manera, se realizó una elección al azar para probetas secas y verdes, considerando que exista un cruce entre cuadrantes.



Figura 2.15: Dimensiones de probeta para ensayo de flexión estática

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

## 2.4.2. Metodología de análisis

Estos ensayos se realizaron en otro equipo de ensayos a compresión de hormigón que fue adaptado (Figura 2.16), en este caso, un equipo que únicamente entrega los valores de la carga aplicada sobre la probeta, por lo tanto, se recurrió al uso de un deflectómetro para obtener el desplazamiento.

Para este ensayo, se ubicaron apoyos fijos a 35 cm del centro de la probeta hacia los extremos (Figura 2.16) según establece el procedimiento de la COPANT, seguido se aplicó la carga en la parte central de la probeta a una velocidad de 2,5mm/min. Los valores de la carga se tomaron cada 0,025 pulgadas de deflexión hasta después de la carga máxima soportada por la probeta a fin de lograr determinar el límite de proporcionalidad mediante el gráfico esfuerzo – deformación indicado en la Figura 2.12 (COPANT, 1972b).



Figura 2.16: Equipo de compresión de hormigón adaptado para ensayos a flexión

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

Este ensayo permitió determinar los siguientes valores con respecto a:

- a. **Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad:** para el cálculo del esfuerzo se aplica la siguiente fórmula:

$$ELP_f = \frac{3P_2 \cdot L}{2b \cdot h^2} \quad (2.6)$$

Donde:

- **$ELP_f$ :** esfuerzo unitario en límite de proporcionalidad en  $\text{kgf/cm}^2$
- **$P_2$ :** carga en el límite de proporcionalidad en  $\text{kgf}$
- **$L$ :** luz entre apoyos de la probeta en  $\text{cm}$
- **$b$ :** ancho de la probeta en  $\text{cm}$
- **$h$ :** altura de la probeta en  $\text{cm}$

- b. **Módulo de rotura:** para el cálculo se aplica la siguiente fórmula:

$$MOR_f = \frac{3P_m \cdot L}{2b \cdot h^2} \quad (2.7)$$

Donde:

- **$MOR_f$ :** módulo de rotura en  $\text{kgf/cm}^2$

- $P_m$ : carga máxima soportada por la probeta en kgf
- $L$ : luz entre apoyos de la probeta en cm
- $b$ : ancho de la probeta en cm
- $h$ : altura de la probeta en cm

c. **Módulo de elasticidad:** para el cálculo se aplica la siguiente fórmula:

$$MOE_f = \frac{3P_m \cdot L^3}{4 \cdot d_1 \cdot b \cdot h^3} \quad (2.8)$$

Donde:

- $MOE_f$ : módulo de elasticidad en kgf/cm<sup>2</sup>
- $d_1$ : deformación en el límite de proporcionalidad en cm
- $L$ : luz entre apoyos de la probeta en cm
- $b$ : ancho de la probeta en cm
- $h$ : altura de la probeta en cm

### 2.4.3. Cálculo de contenido de humedad y peso específico

Inmediatamente, se extrajo una sección de 2cm de altura cercana al lugar de la rotura de cada probeta ensayada, de esta manera se obtiene una probeta de 5x5x2cm. Estas pequeñas probetas se rigen al mismo procedimiento para los cálculos de contenido de humedad y peso específico mencionados en la sección 2.3.3.

### 2.4.4. Resultados

Tabla 2.2: Resultados para ensayos de flexión estática

ESTADO	IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	ELPf (kg/cm2)	EMf (kg/cm2)	MOEf (kg/cm2)	CH (%)	PE (g/cm3)
SECO	1	322,05	480,15	83674,52	21,08	0,48
	11A	204,87	291,04	52173,80	34,75	0,35
	2	452,96	772,05	130763,42	20,22	0,56
	22A	558,13	731,23	143560,86	19,41	0,51
	3	385,80	504,47	70881,05	16,36	0,38
	33A	225,50	382,10	52728,93	17,54	0,35
	4	292,66	550,01	57675,96	16,89	0,44
	44A	283,23	433,97	65965,87	17,35	0,34
	5A	327,68	526,37	70237,20	17,80	0,37
	55	338,28	790,99	67335,81	17,24	0,47

ESTADO	IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	ELPf (kg/cm <sup>2</sup> )	EMf (kg/cm <sup>2</sup> )	MOEf (kg/cm <sup>2</sup> )	CH (%)	PE (g/cm <sup>3</sup> )
VERDE	1A	180,89	270,01	38012,54	145,53	0,34
	11	108,55	624,59	45621,77	122,09	0,37
	2A	278,73	573,27	118306,29	134,23	0,35
	22	148,82	251,22	53093,38	52,57	0,52
	3A	100,44	215,71	51156,48	114,13	0,36
	33	111,07	229,80	46679,67	134,70	0,34
	4A	198,24	341,99	62488,34	178,97	0,34
	44	181,60	300,72	51387,80	177,06	0,34
	5	305,48	461,31	60442,37	105,62	0,43
	55A	162,24	243,12	45458,40	145,11	0,37

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

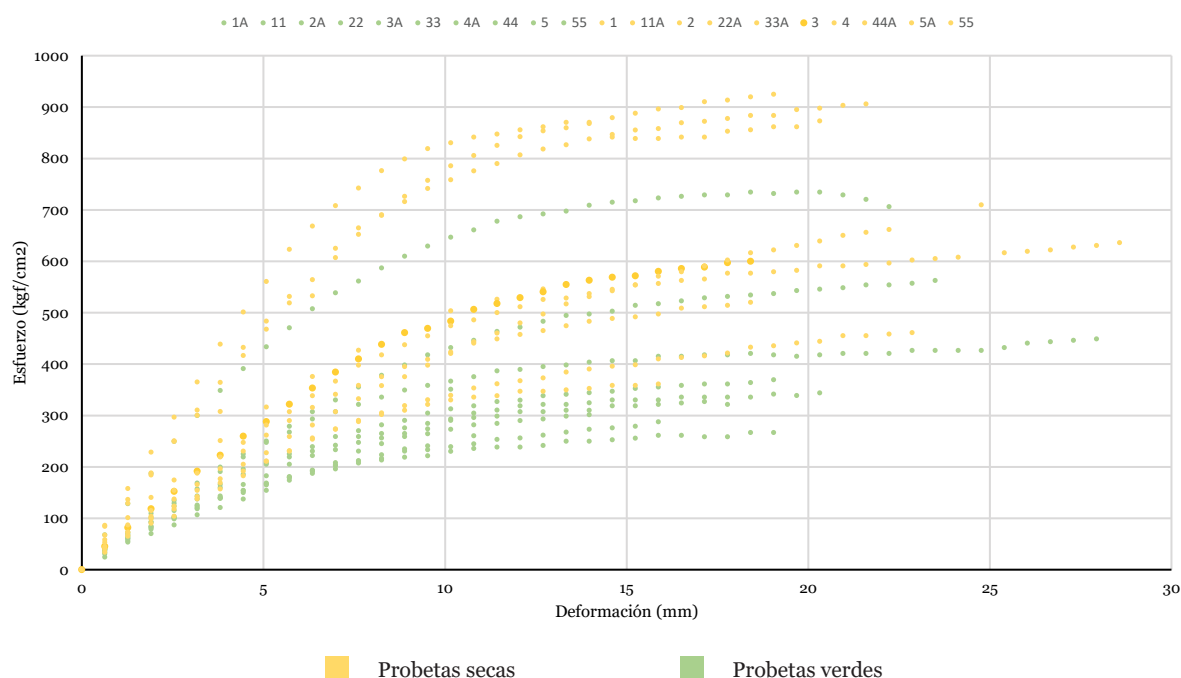


Figura 2.17: Gráfico esfuerzo-deformación de ensayos sometidos a flexión estática

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

## 2.5. Determinación de la tracción paralela a las fibras

### 2.5.1. Elaboración y acondicionamiento de probeta

Para la elaboración de la probeta de ensayos a tracción paralela a las fibras se aplicó la norma ASTM D143, misma que sirvió como guía para identificar patologías y determinar el estado en el que se debían encontrar las probetas. Siguiendo las recomendaciones dadas

por la norma ASTM D143, se elaboraron las probetas (Probeta A) (ASTM, 2014), misma que por sus dimensiones no se acoplaba a la mordaza del equipo de ensayo que contaba con una abertura máxima de 1,4cm (Probeta A). Debido a esto, se tomó la decisión de reducir el espesor de los extremos de la probeta a 1,20cm (Probeta B), cambiando de esta manera las dimensiones recomendadas con el objetivo de asegurar el agarre de la probeta, cabe mencionar que para este cambio se tuvo en cuenta que el espesor no altere la zona de ensayo de la misma. Este cambio en el diseño está representado en la Figura 2.18, presentada a continuación.

