

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Mauricio Araya Rodríguez, Ing. Sonia Vargas Calderón, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

GUSTAVO  
ADOLFO  
ROJAS MOYA  
(FIRMA)

Firmado  
digitalmente por  
GUSTAVO  
ADOLFO ROJAS  
MOYA (FIRMA)  
Fecha: 2022.05.02  
08:45:45 -06'00'

---

Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Director

ANGEL  
HUMBERTO  
NAVARRO  
MORA (FIRMA)

Firmado  
digitalmente por  
ANGEL HUMBERTO  
NAVARRO MORA  
(FIRMA)  
Fecha: 2022.04.28  
18:06:06 -06'00'

---

Ing. Ángel Navarro Mora.  
Profesor Guía

MAURICIO  
ESTEBAN ARAYA  
RODRIGUEZ  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por MAURICIO  
ESTEBAN ARAYA  
RODRIGUEZ (FIRMA)  
Fecha: 2022.05.01  
13:50:19 -06'00'

---

Ing. Mauricio Araya Rodríguez.  
Profesor Lector

TEC | Tecnológico  
de Costa Rica

Firmado digitalmente  
por SONIA VARGAS  
CALDERON (FIRMA)  
Fecha: 2022.04.28  
11:06:42 -06'00'

---

Ing. Sonia Vargas Calderón.  
Profesora Observadora

# **Guía para el Diseño y Construcción con madera en Costa Rica.**

# Abstract

This document presents the final graduation project to opt for the degree of Bachelor of Construction Engineering of the Technological Institute of Costa Rica.

The general objective of this project is the elaboration of a Guide for Design and Construction with wood in Costa Rica, this document is outlined as a resource of didactic support for the field of engineering in construction and related disciplines.

This was based on 3 main aspects: identification of the characteristics and properties of wood, implications when using this material in construction and the approach of an example where the regulations in force in Costa Rica were applied for the design of structural elements of wood through the LRFD methodology.

To elaborate the guide an investigation was carried out regarding the mentioned topics, the information was collected and ordered so that it can be an orientation for the user.

The main result is the guide described, so that anyone interested in studying the subject or executing a project to the end, can easily understand the characteristics and properties that wood presents and how the guide should be used for any new project in the design area.

Keywords: wood, design, construction, LRFD methodology (Load and Resistance Factor Design).

# Resumen

En este documento se presenta el trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El objetivo general de este proyecto es la elaboración de una Guía para el Diseño y Construcción con madera en Costa Rica, este documento se perfila como un recurso de apoyo didáctico para el campo de la ingeniería en construcción y disciplinas relacionadas.

Esta se basó en 3 aspectos principales: identificación de las características y propiedades de la madera, implicaciones al utilizar este material en la construcción y el planteamiento de un ejemplo donde se aplicó la normativa vigente en Costa Rica para el diseño de elementos estructurales de madera mediante la metodología LRFD.

Para elaborar la guía se realizó una investigación referente a los temas mencionados, la información fue recopilada y ordenada de manera que pueda ser una orientación para el usuario.

El principal resultado es la guía descrita, de modo que cualquier persona interesada en estudiar el tema o ejecutar algún proyecto afín, pueda de manera sencilla entender las características y propiedades que presenta la madera y cómo se debe utilizar la guía para cualquier nuevo proyecto en el área de diseño.

Palabras clave: madera, diseño, construcción, metodología LRFD (Load and Resistance Factor Design).

# **Guía para el Diseño y Construcción con madera en Costa Rica**

# **Guía para el Diseño y Construcción con madera en Costa Rica**

KELLY DAYANNA CASTRO PÉREZ.

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

<u>PREFACIO</u>	<u>6</u>
<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>8</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>9</u>
<u>ALCANCES Y LIMITACIONES</u>	<u>11</u>
<u>MARCO CONCEPTUAL</u>	<u>12</u>
<u>METODOLOGÍA</u>	<u>15</u>
<u>RESULTADOS</u>	<u>17</u>
<u>ANÁLISIS DE RESULTADOS</u>	<u>21</u>
<u>CONCLUSIONES</u>	<u>22</u>
<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>23</u>
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>24</u>
<u>APÉNDICES</u>	<u>25</u>

# Prefacio

Al llevarse a cabo un proyecto constructivo de obras civiles, sin lugar a duda uno de los procesos más importantes es el de realizar un correcto diseño estructural.

El diseño estructural debe ser realizado por un profesional con conocimientos en el área. Por lo tanto, el proyecto se enfocó en el desarrollo de una guía para el diseño de elementos estructurales de madera entre ellos vigas, columnas y entrepisos, bajo la metodología por Factores de Carga y Resistencia última (LRFD), así como información general de la madera como material en el área de la construcción y sus diversos usos.

Esta guía pretende mejorar la comprensión del tema en aspectos de diseño y construcción con madera, buscando estar al alcance de todos los profesionales y personas interesadas e involucradas en el tema, pretendiendo ser un apoyo para facilitar el diseño de secciones de madera bajo el sistema LRFD, ya que los profesionales en el área de la ingeniería en construcción y carreras afines son los encargados de realizar el diseño estructural.

Buscar la seguridad de la vida de los usuarios y el correcto desempeño de los elementos al ser sometidos a cargas durante su vida útil, depende en gran parte de un correcto procedimiento de diseño ya que es en ese procedimiento donde se les permite verificar que se están cumpliendo las condiciones necesarias y especificaciones establecidas.

La calidad del diseño depende, en la mayoría de los casos, de la experiencia del profesional. En nuestro país, existen regulaciones y normativas con respecto al diseño estructural de elementos, cuyas referencias se pueden encontrar en el código sísmico de Costa Rica, sin embargo existe una necesidad de documentos que compilen esa información de manera metodológica y que a su vez sirvan como una guía que busque garantizar que los procesos de diseño sean comprendidos.

El afirmar que existe actualmente a nivel académico y profesional en Costa Rica una necesidad en este aspecto, se fundamenta en la investigación realizada cuyos resultados arrojaron que existen documentos donde se compila información referente, sin embargo no se encontró una guía para la metodología mencionada con madera como material.

El proyecto por ende buscó satisfacer al menos una pequeña parte de esta necesidad por medio de la elaboración de la guía de diseño y construcción con madera para que a través de este documento los diseñadores y estudiantes de carreras a fines puedan tener acceso a un documento que reúna los aspectos que deben ser considerados durante el diseño con la metodología LRFD. Que conozcan a su vez los procedimientos y que se pueden aceptar; tomando como base el Código Sísmico de Costa Rica 2010 revisión 2014 y otras normativas que han sido referencia para la elaboración de este.