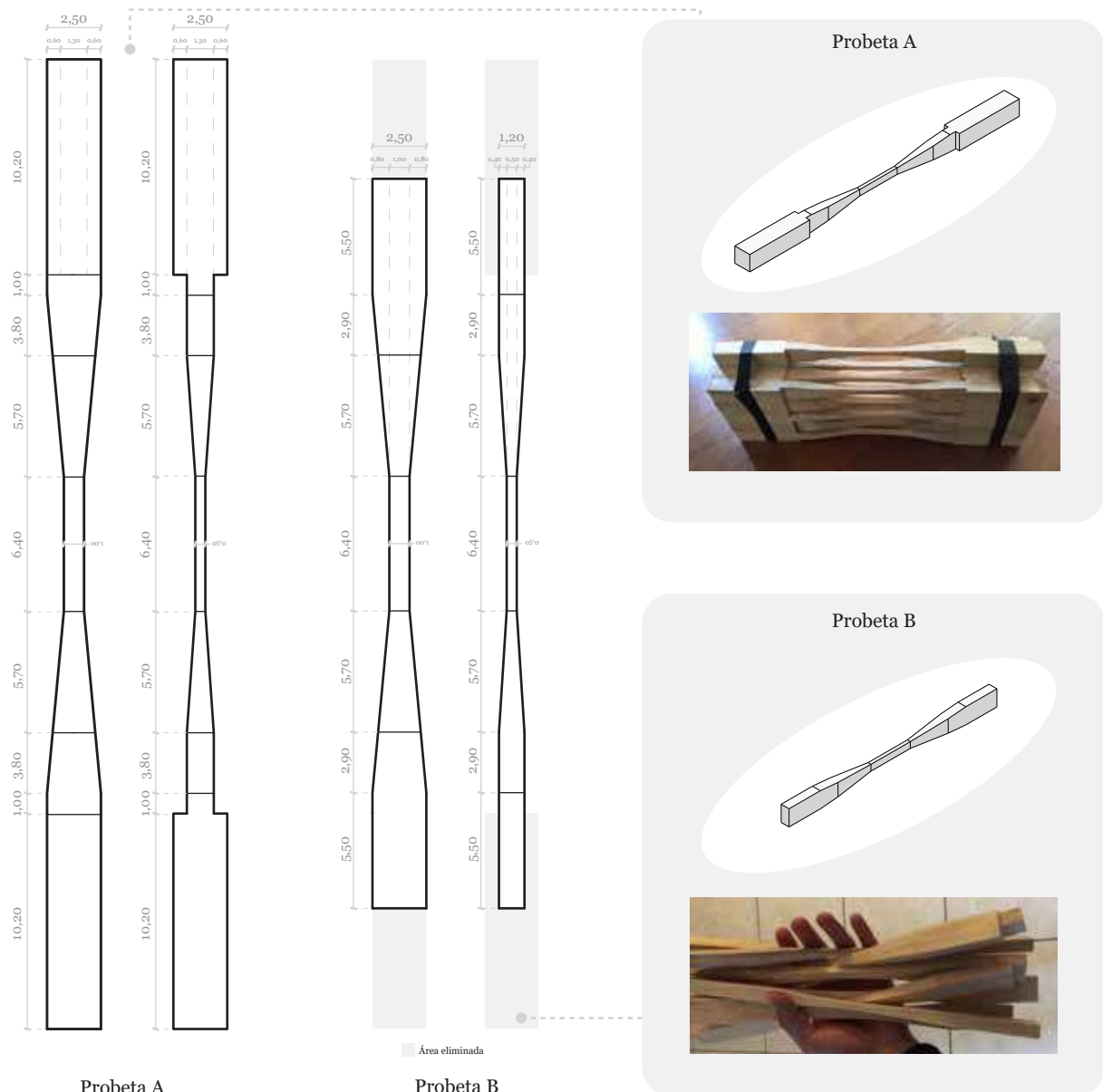


Figura 2.18: Dimensiones de probetas para ensayo de tracción paralela a las fibras

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

## 2.5.2. Metodología de análisis

La metodología usada para la elaboración de este ensayo fue la recomendada por la norma COPANT 742. Cabe mencionar que los ensayos fueron ejecutados en las instalaciones municipales de Innovacentro de la Madera y el Mueble, administrada por la Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico, con sus siglas EDEC-EP.

Una vez realizados los ajustes mencionados en el apartado 2.5.1 y al haber asegurado que el mismo no alteró la sección transversal mínima que establece la ASTM D143, se procedió a ubicar las probetas en el equipo, ajustando el desplazamiento del equipo a una velocidad de 1mm/seg +/-0.25mm, como lo estipula la COPANT 742 (2.19). Los datos obtenidos por el equipo fueron tomados en cuenta para la elaboración del diagramas esfuerzo – deformación y determinar el esfuerzo máximo.

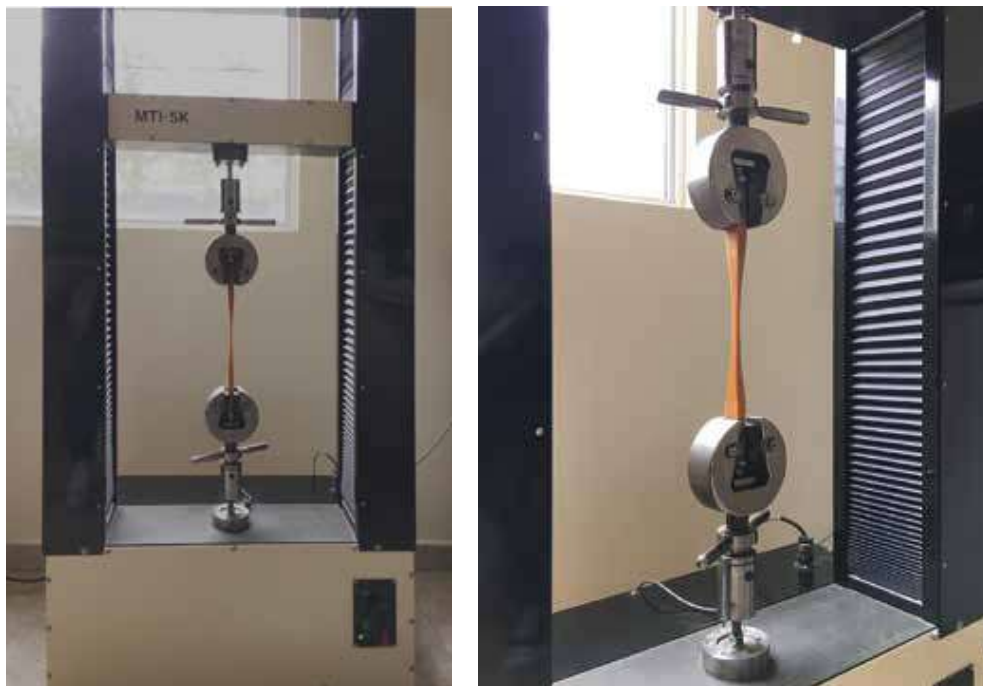


Figura 2.19: Equipo para ensayo a tracción paralela a las fibras

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

Los cálculos a determinar mediante este ensayo son los siguientes (COPANT, 1972d):

- a. **Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad:** para el cálculo del esfuerzo se aplica la siguiente fórmula:

$$ELP = \frac{P_1}{S} \quad (2.9)$$

Donde:

- **ELP**: esfuerzo unitario en límite de proporcionalidad en  $\text{kgf/cm}^2$
- **P<sub>1</sub>**: carga en el límite de proporcionalidad en  $\text{kgf}$
- **S**: área de la sección mínima de la probeta en  $\text{cm}^2$

b. **Módulo de rotura**: Se determina con la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{P}{S} \quad (2.10)$$

Donde:

- **MOR**: módulo de rotura medido en  $\text{kgf/cm}^2$
- **P**: carga máxima en  $\text{kgf}$
- **S**: área de la sección transversal mínima de la probeta en  $\text{cm}^2$

c. **Módulo de elasticidad**: Se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$MOE = \frac{P_2 \cdot l}{S \cdot d} \quad (2.11)$$

Donde:

- **MOE**: módulo de elasticidad  $\text{kgf/cm}^2$
- **l**: separación entre abrazaderas del extensómetro en  $\text{cm}$
- **S**: área de la sección transversal mínima de la probeta en  $\text{cm}^2$
- **d**: deformación de la probeta en  $\text{cm}$

Una vez la probeta llegaba a la rotura esta era embalada para preservar su contenido de humedad y

### 2.5.3. Cálculo del contenido de humedad y peso específico

Para el cálculo del contenido de humedad se siguió el procedimiento recomendado por la norma

### 2.5.4. Resultados

En base a los resultados obtenidos del ensayo, se determinaron los siguientes cálculos:

Tabla 2.3: Resultados para ensayos de tracción paralela a las fibras

<b>ESTADO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA</b>	<b>ELP</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>MOR</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>MOE</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>CH</b> (%)	<b>PE</b> (g/cm <sup>3</sup> )
<b>VERDE</b>	11A	246,11	370,39	7631,44	148,58	0,34
	2A	488,55	633,31	13517,63	71,01	0,41
	33A	265,50	315,42	13316,16	127,07	0,36
	4A	245,57	310,93	40937,17	108,43	0,29
	44	384,21	518,56	15857,02	38,52	0,42
	5	114,34	119,51	12152,79	175,00	0,31
	55A	92,96	134,72	18278,30	155,82	0,34
	6	120,14	161,50	17365,36	63,83	0,42
	66A	245,11	381,10	9463,34	30,80	0,42
	7	142,63	184,82	7967,22	71,65	0,44
	77A	223,41	433,09	30036,01	79,43	0,41
8	174,73	439,13	8834,27	75,36	0,39	
<b>SECO</b>	1A	254,47	818,17	29268,89	13,93	0,41
	11	351,36	873,99	56705,87	12,07	0,31
	2	223,69	358,68	10973,55	13,66	0,31
	22A	156,19	292,12	49908,73	12,37	0,32
	3A	229,73	262,14	23147,94	12,38	0,29
	33	388,84	531,34	36198,28	12,50	0,37
	4	595,42	783,01	19454,58	14,77	0,52
	44A	241,96	327,99	15340,05	13,81	0,38
	5A	322,85	445,00	20605,76	13,27	0,31
	55	230,96	540,05	24375,67	13,99	0,29

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

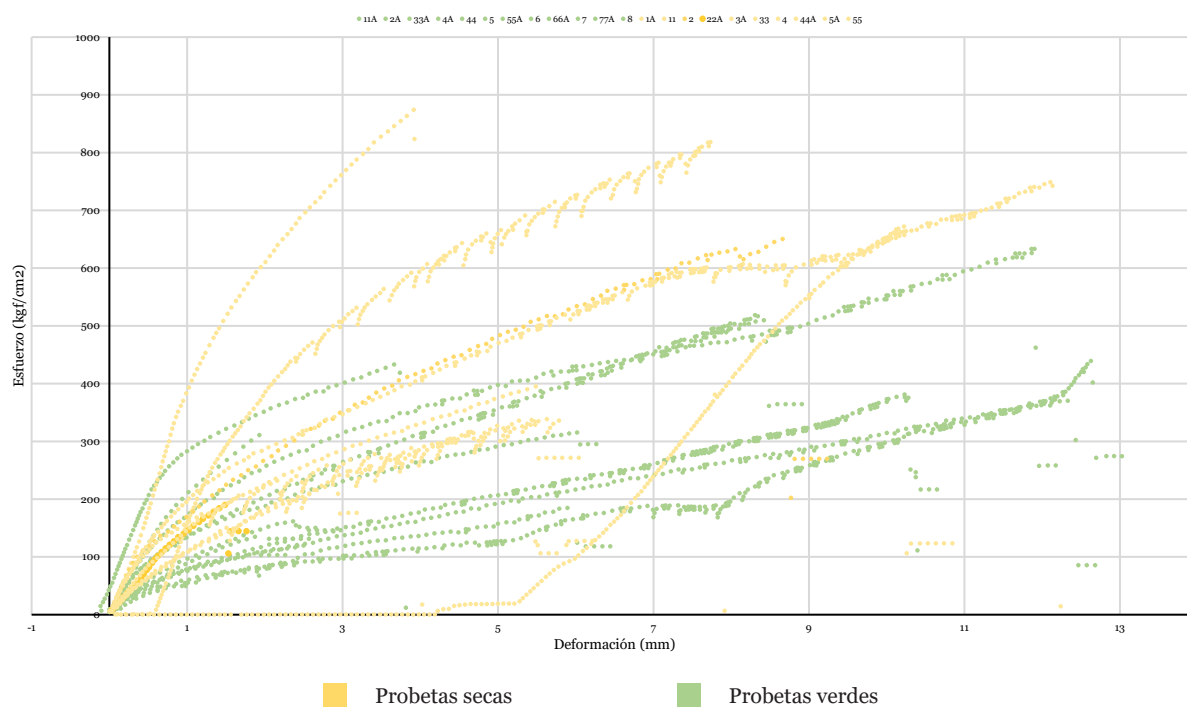


Figura 2.20: Gráfico esfuerzo-deformación ensayos de tracción paralela a las fibras

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

## 2.6. Resúmen

Los resultados obtenidos permitieron comprender de una manera más clara el comportamiento mecánico de la madera de *Pinus radiata*. Se puede destacar que las probetas en estado seco presentan una mayor resistencia mecánica en comparación a las probetas en estado verde. Esto refuerza la teoría del uso de madera seca para la conformación de estructuras.

En el siguiente capítulo, esta información permitirá generar los cálculos necesarios para establecer un modelo de predimensionamiento aplicando el método de esfuerzos admisibles, mismo que estará dirigido al diseño estructural de viviendas unifamiliares o tipologías similares.

En este capítulo se determina una tabla promedio de los resultados obtenidos de los tres ensayos mencionados en el capítulo anterior. Posteriormente, se describe la metodología a aplicarse para la elaboración de la herramienta de predimensionamiento y, de esta manera, proponer soluciones constructivas orientada a la tipología de vivienda unifamiliar.

### 3.1. Obtención de resultados promedio

Para la determinación de la media aritmética o valor promedio se recurrió al “Manual de diseño para maderas del Grupo Andino” de la JUNAC, mismo en el que se basa la NEC en su capítulo de maderas. Este documento establece una exclusión del 5 % en el límite inferior y superior del rango de probetas ensayadas. Para ello, los valores se ordenaron de forma creciente, estableciendo el valor del límite de exclusión como  $0.05N$ , donde  $N$  corresponde a la cantidad de probetas ensayadas, en este caso 20, obteniendo un total de una probeta descartada en ambos límites del rango (JUNAC, 1984).

Como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 3.1) se describen los resultados promedio obtenidos de los ensayos considerados como importantes para la elaboración de un predimensionamiento estructural de vigas y columnas. Estos describen la resistencia mecánica de la madera de *Pinus radiata* en estado seco y verde, siendo este último el estado que se toma en cuenta para la elaboración de un diseño estructural, debido a que se considera el estado más desfavorable de la madera. Cabe mencionar que se proporciona los datos de la madera en estado seco 17 % para conocimiento académico y posibles diseños, esto dependerá del criterio del diseñador.

Tabla 3.1: Tabla resumen de propiedades mecánicas de la madera de *Pinus radiata*

VALORES PROMEDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE <i>Pinus radiata</i>						
Pino Insigne	Condición	Flexión estática			Compresión paralela a la fibra	Tracción paralela a la fibra
		ELP Kg/cm <sup>2</sup>	MOR Kg/cm <sup>2</sup>	MOE Kg/cm <sup>2</sup>	MOR Kg/cm <sup>2</sup>	MOR Kg/cm <sup>2</sup>
<u>Pinus radiata</u>	Verde	171,27	333,93	52041,03	168,32	369,82
	Seco 17%	328,52	547,54	74907,84	270,40	442,54

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

## 3.2. Determinación de esfuerzos admisibles

En base a los resultados obtenidos a través de los ensayos físico-mecánicos tratados en el anterior capítulo, es posible determinar los esfuerzos admisibles necesarios para el predimensionamiento. La JUNAC, en su "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino", considera a estos esfuerzos como el producto entre factores de reducción (Tabla 3.2) y el esfuerzo último según su característica mecánica, estableciendo como esfuerzo último para:

- **Flexión estática:** módulo de rotura (MOR)
- **Compresión paralela a la fibra:** esfuerzo de aplastamiento ó módulo de rotura (MOR)
- **Tracción paralela a la fibra:** módulo de rotura (MOR)

Con estos valores es posible aplicar la siguiente fórmula:

$$Esfuerzo\ admisible\ (f) = \frac{F.C + F.T}{F.S + F.D.C} \cdot Esfuerzo\ último \quad (3.1)$$

Siendo los factores de reducción:

- F.C = reducción por calidad
- F.T = reducción por tamaño
- F.S = factor de servicio y seguridad
- F.D.C = factor de duración de carga

Tabla 3.2: Factores de reducción

<b>FACTOR</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>COMPRESIÓN PARALELA</b>
F.C	0,8	1
F.T	0,9	1
F.S	2,0	1,6
F.D.C	1,12	1,25

Fuente: JUNAC, 1984

Elaboración: Autores

Por lo tanto, aplicando los valores promedios de los esfuerzos últimos del estado más desfavorable, es decir, probetas en estado verde presentados en la Tabla 3.1, es posible determinar los esfuerzos admisibles para flexión estática y compresión paralela a la fibra. Sin embargo, en el "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino" no se especifica los factores de reducción para esfuerzos de tracción paralela a la fibra, no obstante, se establece un valor de esfuerzo admisible para dicha propiedad mecánica, mismo que es referenciado por la NEC.

Recurriendo a normativas internacionales, la ASTM D245, en su sección 4, establece como un principio básico que el esfuerzo para tracción paralela a la fibra corresponde al 55% del esfuerzo de flexión estática (ASTM, 1999). Por otro lado, con respecto a normativa latinoamericana, la Norma Chilena NCh1198 determina un valor del 60% del esfuerzo de flexión estática (INN, 2014). Para este caso se considerará el valor que sugiere la ASTM, al ser el valor más desfavorable debido a la falta de control de calidad en la localidad.

Dicho porcentaje sugerido para tracción paralela a la fibra, se debe a que los ensayos realizados corresponden a probetas libres de defectos, lo que maximiza su resistencia, sin embargo, al considerar elementos estructurales a tracción de madera aserrada, no existe posibilidad de garantizar que dichos elementos estén exentos de defectos, tales como, grietas, ojos, nudos, ramas, etc. Factores que reducen su resistencia considerablemente.

Finalmente, como resultado de los ensayos físico mecánicos de la madera aserrada *Pinus radiata*, los esfuerzos admisibles se presentan en la Tabla 3.3 presentada a continuación:

Tabla 3.3: Esfuerzos admisibles para *Pinus radiata*

ESFUERZOS ADMISIBLES (kg/cm <sup>2</sup> )				
Flexión estática		Compresión paralela a la fibra		Tracción paralela a la fibra
Verde	Seco	Verde	Seco	Verde
105	171	84	135	57

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

### 3.3. Determinación del módulo de elasticidad (MOE)

Para determinar el MOE normalmente se toma en cuenta los datos obtenidos de la curva de esfuerzo-deformación de los ensayos a compresión paralela a la fibra (Figura 3.1), para de esta manera obtener un dato promedio dentro de un límite exclusivo del 5 % y alcanzar un resultado que pueda ser usado en todas las condiciones (JUNAC, 1984). Pero, para este análisis se toma en cuenta el MOE promedio de los ensayos de flexión paralela a la fibra, repitiendo el proceso ya mencionado. Esto es debido a que se considera el más desfavorable y a la relevancia que tiene en elementos sometidos a flexión. Cabe mencionar que esto se realiza considerando que es otra opción que recomienda el manual de la JUNAC.

### 3.4. Predimensionamiento de vigas

Se ha propuesto la elaboración de una aplicación que permita determinar la sección transversal de la viga automáticamente, aplicando los valores de esfuerzos admisibles para flexión estática en estado verde obtenidos anteriormente, en conjunto con los valores de la JUNAC, de tal manera que permita el predimensionamiento para otras especies maderables. Además se ha realizado una modificación en la ecuación 1.4 para obtener el resultado en centímetros. Considerando una sección de altura ( $h$ ) y base ( $h/2$ ). Por lo tanto, los valores necesarios para la determinación de la sección transversal son: luz de la viga ( $L$ ) en metros y carga lineal que tributa ( $q$ ) en  $kg/m$ . Además, se ha establecido un incremento del 10 % a cada esfuerzo admisible que lo estipula la NEC, siempre y cuando se garantice que toda la estructura actúe en conjunto, a fin de reducir las dimensiones de la viga (NEC, 2015). Cabe aclarar que el resultado obtenido para altura ( $h$ ) y base ( $b$ ) corresponderá a la sección mínima que deberá tener la viga y no exime la responsabilidad del calculista de cumplir con la Norma de Clasificación visual establecido por la JUNAC. A continuación, se presenta el flujograma propuesto:

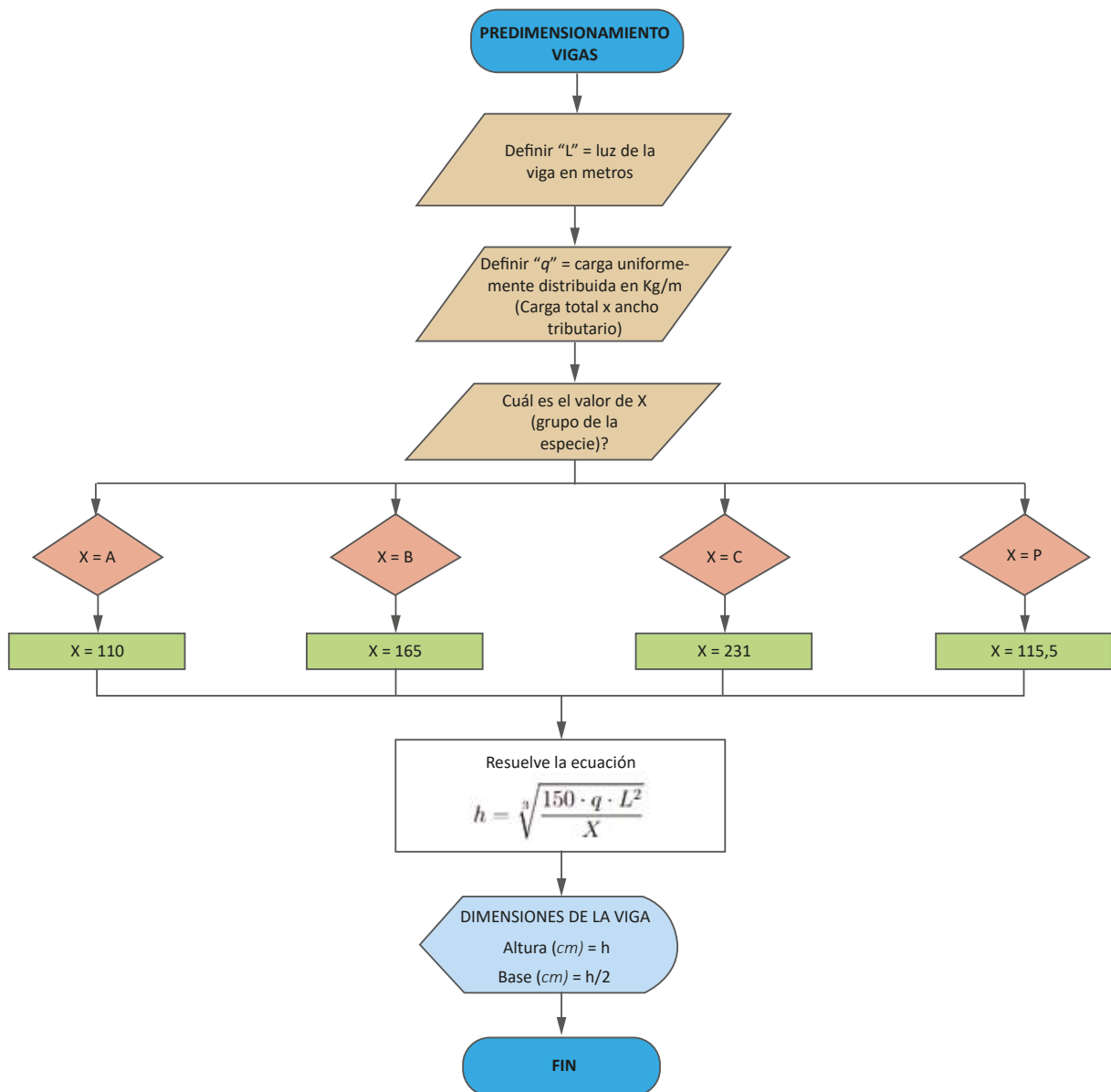


Figura 3.1: Flujograma para la determinación de sección transversal de vigas

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

Una vez que se ha establecido el funcionamiento del programa, se ha elaborado una calculadora digital para dispositivos móviles. La interfaz y los componentes dentro del apartado de vigas se muestran a continuación.

Figura 3.2: Interfaz para el predimensionamiento de vigas

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

### 3.5. Predimensionamiento para columnas

Un factor importante a tomar en cuenta es que una vez obtenido el esfuerzo admisible para compresión paralela a la fibra, se procede al cálculo del límite de esbeltez específicamente para el *Pinus radiata*, considerando como módulo de elasticidad al valor promedio obtenido en flexión estática en estado verde presentado en la Tabla 3.1, lo cual es aplicable para los demás diseños. (JUNAC, 1984). El resultado para la esbeltez máxima ( $C_k$ ) es el siguiente:

$$C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{52041 \text{ kg/cm}^2}{84 \text{ kg/cm}^2}} \quad (3.2)$$

$$C_k = 17.49 \quad (3.3)$$

A continuación, se presenta el flujograma que determinará el funcionamiento del aplicativo:

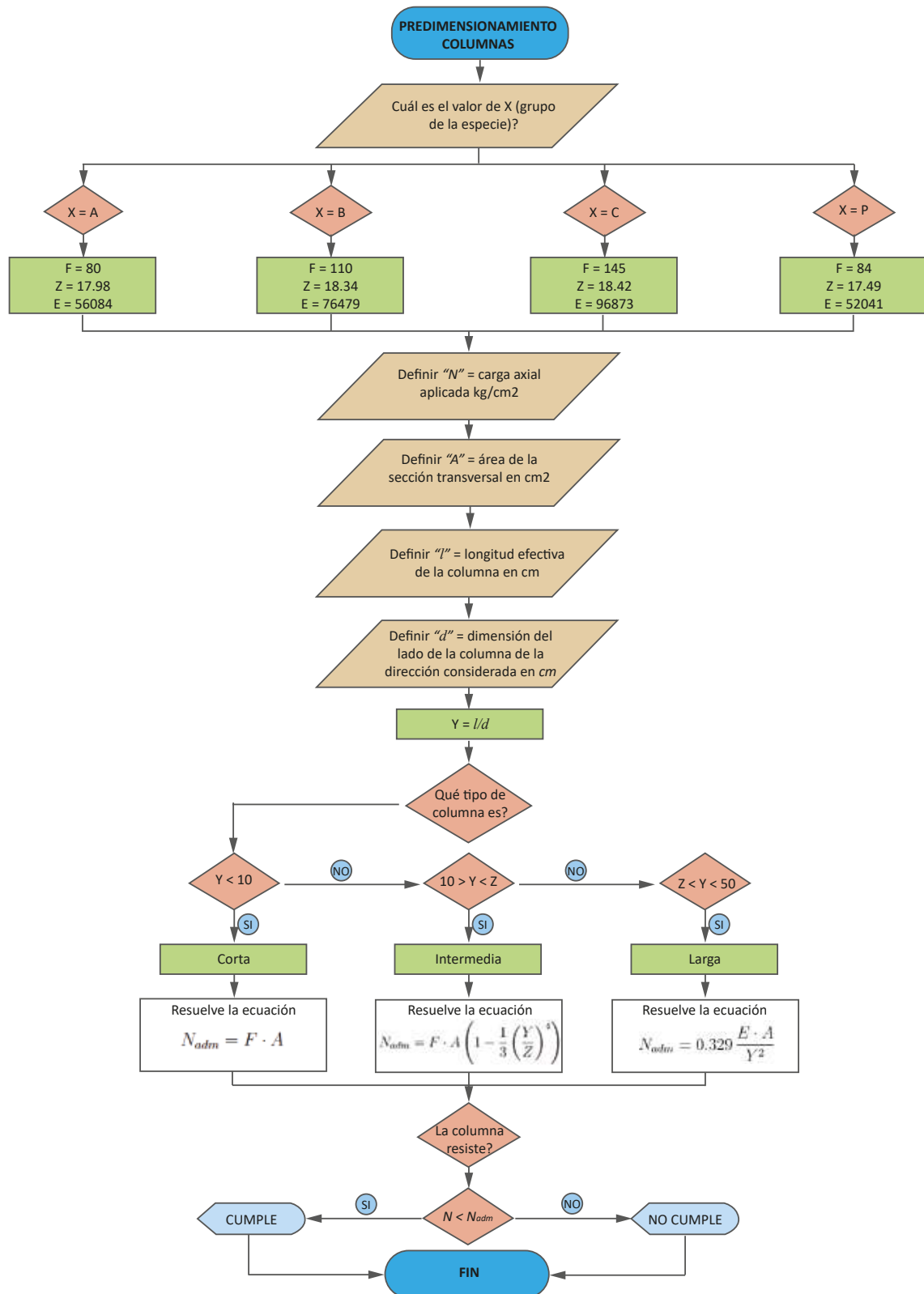


Figura 3.3: Flujograma para la determinación de carga admisible de columnas

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

Para el predimensionamiento de columnas, el factor determinante es cumplir la relación columna fuerte viga débil (NEC, 2014), debido a que los esfuerzos a compresión paralela a la fibra de la madera son altos lo que generalmente se traduce a secciones pequeñas. Por lo tanto, el criterio para el predimensionamiento de una columna deberá estar en relación de la sección de la viga. Adicionalmente, para evitar el riesgo de pandeo en el eje débil de una sección, es más eficiente usar secciones cuadradas, por lo cual, de preferencia debe ajustarse a las dimensiones comerciales más usuales: 12x12cm, 14x14cm, 15x15cm, 18x18cm y 20x20cm.

Al igual que para el cálculo de vigas, también se ha incorporado el cálculo para columnas, incorporando los datos mencionados anteriormente. La interfaz y los componentes dentro del apartado de columnas se muestran a continuación.



Figura 3.4: Interfaz para el predimensionamiento de columnas

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

En este caso, aplicando la ecuación 1.8, ya que es la clase de columna más común en el diseño de viviendas unifamiliares, se obtiene el valor el área de sección dependiendo del lado más pequeño de la columna, sin embargo, los valores resultantes de esto son demasiado pequeños e irreales, por lo que, para dimensionar una columna se toma en cuenta el principio de columna fuerte - viga débil (NEC, 2014). Este principio aclara que es recomendado el sobredimensionamiento de la columna frente al de la viga, ya que es

menos probable que de esta manera la estructura falle. De esta manera concluimos que en el caso de las columnas el sobredimensionamiento está justificado a favor de una mejor resistencia estructural y por esto es recomendable usar las dimensiones comerciales que son: 12x12, 14x14, 15x15, 18x18 y 20x20 cm.

### 3.6. Ejemplo de aplicación en vivienda unifamiliar

A continuación, se presenta la información gráfica necesaria para el predimensionamiento de elementos estructurales para una vivienda de dos pisos.