El documento del proyecto titulado “Guía para el diseño y construcción con madera en Costa Rica”, incluye requerimientos establecidos por normativas nacionales e internacionales, información general de la madera como material de construcción y también hace mención a las ventajas y desventajas de la madera como material de construcción, por tal razón el poder contar con esta guía es de gran importancia no solamente para fines educativos sino también para el ámbito laboral.

## **Agradecimientos**

A Dios pues lo que soy y lo que espero ser lo debo todo a Él.

# Resumen ejecutivo

El proyecto elaborado consistió en realizar una guía para el diseño y construcción con madera en Costa Rica, en donde se desarrollaron temas relacionados con la madera desde su anatomía hasta el diseño de elementos bajo la metodología de LRFD con este material.

El tema en estudio es importante ya que se logró evidenciar a través del desarrollo del documento la relevancia de contar con una guía que muestre de manera ordenada los pasos que se deben de seguir al diseñar con la metodología LRFD elementos de madera para proyectos de construcción.

Además, se trató de suplir la necesidad de contar con un documento que permita a los interesados en el tema de diseño y construcción, tener disponible información técnica de forma sintetizada y ordenada en un solo documento, de manera que puedan consultar los pasos que se deben seguir, cumpliendo los requerimientos actuales, basados en las normas vigentes para ello en Costa Rica y fuera del país.

No se encontró, en la búsqueda bibliográfica realizada, la existencia de un documento que recopile de manera integrada los aspectos que fueron abordados en la presente guía.

El proyecto se fundamentó en el objetivo principal de elaborar una guía para el diseño y construcción con madera en Costa Rica.

Para llevar a cabo el objetivo, el proceso de investigación, recopilación de datos e información se llevó a cabo tomando en cuenta distintas fuentes bibliográficas, normas y códigos (nacionales, como el Código Sísmico de Costa Rica 2010 revisión 2014, Estándares de Especificación Nacional de Diseño (NDS) de los Estados Unidos (EEUU), entre otros, para de esta manera poder abarcar de forma satisfactoria los distintos subtemas que conformaron la guía.

Una vez recopilada y seleccionada toda la información esta se sintetizó de manera estratégica con la finalidad de conducir al lector a través de la lectura del documento, obteniendo como resultado lo siguiente:

- Información general de la madera, desde su clasificación según sus características, su estructura y diversas propiedades.
- Ventajas y desventajas que puede presentar este material al ser utilizado en las construcciones.
- Conceptos relevantes para poder aplicar la madera como material constructivo.
- Ejemplo de la normativa para diseñar elementos de madera, basados en los lineamientos correspondientes a nivel nacional para la metodología de LRFD.
- Un documento de información básica sobre aspectos de diseño y construcción con madera en Costa Rica para estudiantes o profesionales en el área de la construcción o carreras a fin.

Al aplicar el contenido de la guía se busca realizar los procesos de diseño de forma más adecuada, evitando sobre dimensionamientos de elementos, lo anterior sin dejar de considerar los requerimientos y normativas necesarias en las construcciones dentro del territorio nacional.

# Introducción

Al llevarse a cabo un determinado proceso constructivo, se abarcan distintos aspectos que sin lugar a dudas son de gran importancia en el posterior funcionamiento y uso de la estructura o edificación.

Sin embargo, a lo largo del presente documento se hará un especial énfasis en el diseño estructural utilizando a la madera como principal material constructivo.

El realizar un adecuado diseño de un elemento estructural ya es por sí mismo todo un desafío para los profesionales en el área y lo es aún más cuando el material con el cual se desea diseñar es la madera, si bien es cierto que todos los proyectos presentan condiciones diferentes en su construcción y diseño, el contar con una guía que brinde orientaciones es un gran apoyo.

Este proyecto muestra los resultados obtenidos a través de investigaciones realizadas en diversos documentos, cuyo contexto se desarrolló dentro y fuera del país, los cuales tenían contenidos enfocados en la construcción con madera, normativas aplicadas al diseño con este material, así como propiedades y comportamientos del mismo en diversas circunstancias.

Además de esto se consideraron los lineamientos mencionados en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR 2010) en su última revisión del 2014 así también como los estándares de Especificación Nacional de Diseño (NDS) y algunas otras fuentes de información cuyo contenido se consideró relevante para el desarrollo del tema de la guía.

El desarrollo de esta guía no pretende limitar o dejar de lado el grado de experiencia del profesional en el área, por el contrario, busca ser un apoyo para quienes desean incursionar y aplicar la metodología LRFD en el diseño de elementos estructurales de madera.

Debido a que el campo de la construcción es una de las mayores áreas causantes de desechos que perjudican y afectan de manera negativa al medio ambiente, la idea de utilizar recursos de menor impacto está teniendo auge, años atrás el uso de madera en la construcción en

Costa Rica formaba parte de la cultura poblacional y este material era muy utilizado, sin embargo, con el pasar de tiempo la madera ha sido paulatinamente sustituida por otros materiales, mayormente por la industria del cemento.

Así que parte importante de esta guía, ante la necesidad de desarrollar en nuestro país una cultura que promueva el auge de construcciones cuyas características muestren alternativas sostenibles, se proponen en el contenido del documento aspectos como el diseño y construcción con madera, ya que este material desde el punto de vista de construcción podría considerarse como favorito para brindar soluciones al problema mencionado, pues sus implicaciones en la huella ecológica son de bajo impacto en contraste con otros materiales constructivos.

Desde el punto de vista de diseño con el transcurrir de los años y a través de la experiencia se ha comprobado que el realizar el diseño de una determinada estructura independientemente del material empleado, puede traer repercusiones positivas y negativas en diversos ámbitos, desde el aspecto económico hasta poner en riesgo la vida de las personas, por esa razón existen en la actualidad dentro y fuera de nuestro país fuentes de información fiables, que buscan brindar orientaciones en el diseño de tales estructuras y elementos, en Costa Rica existen algunas tales como (Código sísmico de Costa Rica, revisión 2014), manuales y normas, que hacen mención a algunos aspectos importantes relacionados con el diseño de estructuras de madera, los cuales han sido recopilados a través de diversas investigaciones y experiencias obtenidas en proyectos constructivos desarrollados con madera como principal material.

El objetivo principal propuesto para este proyecto fue el de elaborar una guía para el diseño y construcción con madera en Costa Rica, cuya información sintetizada, ordenada y plasmada abarcara los siguientes objetivos específicos que fueron planteados:

- Informar sobre las generalidades de la madera y su uso.
- Describir las consideraciones al diseñar elementos con madera.
- Brindar información de la madera en la construcción.

Para comprender mejor lo mencionado anteriormente el presente informe está compuesto de las siguientes secciones:

**Marco conceptual:** Se mencionan y explican una serie de conceptos que son aplicables a los procedimientos de diseño estructural con madera cuya relevancia está ligada al desarrollo de la guía.

**Metodología:** se describe el procedimiento de investigación utilizado para la elaboración del proyecto.

**Resultados:** se muestran la información recopilada sintetizada y organizada en la guía realizada.

**Conclusiones:** se exponen las conclusiones a las que se llegó con respecto a la investigación elaborada y la guía como producto final.

**Recomendaciones:** se brindan recomendaciones acerca de la construcción y el diseño con madera.

# Alcances y limitaciones.

Los alcances que tiene el proyecto son los siguientes:

I. Se estudiaron reglamentos, manuales y otras fuentes de información desarrolladas y puestas en práctica en otros países, cuyo contenido fue contextualizado a lo que rige actualmente en Costa Rica de manera que estas diversas fuentes de información fueron de utilidad y sirvieron de orientación para el diseño bajo la metodología LRFD.

II. Se definieron en el capítulo 2 únicamente conceptos relacionados con las construcciones principalmente de viviendas elaboradas con madera y solamente se brindaron algunas recomendaciones sobre cómo utilizarla en la construcción.

III. Se desarrolló un único ejemplo en donde se aplicó lo mencionado por el Código Sísmico de Costa Rica revisión 2014 así como los estándares de Especificación Nacional de Diseño (NDS).

Como parte de las limitaciones que tiene la guía en su contenido se pueden mencionar las siguientes:

I. Este proyecto se enfocó en plasmar definiciones de conceptos que se consideraron necesarios y que estaban ligados solamente a los siguientes aspectos: características, estructura, propiedades físicas, comportamiento mecánico y clasificación (estructural-no estructural) de la madera.

II. En el desarrollo de este trabajo solamente fue considerado el impacto (positivo-negativo) que la producción y el uso de la madera tiene en el área de la construcción en el territorio nacional (Costa Rica).

III. Se analizó en el desarrollo de este trabajo la información de los métodos para el diseño de elementos de madera solamente bajo la filosofía de LRFD.

IV. Solamente se dio una breve descripción de las consideraciones sobre la correcta ejecución, control y mantenimiento de la madera en el ámbito de la construcción.

V. Se debe mencionar que la información plasmada en la guía es de carácter básico, puesto que la mayoría de los diversos temas involucrados, requieren de una exhaustiva investigación para lograr abordarlos y conocerlos en profundidad.

# Marco Conceptual

## Conceptos

### Diseño estructural

El diseño es un proceso creativo mediante el cual el profesional en el área se encarga de definir las características del sistema de tal manera que cumpla con los objetivos, para lograr esto el encargado propone dimensiones en los elementos considerando a su vez el tipo de material que se va a utilizar, el diseño estructural debe de cumplir con lo siguiente:

- Seguridad
- Funcionalidad
- Economía

Cuando se realiza un diseño estructural se toman en consideración, los cálculos de las resistencias de cada una de sus partes y cómo estimar las cargas que actúan sobre la estructura, así como los materiales adecuados para su construcción, es por eso que antes de la construcción de una estructura se deben de tomar en cuenta un sin número de aspectos técnicos y prepararla de acuerdo a las situaciones a las cuales puede estar sometida.

### Sistema estructural

En una edificación el sistema estructural es aquel que se encuentra conformado por todos aquellos elementos y componentes responsables de asegurar su estabilidad y firmeza ante las diversas acciones producidas por el entorno.

Según el CSCR 2010/2014 el objetivo de un sistema estructural es equilibrar las fuerzas a las que va a estar sometido, y resistir las solicitaciones sin colapso o mal comportamiento (excesivas deformaciones)



Figura 1. Sistema estructural de madera.  
Fuente. Tomada de (Pereira, 2019).

### Estructura

Es el sistema que está compuesto por diversos elementos que deben ser capaces de resistir las distintas fuerzas externas.

Considerando a Leone y Giordani (2013) comúnmente se le conoce como el esqueleto de la obra o edificación entre sus funciones más importantes se encuentra que la estructura es la encargada de recibir y transmitir las cargas y los esfuerzos al suelo firme.

### Elementos estructurales

Según Riddell (2016) los elementos estructurales son los componentes y miembros de una estructura cuya responsabilidad radica en asegurar la estabilidad y firmeza ante las diferentes solicitudes generadas por el entorno en el cual se encuentre.

## Columna

Lucano (2019) define las columnas como elementos verticales que se encuentran a compresión, las cuales sirven para apoyar las vigas cargadas y a su vez transmiten las cargas de los pisos superiores hasta el suelo a través de la fundación de cimientos

1



Figura 2. Columnas de madera en sistema estructural.  
Fuente. Tomada de (Bonilla 2012).

## Viga

Una viga es un elemento estructural que normalmente es colocado en posición horizontal, aunque también en algunos casos son colocadas de forma inclinada, su objetivo es poder soportar primordialmente las cargas por flexión que le son aplicadas, son las encargadas de llevar las cargas desde el entrepiso hasta las columnas.

1

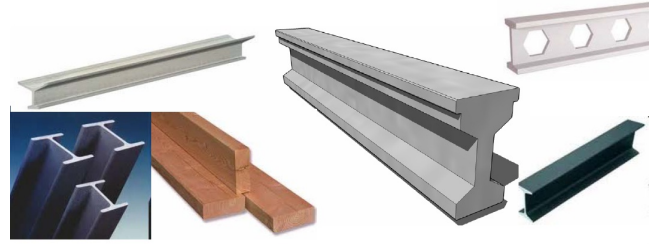


Figura 3. Diferentes tipos de vigas.  
Fuente. Tomada de Vigas. (s / f). Xunta.gal.

## Entrepiso

El entrepiso es un elemento estructural que funciona como un diafragma.

Este elemento cumple básicamente dos funciones entre las cuales están el separar o generar una división entre los distintos niveles de la edificación y además transmite las cargas generadas por los sismos a los elementos estructurales.