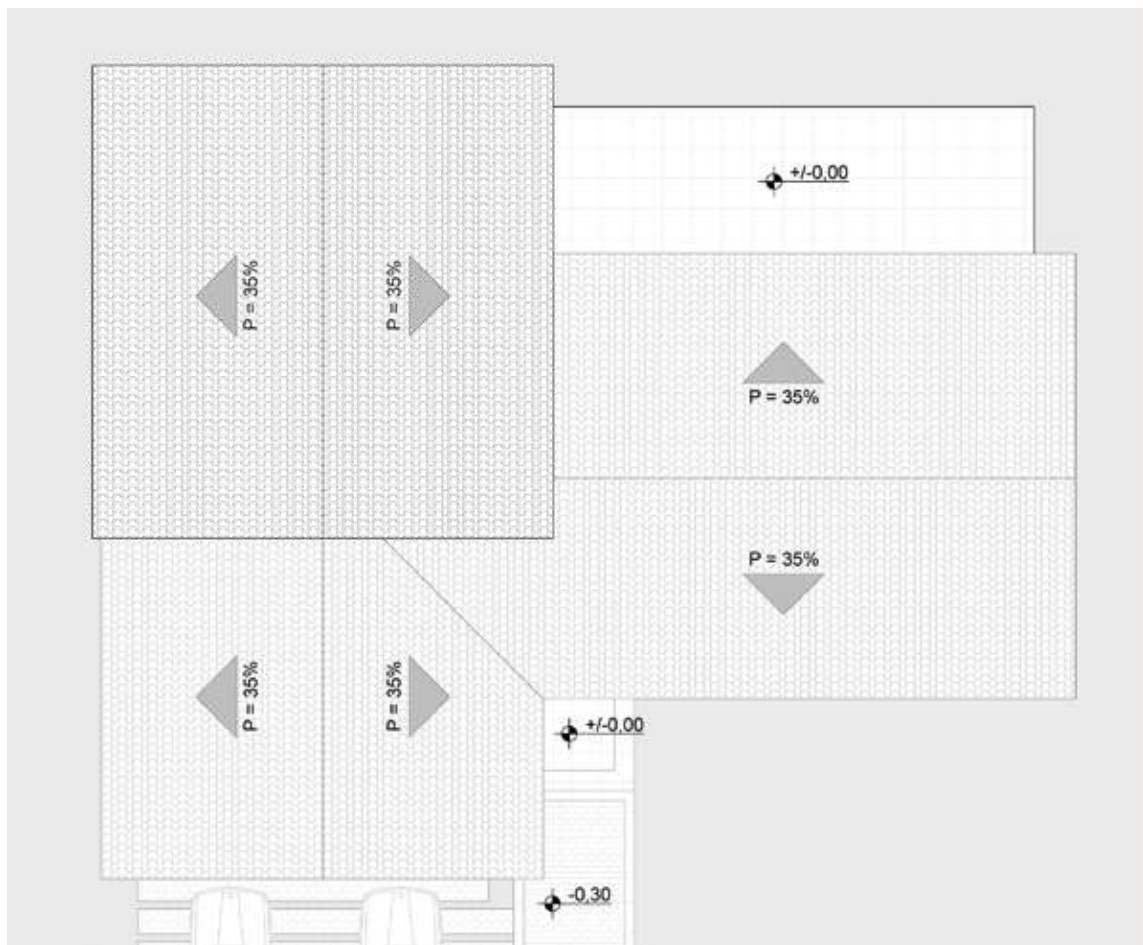


Figura 3.5: Planta de cubiertas - vivienda unifamiliar

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

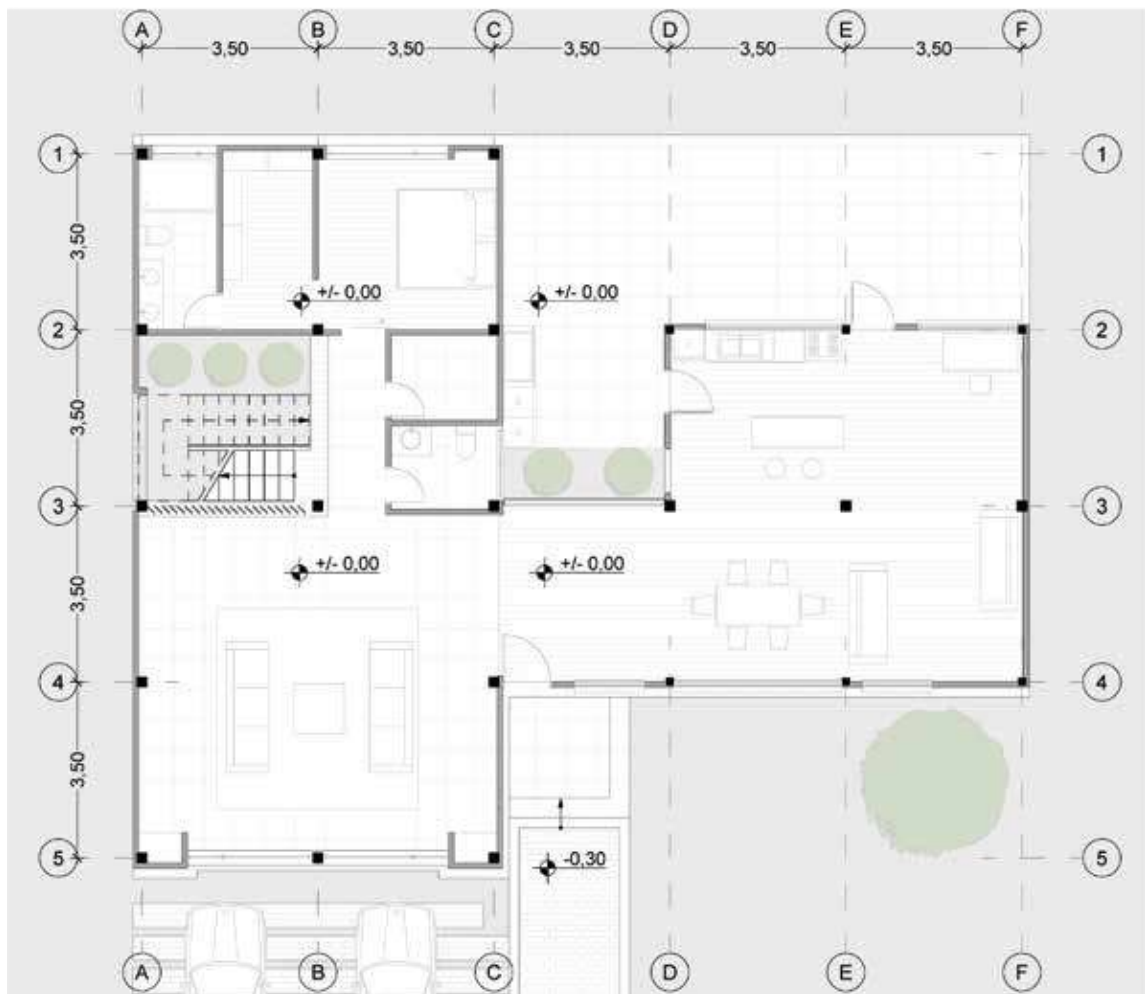


Figura 3.6: Planta baja - vivienda unifamiliar

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

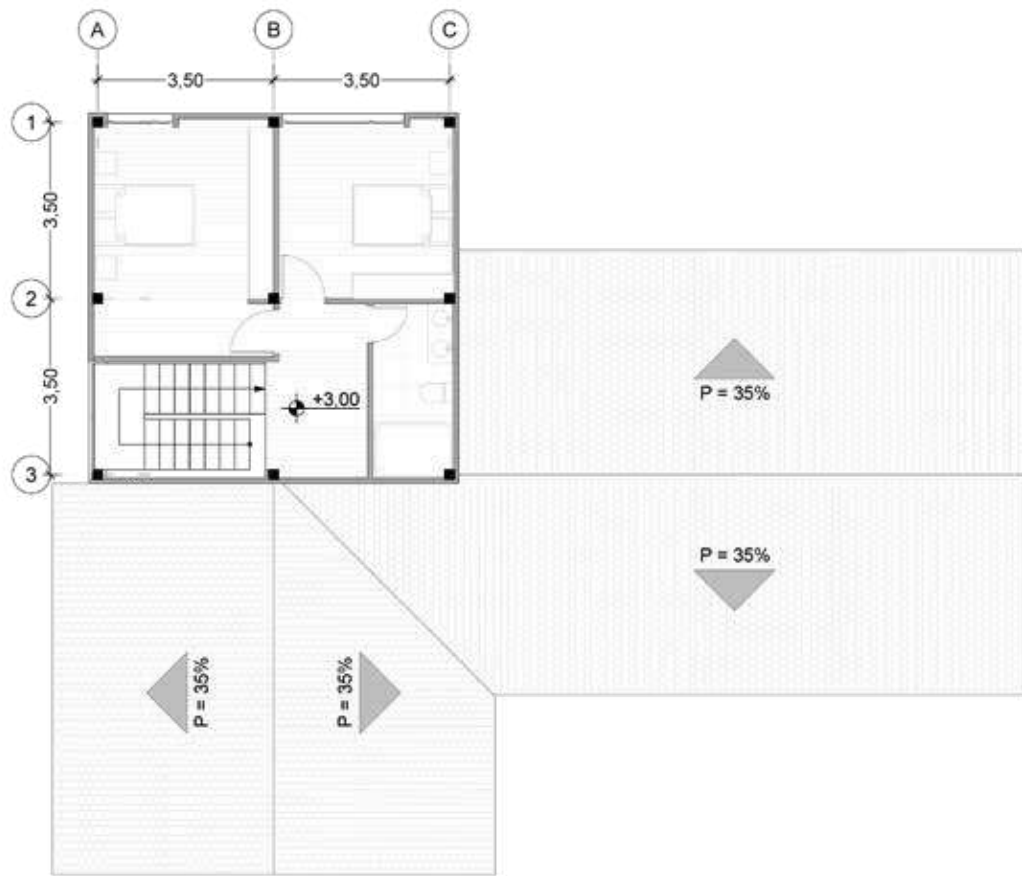


Figura 3.7: Planta alta - vivienda unifamiliar

Fuente: Autores

Elaboración: Autores



Figura 3.8: Elevación frontal - vivienda unifamiliar

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

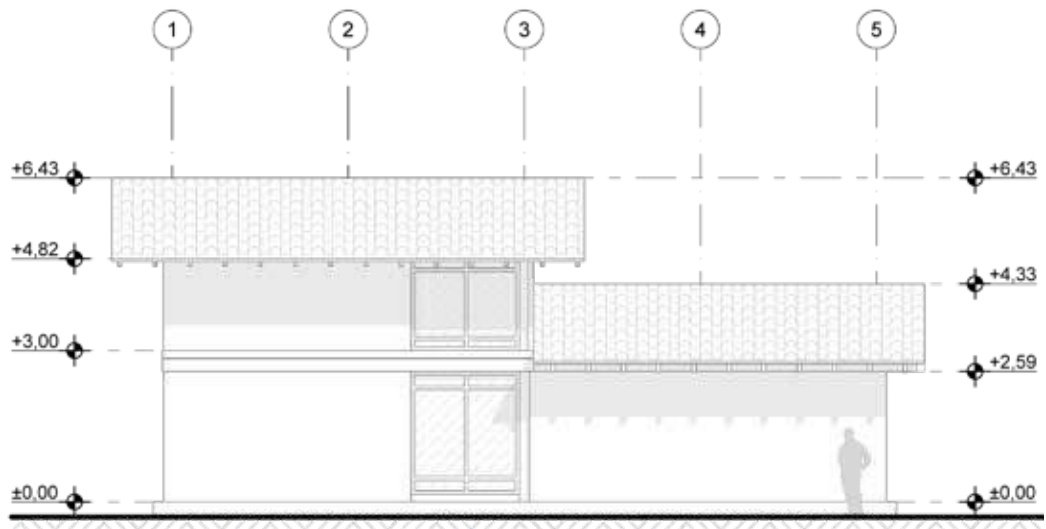


Figura 3.9: Elevación lateral izquierda - vivienda unifamiliar

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

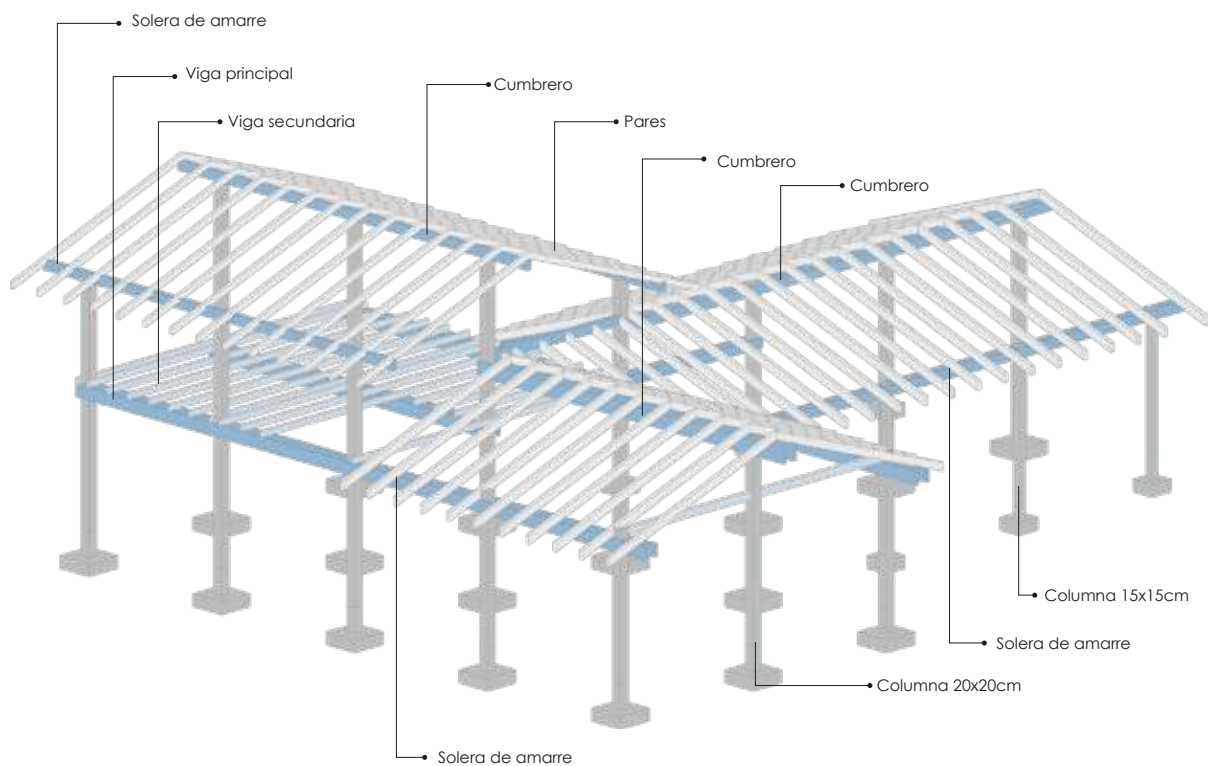


Figura 3.10: Estructura propuesta - vivienda unifamiliar

Fuente: Autores

Elaboración: Autores



Figura 3.11: Vista exterior de vivienda ejemplo

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*



Figura 3.12: Vista interior n°1 de vivienda ejemplo

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*



Figura 3.13: Vista interior n°2 de vivienda ejemplo

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

### 3.6.1. Determinación de vigas

Las cargas a considerar para vivienda residencial unifamiliar y con estructura de madera dependen de lo establecido en el documento de la “NEC-SE-CG: Cargas No Sísmicas”, sin embargo, no se establecen valores para estructura de cubierta, entrepiso de madera y tabiquería de madera. Por ello, es necesario recurrir a otras fuentes bibliográficas, en este caso, se toma como referencia al libro “Entramados de madera - Libro 01” (Hempel y Poblete, 2011) y (Rodas, 2014) para determinar la carga de entrepiso y cubierta. Las cargas faltantes, tales como acabados de cubierta y tabiquería, se obtuvieron según el material empleado. Como resultado, las cargas consideradas son las siguientes:

- Carga viva para entrepiso:  $200 \text{ kg/m}^2$
- Carga viva para cubierta:  $70 \text{ kg/m}^2$
- Carga de estructura de entrepiso y cubierta:  $60 \text{ kg/m}^2$
- Carga de plancha de fibrocemento:  $12 \text{ kg/m}^2$