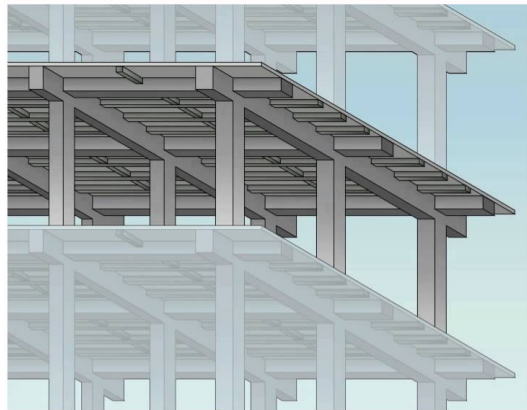


Figura 4. Entrepiso de losa con viguetas.  
Fuente. Tomada de Entrepisos. (s/f)

## Techo

Letevre menciona que los techos inclinados básicamente están constituidos por: material de cubierta, cabreada (también llamada cercha, armadura o reticulado) y el entramado (conformado por correas, cabios, listones o clavadores). Existen varios tipos de techos por lo tanto se debe tener en cuenta las consideraciones estructurales sin perder de vista el aspecto

económico para que la construcción resulte adecuada.



Figura 5. Estructuras de madera para techos.  
Fuente. Tomada de Entrepisos. (s/f)

## Método de diseño por factores de carga y resistencia última (LRFD).

De acuerdo con Beltran, Escobar y Durán (2018) este método se basa en diseñar los elementos de una estructura para que resistan cargas mayores a las de servicio de manera que se considera la resistencia o la condición de falla.

## Experiencia y criterio profesional

### Experiencia

Tomando en cuenta la definición que brinda el diccionario de la Real Académica para este

concepto, la cual indica que la experiencia se refiere a “Práctica prolongada que proporciona conocimiento o habilidad para hacer algo.”

Se puede decir, que desde el punto de vista laboral, la experiencia hace referencia a una serie de conocimientos que han sido acumulados a lo largo del tiempo de forma experimental (empírica) en un periodo de tiempo extendido.

### Criterio

El criterio que ejerce el profesional está estrechamente ligado con la experiencia que este posea lo cual le permite emitir una opinión o juicio sobre un tema o asunto determinado.

Existen algunos documentos, reglamentos, normativas y demás que se han elaborado con el objetivo de guiar al profesional a emitir un criterio respaldado por investigaciones o resultados experimentales que se han llevado a cabo en laboratorios o bien por medio de observaciones durante periodos extensos, de tal forma que se pueda generar un fundamento “teórico” que paralelamente acompañe el conocimiento empírico y le permita tomar una decisión, respetando los límites que fundamentan la teoría de diseño estructural del elemento que se desea diseñar.

### Especificaciones

Las especificaciones son “documentos en los cuales se prescriben requisitos técnicos mínimos a considerar que debe reunir un producto, o un proceso”. Lo anterior aplicado en los procesos de diseño y construcción.

# Metodología

## Investigación bibliográfica

Se procedió a realizar una revisión de distintas fuentes de información textual para lo cual fueron consultados diversos libros, manuales, tesis y documentos realizados por profesionales en áreas afines a la construcción y el diseño estructural con el objetivo de ampliar el conocimiento de los temas ya descritos.

Entre los materiales consultados se encuentran:

- “Manual del grupo andino para la preservación de la madera”.
- Libro “Madera diseño y construcción” Juan Tuk.
- Libro “Anatomía de la madera” Juan Eduardo Díaz-Vaz.
- “Manual para la construcción de viviendas en madera” de la corporación chilena de maderas.
- El documento “identificación de las especies maderables de Centroamérica” Alex C. Wiedenhoft.
- Libro “Maderas de Costa Rica” Isabel Carpio Malavassi.
- Entre otros.

## Estudio de normas

El estudio de las normas se realizó con el fin de determinar los lineamientos aplicables al procedimiento de diseño estructural y construcción utilizando a la madera como principal material.

Entre las normas consultadas se encuentran:

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 revisión 2014.
- Guía práctica para el diseño de estructuras de madera de conformidad con la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 2015.
- Estándares de Especificación Nacional de Diseño (NDS) para la construcción de madera 2018 Edición
- Entre otras.

## Síntesis de la información.

Para lograr plasmar en el proyecto la información deseada de forma estratégica, se procedió a plantear un esquema de metodología de la investigación con temas específicos para lograr abordar las tres áreas propuestas en los objetivos del proyecto las cuales abarcaban:

- Madera.
- Construcción.
- Diseño.

La figura 5 muestra un esquema con los temas y los contenidos que fueron investigados para el desarrollo del proyecto.

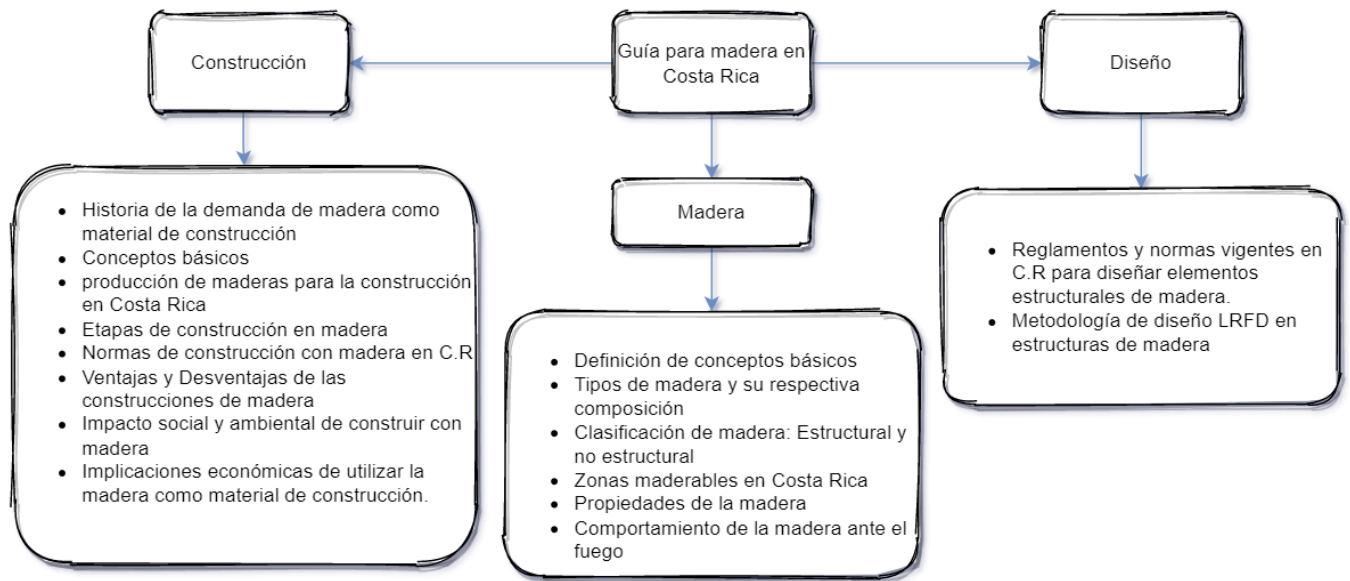


Figura 6. Esquema de contenidos abordados para recopilar información.

Finalmente se empleó la información recabada durante la investigación de los aspectos anteriores para realizar la guía metodológica de construcción y diseño con madera, que se pretende sea de gran utilidad para quienes hagan uso de esta.

# Resultados

En esta sección se presenta la guía para el diseño y construcción con madera en Costa Rica la cual está compuesta por diferentes secciones que pretenden tener una secuencia lógica, con el objetivo de introducir al usuario en el tema desarrollado, permitiendo también que cada lector pueda comprender el contenido con facilidad y a la vez este tenga el conocimiento básico necesario en el área del diseño estructural de elementos con madera bajo la metodología LFRD así como también información general aspectos relacionados con la construcción y la madera como principal material. El documento “Guía para el diseño y construcción con madera en Costa Rica” fue elaborado y pretende brindar apoyo e información sobre los criterios mencionados.

El documento reúne, en forma de guía, los criterios técnicos establecidos en las distintas normas consultadas, con el fin de permitir a los interesados acceder a la información sobre las generalidades de la madera, sus ventajas y desventajas en el área de la construcción y cómo poder seguir el paso a paso el diseño de elementos de madera mediante la metodología LFRD entre otros aspectos relacionados con este tema.

La guía contiene imágenes y tablas con el objetivo de ejemplificar mejor lo descrito y que puedan ser utilizadas por los usuarios para consultar datos de manera rápida.

La siguiente figura muestra la portada de la guía.



Figura 7. Portada del documento realizado.

La guía está compuesta por 3 capítulos.



Figura 8. .Portada del capítulo 1.

Este capítulo abarca aspectos generales con respecto a la madera, introduce al usuario y lector de la guía en aspectos relacionados con dicho material, ya que se presenta información relacionada con sus características, propiedades y beneficios.

Este capítulo además tiene algunas definiciones e ilustraciones colocadas con el propósito de orientar de una mejor forma al lector.

<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA MADERA. ....</b>	<b>13</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	13
1.2 EL ÁRBOL Y SU ESTRUCTURA.....	13
1.3 PROPIEDADES ANATÓMICAS DE LA MADERA. ....	17
1.3.1 Coníferas .....	17
1.3.2 Latifoliadas .....	18
1.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA. ....	20
1.4.1 Peso específico real. ....	20
1.4.2. Peso específico .....	21
1.4.3 El contenido de humedad. ....	23
1.4.4 La densidad y la dureza. ....	24
1.4.5 Propiedades térmicas de la madera. ....	26
1.5 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LA MADERA. ....	27
1.5.1 El color.....	27
1.6 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA. ....	28
1.7 PLANOS PRINCIPALES DE LA MADERA. ....	29
1.8 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA .....	30
1.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

Figura 9. Contenidos del capítulo 1.



Figura 10. Portada del capítulo 2.

En este capítulo se mencionan aspectos relacionados con conceptos del área de construcción con madera, así mismo se destacan los diversos usos que se le pueden brindar a esta. Y se mencionan cuáles son las ventajas y desventajas que representa el construir con este material.

<b>CAPÍTULO 2. LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN.</b>	<b>31</b>
2.1 INTRODUCCIÓN	31
2.2 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN	31
2.2.1 Madera de uso temporal:	32
2.2.2 Maderas de uso definitivo:	32
2.3 ASPECTOS GENERALES DE IMPORTANCIA EN LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL	33
2.3.1 Ventajas de la madera en la construcción:	33
2.3.2 Desventajas de la madera en la construcción.	36
2.4 LA MADERA VERSUS EL CONCRETO Y EL ACERO.	37
2.5 BENEFICIOS DE LA PRODUCCIÓN DE LA MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA.	38
2.6. MERCADO DE MADERA EN COSTA RICA.	39
2.7. IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y SOCIALES DEL CONSUMO DE MADERA EN COSTA RICA.	40
2.8 CONCEPTOS BÁSICOS PARA CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO CON MADERA.	41
2.8.1 Cargas.	41
2.8.2 Cargas muertas o permanentes:	41
2.8.3 Cargas vivas o sobrecargas de servicio	42
2.8.4 Cargas ocasionales	42
2.9 ESFUERZOS.	43
2.9.1 Esfuerzo de tracción:	43
2.9.2 Esfuerzo de comprensión:	43
2.9.3 Esfuerzo de corte o cizalle:	43
2.10 Resistencia a la flexión.	43
2.11 ESTRUCTURA	44
2.12 UNIONES ESTRUCTURALES	45
2.13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

Figura 11. Contenidos del capítulo 2.



Figura 12. Portada del capítulo 3.

En este capítulo se abarca la parte de diseño mostrando a través del desarrollo de un ejemplo los pasos a seguir al aplicar la metodología de diseño por LRFD. Además brinda una orientación en aspectos relacionados con uniones, reglamentos y sugerencias así como fórmulas y factores involucrados en el diseño

<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DE ELEMENTOS CON MADERA. ....</b>	<b>52</b>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	52
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO A DESARROLLAR.....	53
3.3. COMBINACIONES DE CARGA ÚLTIMA PARA EL DISEÑO POR LRFD.....	59
3.4 ANÁLISIS ESTÁTICO LINEAL SEGÚN CSCR-2010/2014.....	61
3.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS PARA EL MODELO ESTRUCTURAL.....	70
3.6 ANÁLISIS DEL MODELO PROPUESTO.....	73
3.7 DISEÑO POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA LRFD Y CLASIFICACIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL.....	75
3.8. DISEÑO DE VIGA DE CERCHA.....	80
3.9. DISEÑO DE VIGA DE ENTREPISO.....	92
3.10. DISEÑO DE COLUMNA.....	102
3.11. DISEÑO DE CONEXIONES Y UNIONES.....	114
3.12. CONEXIÓN VIGA – COLUMNA CON PERNOS.....	135
3.13. REQUERIMIENTOS E INFORMACIÓN GENERAL PARA PLANOS CONSTRUCTIVOS.....	139
3.14 RECOMENDACIONES DEL DISEÑO.....	140
3.15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

Figura 13. Contenidos del capítulo 3.