- Carga de acabado de teja de barro:  $30 \text{ kg/m}^2$
- Carga de tabiquería de madera:  $42 \text{ kg/m}^2$

Cabe mencionar que la carga total de tabiquería de la primera planta alta, se distribuirá para el área que comprende la segunda planta alta, de esta manera, se obtendrá un valor

por  $\text{m}^2$  en el plano horizontal. De este proceso se obtiene un valor aproximado de  $80 \text{ kg}/\text{m}^2$ , mismo que será agregado a la sumatoria de cargas muertas.

Haciendo uso del aplicativo desarrollado en base al flujograma para el cálculo de vigas, los valores necesarios son: Carga tributaria lineal ( $q$ ) y luz de la viga ( $L$ ). Cabe mencionar que para el cálculo de ( $q$ ), se aplica la siguiente fórmula:

$$q = Q.T \cdot A.T \quad (3.4)$$

Siendo:

- **Q.T:** carga total por metro cuadrado (Carga viva + Carga muerta)
- **A.T:** ancho tributario de la viga (Ver figura 3.14)

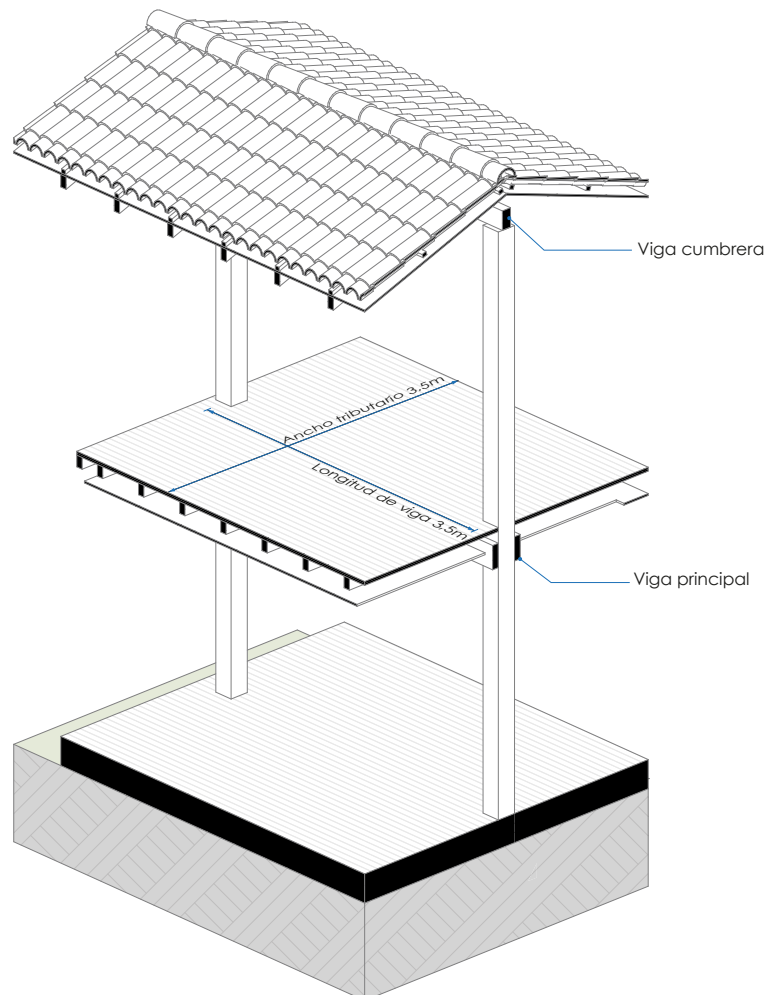


Figura 3.14: Sección tributaria para las vigas B1-B2

*Fuente: Autores*

*Elaboración: Autores*

Tabla 3.4: Resultados para vigas de vivienda unifamiliar

Descripción	Carga uniformemente distribuida "q" (kg/m)	Luz de viga "L" (m)	Altura de viga "h" (cm)	Base de viga "b" (cm)
Viga principal entrepiso B1-B2   B2-B3	1190	3,5	27	14
Viga principal entrepiso A1-A2   A2-A3   C1-C2   C2-C3	595	3,5	21	11
Viga secundaria entrepiso con separación de 0,5m entre ejes	170	3,5	14	7
Soleras de amarre con apoyos cada 3,5m	637	3,5	22	11
Cumbreros A1-A2   C2-C3 con apoyos cada 3,5m	516	3,5	20	10
Cumbrero B3-B5	637	7	34	17
Pares de cubierta con separación de 0,7m entre ejes	121	3,7	13	7

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

### 3.6.2. Determinación de columnas

En este caso, los datos necesarios para el cálculo en el aplicativo son: longitud efectiva de columna ( $l$ ), lado o ancho de columna ( $d$ ) y la carga total del área tributaria ( $Q$ ) que corresponda a la columna (Ver figura 3.15). De tal manera, el programa determinará la clasificación de la columna, y seguido, dará el resultado de la carga máxima admisible ( $N_{adm}$ ). Los resultados para las columnas se describen en la Tabla 3.5.