# Análisis de los resultados.

En este caso en específico se tiene que se cumple con el objetivo general, ya que se logra la elaboración de la “Guía para el Diseño y Construcción con madera en Costa Rica”.

Como primera parte se definen los conceptos básicos relacionados con el material elegido, en este caso la madera, para lo cual fue importante la información obtenida de diversos documentos, manuales y en especial de distintos libros cuyos conocimientos en ellos plasmados fueron de gran ayuda para llevar a cabo este proyecto de graduación.

Los métodos relacionados con el tema de la construcción y el diseño de los elementos estructurales se han basado en la interpretación de las diversas fuentes bibliográficas que se citan en los apartados de referencias en cada capítulo que conforman la guía.

La parte de normativas, especificaciones y demás aspectos relacionados con la parte legal vigente en el país se ha basado en documentos con respaldo de códigos, normas y otros, cuya veracidad ha sido aprobada a nivel nacional y en algunos casos a nivel internacional, por lo tanto se asume la información obtenida de dichas fuentes como oficial y adecuada.

Durante el proceso de elaboración de esta guía se contó con el apoyo y acompañamiento de profesionales con experiencia en el campo del diseño y construcción: al profesor guía Ing.Ángel Navarro Mora, Ing.Mauricio Carranza, Ing.Sonia Vargas, entre otros, quienes muy cordialmente han ayudado en cada una de las etapas de este proyecto.

Cabe mencionar que durante el desarrollo de este proyecto se ha tratado de aplicar conocimientos adquiridos dentro de la Escuela de Ingeniería en Construcción así como también resultados obtenidos de documentos e investigaciones realizadas por otros profesionales.

El presente trabajo se ha basado en un proceso de investigación sin perder de vista la proyección de que esta guía pueda ser utilizada a nivel académico y que cualquier estudiante interesado en el tema después de leer este material se encuentre en la capacidad de comprender su contenido y pueda aplicarlo.

Como se puede observar el análisis realizado es de extensión breve, ya que el objetivo general de este proyecto es la elaboración de una guía, lo cual se reduce a un criterio personal obtenido al unir y analizar las diferentes fuentes de información.

# Conclusiones

Se logra la elaboración de una guía para el diseño y construcción con madera en Costa Rica la cual puede ser de utilidad para la Escuela de Ingeniería en Construcción.

La guía elaborada para el diseño y construcción con madera en Costa Rica está basada en el contenido de los códigos, especificaciones, normas y reglamentos que rigen en Costa Rica, por lo tanto el documento es aplicable para el diseño estructural y su implementación en el área de la construcción en el territorio nacional, cuando se utilice a la madera como principal elemento.

Se diseñó una guía de diseño y construcción con madera para Costa Rica la cual se adecua a las necesidades de los estudiantes de carreras afines así como profesionales en el área, o bien para todo aquel que desee información del tema

Como parte de la información plasmada en la guía, se muestra las grandes capacidades que presenta la madera para poder ser utilizada en el área de la construcción, así mismo se muestra el contraste que tiene con respecto a otros materiales de construcción, teniendo estas grandes ventajas para quien desea utilizarla.

Así mismo como parte del contenido de la guía el usuario podrá conocer cuales son realmente las desventajas que tiene la madera como material constructivo, cuyas fuentes informativas son confiables y no solamente mitos y especulaciones con respecto a la madera.

Además se destaca a través de la investigación y el contenido de la guía cuáles son las maderas disponibles a nivel nacional y cuál es su % de uso en el área de la construcción, siendo la teca, melina, laurel y el ciprés las maderas más aprovechadas y procesadas, mencionando también que las importaciones de madera provienen mayormente de países como China, EE.UU y Colombia

Finalmente como parte del contenido de la guía se desarrolló un ejemplo, mostrando el debido procedimiento de acuerdo con el CSCR-2010/2014 y NDS-2018 para el diseño de elementos, en el desarrollo del mismo se mostraron resultados en donde las solicitaciones eran cumplidas y otros en los que los resultados no cumplían con lo solicitado. Brindando la posibilidad al lector y usuario tener una visión más amplia y poder contar a su vez con las recomendaciones del caso.

# Recomendaciones

Los aspectos críticos relacionados con el diseño y la construcción con madera se deben de minimizar o en el mejor de los casos erradicar con la correcta aplicación de la normativa y reglamentos vigentes durante el desarrollo de estas etapas (diseño y construcción).

Es ideal conocer las cargas a las que se verá sometida la estructura, sin embargo en caso de que estas no sean conocidas como lo fue en este caso, se deben considerar valores sugeridos en otros diseños con estructuras y materiales similares de fuentes fehacientes.

El contenido y la información de esta guía es aplicable al trabajar con fines mayormente educativos considerando a la madera como material principal de diseño y construcción.

Al momento de utilizar los procedimientos sugeridos en el desarrollo de la guía se debe de verificar la validez de las normas nacionales (Costa Rica) e internacionales aplicadas en el desarrollo del ejemplo ya que estas pueden sufrir variaciones o actualizaciones con el transcurrir del tiempo.

Dado que la guía de construcción y diseño con madera ha sido elaborada con fines educativos es importante contar con la orientación y aprobación de un profesional en el área para poder llevar a cabo de manera práctica los procedimientos sugeridos, profundizando la información de los contenidos y procedimientos mostrados en la guía, comparando varios documentos según sea el proyecto que se desea ejecutar y adecuando la información a las necesidades que se desean suplir en el proyecto a desarrollar.

# Referencias Bibliográficas

Beltran, J. N., Escobar, L. M., & Durán, I. I. (2018). Comparación de los métodos de diseño ASD Y LRFD .

Bonilla, A (2012). DESARROLLO DE UN MANUAL PARA USO DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR DE PAREDES EN MADERA.

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos. Código Sísmico de Costa Rica 2010/14.

Entrepisos. (s/f)

Leone, D., & Giordani, C. (2013). Estructura. Obtenido de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_ano/civil1/files/IC%20I-Estructura.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Estructura.pdf)

Letevre, R. (s.f.). Cubiertas de madera. Obtenido de Construcciones Metálicas y de Madera.

Lucano, L. (10 de Noviembre de 2019). Diseño de columnas. Obtenido de Tipos de columnas: <https://es.slideshare.net/zseLENINLUCANO/columnas-definicion-y-tipos>

Pereira, G. (23 de Enero de 2019). SISTEMA ESTRUCTURAL DE MADERA.

Real Academia Española. (s.f.). Especificaciones. En Diccionario de la lengua española.

Real Academia Española. (s.f.). Experiencia. En Diccionario de la lengua española

Riddell, R. (5 de septiembre de 2016). Diseño Estructural.

Vigas . (s / f). Xunta.gal.

# Apéndices.

Apéndice 1: Guía para el diseño y construcción  
con madera en Costa Rica

# GUÍA DE LA MADERA

---

CONSTRUCCIÓN Y  
DISEÑO EN COSTA RICA

ESCRITO POR  
KELLY CASTRO PÉREZ



---

# CONTENIDO

# Índice de contenidos

<b>GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON MADERA.</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA MADERA.</b> .....	<b>10</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	10
1.2 EL ÁRBOL Y SU ESTRUCTURA.....	10
1.3 PROPIEDADES ANATÓMICAS DE LA MADERA.....	14
1.3.1 Coníferas .....	14
1.3.2 Latifoliadas .....	15
1.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....	17
1.4.1 Peso específico real. ....	17
1.4.2. Peso específico .....	18
1.4.3 El contenido de humedad.....	20
1.4.4 La densidad y la dureza.....	21
1.4.5 Propiedades térmicas de la madera .....	23
1.5 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LA MADERA.....	24
1.5.1 El color .....	24
1.6 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA.....	25
1.7 PLANOS PRINCIPALES DE LA MADERA.....	26
1.8 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA .....	27
1.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
<b>CAPÍTULO 2. LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN.</b> .....	<b>31</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	31
2.2 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN.....	31
2.2.1 Madera de uso temporal: .....	32
2.2.2 Maderas de uso definitivo: .....	32
2.3 ASPECTOS GENERALES DE IMPORTANCIA EN LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL.....	33
2.3.1 Ventajas de la madera en la construcción:.....	33
2.3.2 Desventajas de la madera en la construcción.....	36
2.4 LA MADERA VERSUS EL CONCRETO Y EL ACERO.....	37
2.5 BENEFICIOS DE LA PRODUCCIÓN DE LA MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA.....	38
2.6. MERCADO DE MADERA EN COSTA RICA.....	39
2.7. IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y SOCIALES DEL CONSUMO DE MADERA EN COSTA RICA.....	40
2.8 CONCEPTOS BÁSICOS PARA CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO CON MADERA.....	41
2.8.1 Cargas.....	41
2.8.2 Cargas muertas o permanentes: .....	41
2.8.3 Cargas vivas o sobrecargas de servicio .....	42
2.8.4 Cargas ocasionales.....	42
2.9 ESFUERZOS.....	43
2.9.1 Esfuerzo de tracción: .....	43
2.9.2 Esfuerzo de comprensión: .....	43
2.9.3 Esfuerzo de corte o cizalle: .....	43
2.10 Resistencia a la flexión.....	43
2.11 ESTRUCTURA.....	44
2.12 UNIONES ESTRUCTURALES .....	45
2.13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DE ELEMENTOS CON MADERA.</b> .....	<b>50</b>

3.1 INTRODUCCIÓN.....	50
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO A DESARROLLAR.....	51
3.3. COMBINACIONES DE CARGA ÚLTIMA PARA EL DISEÑO POR LRFD .....	57
3.3.1. Cargas Permanentes.....	57
3.3.2. Cargas Temporales .....	58
3.3.3. Cargas Sísmicas.....	58
3.4 ANÁLISIS ESTÁTICO LINEAL SEGÚN CSCR-2010/2014. ....	59
3.4.1. Cimentación según su ubicación y Zona Sísmica. ....	60
3.4.2. Aceleración pico efectiva. ....	61
3.4.3. Factor de Importancia.....	62
3.4.4. Sistema estructural.....	62
3.4.5. Regularidad en altura. ....	62
3.4.6. Regularidad en planta. ....	62
3.4.7. Ductilidad Local. ....	63
3.4.8. Ductilidad Global. ....	63
3.4.9. Período fundamental. ....	63
3.4.10. Factor Espectral Dinámico FED y el Factor de Sobre Resistencia. ....	64
3.4.11. Coeficiente sísmico. ....	64
3.4.12. Cortante basal .....	66
3.4.13 Distribución de fuerzas sísmicas. ....	66
3.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS PARA EL MODELO ESTRUCTURAL.....	67
3.5.1. Carga muerta.....	68
3.5.2. Carga viva. ....	68
3.6 ANÁLISIS. ....	70
3.7 DISEÑO POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA LRFD Y CLASIFICACIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL .....	72
3.7.1. Tipo de madera y esfuerzos admisibles.....	72
3.7.2 Armaduras: Diseño para madera estructural por tracción paralela a la fibra.....	75
3.7.3 Armaduras: Diseño por flexión, cortante y deflexión. ....	75
3.8. DISEÑO DE VIGA DE CERCHA.....	77
3.8.1. Diseño por flexión.....	78
3.8.2. Diseño por cortante.....	84
3.8.3. Diseño por deflexión.....	87
3.9. DISEÑO DE VIGA DE ENTREPISO.....	89
3.9.1. Diseño por flexión. ....	90
3.9.2. Diseño por cortante.....	93
3.9.3. Diseño por deflexión.....	96
3.10. DISEÑO DE COLUMNA.....	99
3.10.1. Diseño por flexión.....	99
3.10.2 Diseño por Compresión. ....	102
3.10.3. Diseño por flexocompresión. ....	110
3.11. DISEÑO DE CONEXIONES Y UNIONES. ....	112
3.11.1. Conexiones con clavos. ....	113
3.11.2 Conexiones con pernos.....	122
3.12. CONEXIÓN VIGA – COLUMNA CON PERNOS. ....	133
3.12.1. Cálculo del número de pernos .....	134
3.12.2. Factores de corrección.....	135
3.12.3. Verificación del número de pernos. ....	135
3.12.4. Espaciamiento mínimo. ....	136
3.13. REQUERIMIENTOS E INFORMACIÓN GENERAL PARA PLANOS CONSTRUCTIVOS. ....	137
3.14 RECOMENDACIONES DEL DISEÑO.....	138
3.15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	139