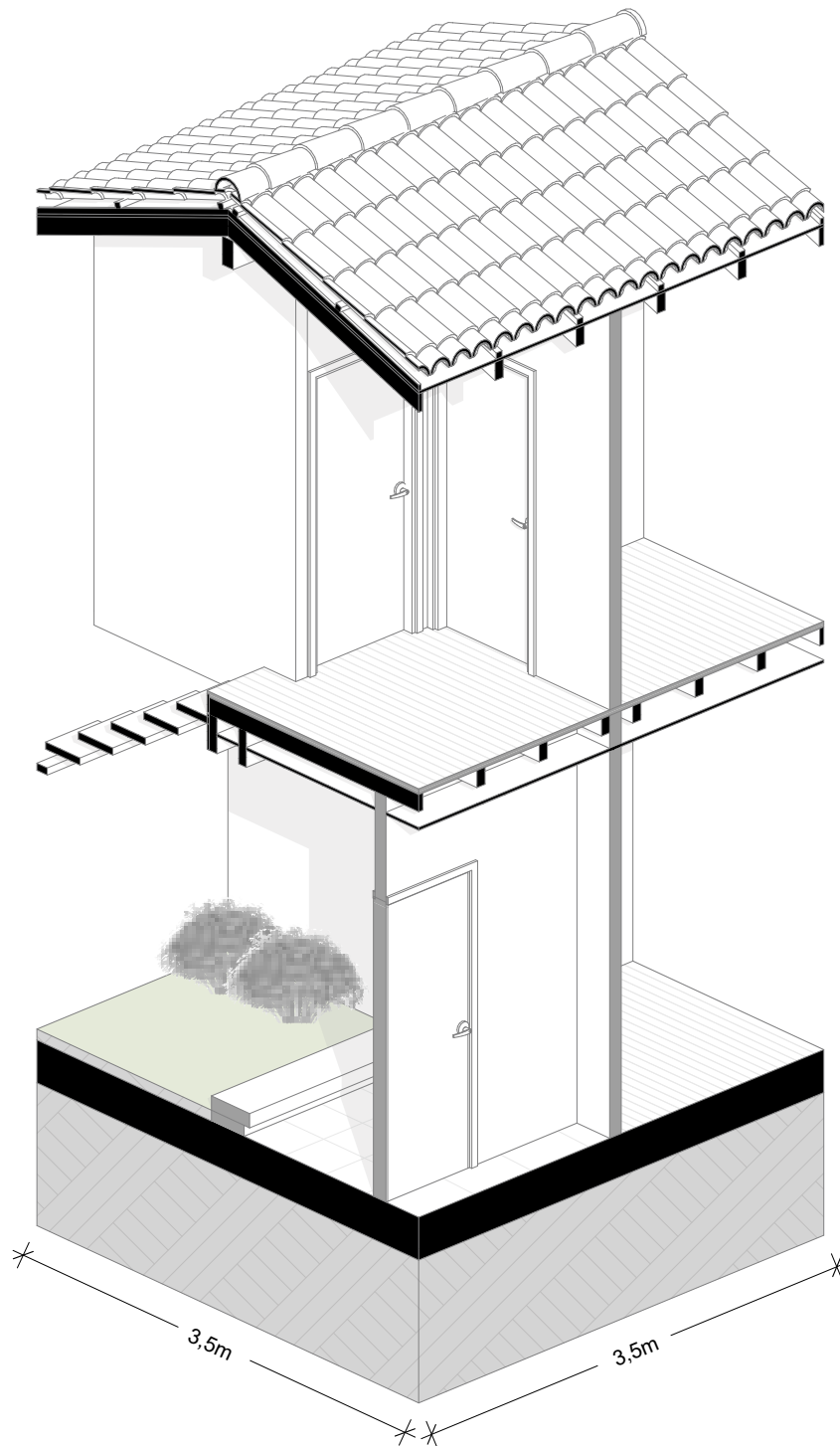


Figura 3.15: Sección tributaria para la columna B2

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

Tabla 3.5: Resultados para columnas de vivienda unifamiliar

Descripción	Carga axial aplicada "Q" (kg)	Longitud efectiva "l" (cm)	Ancho de columna "h" (cm)	Carga max. Adm "N <sub>adm</sub> " (kg)	Cumple
Planta Baja - Columna A1, C1	2815	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna B1	4198	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna B2	6393	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna A2	4066	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna C2	4925	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna C3	4438	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna B3	6311	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna A4	1716	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna A5 - C5	1347	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna B5	1347	385	20	18482	✓
Planta Baja - Columna C4	1720	300	20	27540	✓
Planta Baja - Columna D2, D4, E2, E4	1720	300	15	9630	✓
Planta Baja - Columna F2, F4	1372	300	15	9630	✓
Planta Baja - Columna D3, E3	2228	400	20	17121	✓
Planta Baja - Columna F3	1750	400	20	17121	✓

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

### 3.6.3. Detalles constructivos

A continuación, se presentan algunos detalles constructivos que complementan a la propuesta de vivienda unifamiliar con estructura de madera. Cabe mencionar que el sistema constructivo definido pretende que los elementos estructurales se abracen entre sí a fin de garantizar un correcto trabajo en conjunto (Hempel y Poblete, 2011).

- a. **Zapata aislada:** Para el cálculo de zapatas se toma en cuenta la carga más desfavorable dentro de la estructura como en casos anteriores. Las dimensiones de la misma normalmente son establecidas por la carga axial transmitida por la columna, incluyendo su peso propio, pero en el caso de las estructuras de madera esta es despreciable debido a que el peso de la madera es bajo. A continuación, se presenta

el cálculo del área de la zapata, considerando los siguientes valores:

- **Carga de servicio aplicada a la columna B2:** 6393 kgf
- **Capacidad portante del suelo ( $qa$ ):** 0,9 kg/cm<sup>2</sup>

$$A = \frac{\text{Carga de servicio vertical}}{qa} \quad (3.5)$$

$$A = \frac{6393 \text{ kgf}}{0.9 \text{ kg/cm}^2} \quad (3.6)$$

$$A = 7103 \text{ cm}^2 \quad (3.7)$$

Una vez se ha calculado el área de la zapata, se determinan las dimensiones de base y lado.

$$B = L \quad (3.8)$$

$$B = \sqrt{7103 \text{ cm}^2} \quad (3.9)$$

$$B = 84.3 \approx 85 \text{ cm} \quad (3.10)$$

Para fines prácticos y de seguridad, la NEC recomienda que los lados mínimos de la zapata no sean menores a 1m y su altura no menor a 25cm. (NEC, 2016). Además, establece las dimensiones mínimas de 25x25 para una columna de dos niveles. Por lo tanto, se adoptará este criterio para el diseño de la zapata y el cálculo del acero (Ver Figura 3.16).

$$As_{\min} = 0,0018 \cdot B \cdot h \quad (3.11)$$

$$As_{\min} = 0,0018 \cdot 100\text{cm} \cdot 25\text{cm} \quad (3.12)$$

$$As_{\min} = 4,5\text{cm}^2 \quad (3.13)$$

Para este caso, se optará por el uso de varillas de  $\varnothing 10\text{mm}$ , con un area de 0,79cm<sup>2</sup>.

$$\# \text{ varillas} = \frac{4.5 \text{ cm}^2}{\text{cm}^2} \quad (3.14)$$

$$\# \text{ varillas} = 5.7 \approx 6 \text{ varillas} \quad (3.15)$$

Considerando lados iguales de la zapata, el espaciamiento de las varillas se termina de la siguiente manera:

$$@ = \frac{100 \text{ cm}}{6 \text{ varillas}} \quad (3.16)$$

$$@ = 16\text{cm} \quad (3.17)$$

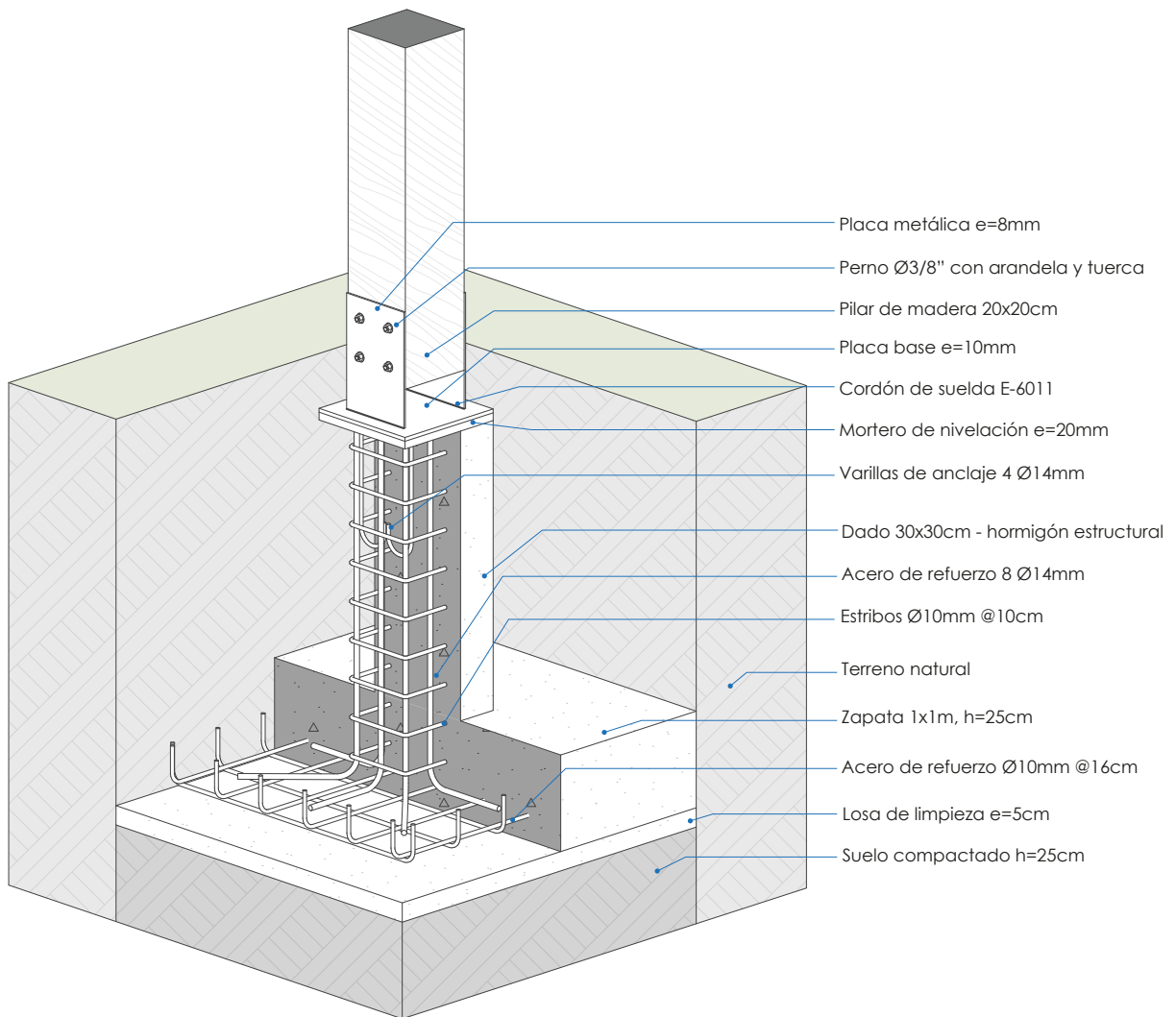


Figura 3.16: Detalle constructivo: Unión pilar - cimiento

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

- b. **Entrepiso:** En el caso del entrepiso se toma en cuenta los valores establecidos en el apartado 3.6.1. El sistema constructivo que se tomó en cuenta para el diseño es el de unión de doble cortante unida por pernos metálicos, esto debido a que es la más recomendable dentro de nuestro contexto. (Hempel y Poblete, 2011).

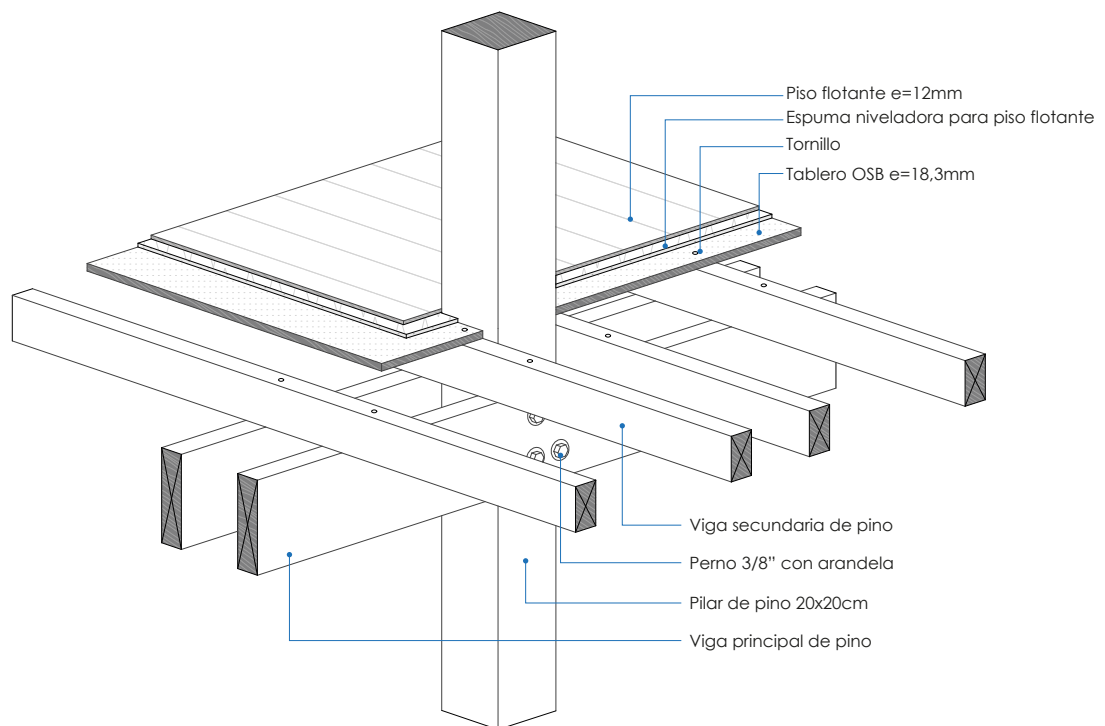


Figura 3.17: Detalle constructivo: Entrepiso

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

- c. **Cubierta:** Al igual que el caso anterior, se toman los datos establecidos en la sección 3.6.1 referente al predimensionamiento de vigas. En el caso de la cubierta, se toma en cuenta el sistema constructivo tradicional que está conformado por un cielo raso de duela de madera al que se le ancla tiras de madera para poder sujetar una plancha de fibrocemento y en ella apoyar la teja española.

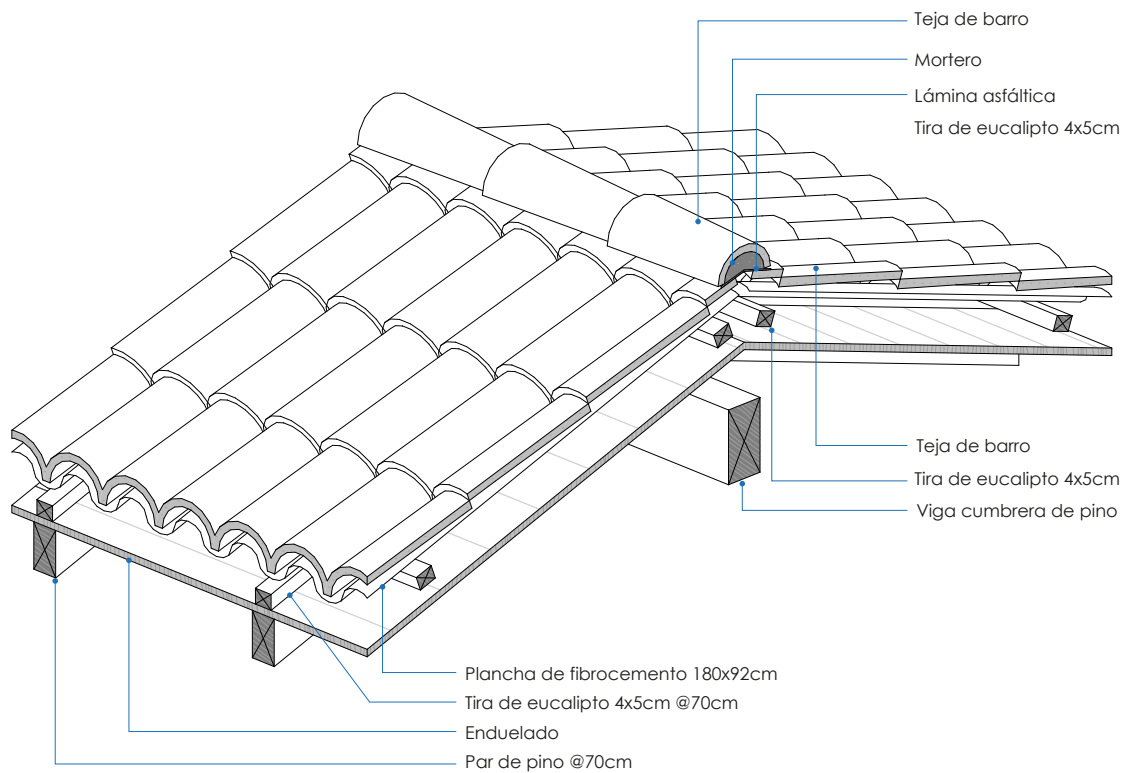


Figura 3.18: Detalle constructivo: Cubierta a dos aguas

Fuente: Autores

Elaboración: Autores

## Conclusiones y recomendaciones

La investigación realizada permitió conocer la importancia de profundizar la caracterización de una especie maderable. Por otra parte, una vez obtenidos los resultados de la madera aserrada de *Pinus radiata*, se pudo evidenciar una ligera variación que conlleva a pequeñas diferencias dentro de un predimensionamiento de elementos estructurales, como es el esfuerzo admisible obtenido ubicando la especie dentro de la categoría "C" de la NEC.

Se recomienda realizar análisis más profundos a fin de actualizar la normativa vigente, teniendo énfasis en otras especies que se comercializan en la ciudad de Cuenca, como, el *Pinus patula*; una especie que se comercializa como pino en general y no consta dentro del manual de la JUNAC, y el *Eucalyptus globulus*. Además de la integración de estas a la interfaz de cálculo propuesta, incentivando nuevos métodos para mejorar el aprovechamiento de la madera y derivados como puede ser la madera laminada, una técnica tratada escasamente en el país y que en otros países representan una gran ventaja y una oportunidad para elaborar elementos estructurales de gran tamaño y moldear diversas formas. Esto permitiría que en un futuro el sistema constructivo se estandarice, lo cual reduciría costos, significando así un aporte importante para el diseño arquitectónico.

Del mismo modo, se recomienda hacer uso de los cuerpos normativos internacionales actuales, tales como, la ASTM, la Norma Chilena y la UNE con la finalidad de aprovechar el máximo potencial del recurso forestal del Ecuador e impulsar el uso de la madera en el mundo de la construcción actual, considerando que es un material biodegradable y, en este caso del *Pinus radiata*, renovable.

## Referencias

- Acosta, M. (1949). El eucalipto en Ecuador.
- ASTM. (1999). ASTM D-245. Standard practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber.
- ASTM. (2014). ASTM D-143. Standard test methods for small clear specimens of timber.
- Campos, A. (1989). Propiedades físico-mecánicas de postes de pino radiata crecidos en Chile.
- COPANT. (1972a). COPANT 461: Método de determinación del peso específico aparente.
- COPANT. (1972b). COPANT 555: Método de ensayo de flexión estática.
- COPANT. (1972c). COPANT 564: Método de determinación de la compresión axial o paralela a las fibras.
- COPANT. (1972d). COPANT 742: Método de ensayo de tracción paralela al grano.
- CORMA. (2004). La construcción de viviendas en madera. *Progress of Theoretical Physics*.
- de Chile, I. F. (1964). Proyecto de normas de clasificación para madera aserrada de Pino insigne. *Boletín informativo*(9).
- Hempel, R., y Poblete, C. (2011). Entramados de madera - libro 01. *Cuadernos Edificación En Madera*.
- Holguín, B., y Delgado, D. (2018). Estudio económico del comportamiento de la madera en el Ecuador en los últimos años. 2009-2017. *Revista OIDLES*.
- INEFAN. (s.f.). Proyecto de normas de clasificación para madera aserrada de Pino insigne.
- INN. (1984). NCh176/1. Madera - Parte 1: Determinación de humedad. *Norma Chilena Oficial*.
- INN. (1986). NCh968. Madera - Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas. *Norma Chilena Oficial*.
- INN. (2014). Nch1198. Madera - Construcciones en madera - Cálculo. *Norma Chilena Oficial*.
- JUNAC. (1981). Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Ecuador. *PADT-REFORT*.
- JUNAC. (1984). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. *PADT-REFORT*.
- NEC. (2014). NEC-SE-MD: Estructuras de madera. *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
- NEC. (2015). Guía práctica para el diseño de estructuras de madera de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
- NEC. (2016). Guía práctica de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros de conformidad con la norma ecuatoriana de la construcción nec 2015. *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
- ProEcuador. (2015). Muebles y productos de madera.
- Rodas, H. (2014). Estructuras 1: Apuntes de clase.
- Rodríguez, C., y Vergara, E. (2008). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus canariensis* crecido en el secano de la Región del Maule, Chile. *SciELO*.

- 
- Trelles, R. (n.d). Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L. f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán.
- Watts, J. (2019). Concrete: the most destructive material on Earth. *The Guardian*.
- Zuñiga, T. (1995). Situación actual de la forestación y reforestación en el Ecuador.

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Wilson Hernán Cada Cajas** y **Guillermo Santiago Neira Banegas** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0104682497 y 0107621591. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Caracterización físico – mecánica de la madera aserrada *Pinus radiata* comercializada en Cuenca**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **11 de octubre de 2023**

  
F: .....  
Wilson Hernán Cada Cajas  
0104682497

  
F: .....  
Guillermo Santiago Neira Banegas  
0107621591