# Índice de tablas

TABLA 1.1 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO CON SU PESO ESPECÍFICO APARENTE. ....	18
TABLA 1.2. USOS Y CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN SU DENSIDAD BÁSICA .....	22
TABLA 1.3. VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA DISTINTOS MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN ....	23
TABLA 2.1. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA PARA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	38
TABLA 3.1. VALOR DE CARGAS UNITARIAS MÍNIMAS PROPUESTAS.....	58
TABLA 3.2. FACTOR DE REDUCCIÓN DE CARGA TEMPORAL ( $\Xi$ ) .....	59
TABLA 3.3. VALORES DE ZONAS SÍSMICAS SEGÚN EL CANTÓN.....	61
TABLA 3.4 ACELERACIÓN PICO EFECTIVA SEGÚN ZONAS SÍSMICAS Y TIPO DE SITIO.....	61
TABLA 3.5 FACTOR DE IMPORTANCIA SEGÚN ESTRUCTURA. ....	62
TABLA 3.6 DUCTILIDADES GLOBALES ASIGNADAS A CADA TIPO DE SISTEMA SISMORRESISTENTE .....	63
TABLA 3.7 RESÚMEN DE LOS PARÁMETROS HALLADOS. ....	65
TABLA 3.8 FUERZAS SÍSMICAS.....	67
TABLA 3.9 CARGAS PERMANENTES A UTILIZAR.....	68
TABLA 3.10 VALORES DE CARGAS TEMPORALES A UTILIZAR. ....	68
TABLA 3.11 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA ESTRUCTURAL SELECCIONADA. ....	72
TABLA 3.12 FACTORES DE DURACIÓN DE CARGA SEGÚN COMBINACIÓN. ....	73
TABLA 3.13 FACTOR DE RESISTENCIA PARA EL DISEÑO LRFD PARA MADERAS. ....	73
TABLA 3.14 FACTORES DE CORRECCIÓN DE DISEÑO. ....	74
TABLA 3.15 FACTORES DE AJUSTE POR TEMPERATURA.....	79
TABLA 3.16 FACTORES POR CONSIDERAR SEGÚN LA INCIDENCIA DE LA MADERA.....	80
TABLA 3.17 FACTORES DE CONVERSIÓN DE FORMATO. ....	81
TABLA 3.18 FACTORES DE RESISTENCIA PARA DISEÑO LRFD DE MADERAS .....	81
TABLA 3.19 FACTORES DE AJUSTE PARA DISEÑO POR FLEXIÓN. ....	82
TABLA 3.20 FACTORES DE CONVERSIÓN DE FORMATO. ....	85
TABLA 3.21 FACTORES DE AJUSTE PARA CORTANTE DE MADERA ASERRADA UTILIZADOS PARA EL DISEÑO.....	85
TABLA 3.22 LÍMITES DE DEFLEXIONES PARA VIGAS SEGÚN SU USO. ....	87
TABLA 3.23 FACTOR DE LARGO PLAZO PARA DEFORMACIONES SEGÚN LA CONDICIÓN DE MADERA. ....	88
TABLA 3.24 VERIFICACIÓN DE CUMPLIMIENTO.....	89
TABLA 3.25 FACTORES DE CONVERSIÓN DE FORMATO. ....	90
TABLA 3.26 FACTORES DE AJUSTE PARA DISEÑO POR FLEXIÓN. ....	91

TABLA 3.27 FACTORES DE CONVERSIÓN DE FORMATO. ....	<b>94</b>
TABLA 3.28 FACTORES DE AJUSTE PARA CORTANTE DE MADERA ASERRADA UTILIZADOS PARA EL DISEÑO.....	<b>94</b>
TABLA 3.29 LÍMITES DE DEFLEXIONES PARA VIGAS SEGÚN SU USO. ....	<b>96</b>
TABLA 3.30 FACTOR DE LARGO PLAZO PARA DEFORMACIONES SEGÚN LA CONDICIÓN DE MADERA. ....	<b>97</b>
TABLA 3.31 VERIFICACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE LA VIGA DE ENTREPISO. ....	<b>98</b>
TABLA 3.32 FACTORES DE CONVERSIÓN DE FORMATO. ....	<b>100</b>
TABLA 3.33 FACTORES DE AJUSTE PARA DISEÑO POR FLEXIÓN. ....	<b>100</b>
TABLA 3.34 FACTORES DE CONVERSIÓN DE FORMATO. ....	<b>104</b>
TABLA 3.35 FACTORES DE AJUSTE PARA CORTANTE DE MADERA ASERRADA UTILIZADOS PARA EL DISEÑO....	<b>104</b>
TABLA 3.36 FACTORES DE AJUSTE SUGERIDOS PARA CAPACIDAD CORTANTE EN CLAVOS. ....	<b>116</b>
TABLA 3.37 VALORES DE K SEGÚN EL PEB. ....	<b>117</b>
TABLA 3.38 FACTORES DE AJUSTE PARA LA CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN PARA CLAVOS. ....	<b>119</b>
TABLA 3.39 ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS DE CLAVOS EN MADERA. ....	<b>120</b>
TABLA 3.40 ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS DE CLAVOS DE DIÁMETRO, D, EN MM EN UNIONES CLAVADAS EN EXTRACCIÓN LATERAL. ....	<b>122</b>
TABLA 3.41 MAYORACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LAS PERFORACIONES RESPECTO AL DIÁMETRO DEL PERNO, EN MM. ....	<b>122</b>
TABLA 3.42 FACTORES DE MODIFICACIÓN. ....	<b>125</b>
TABLA 3.43 FACTORES DE REDUCCIÓN DE CARGAS POR PÉRDIDAS DE EFICIENCIA EN PERNOS ALINEADOS. ELEMENTOS LATERALES EN MADERA. ....	<b>126</b>
TABLA 3.44 FACTOR DE REDUCCIÓN DE CARGA POR PÉRDIDAS D EFICIENCIA EN PERNOS ALINEADOS. ELEMENTOS LATERALES DE ACERO. ....	<b>127</b>
TABLA 3.45 CONSIDERACIONES PARA TENER EL VALOR DE L EN ELEMENTOS NORMALES. ....	<b>129</b>
TABLA 3.46 CONSIDERACIONES PARA OBTENER EL VALOR DE L EN ELEMENTOS INCLINADOS. ....	<b>129</b>
TABLA 3.47 CARGAS ADMISIBLES. ....	<b>130</b>
TABLA 3.48 ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS DE PERNOS EN MADERA. ....	<b>133</b>
TABLA 3.49 FACTORES DE AJUSTE PARA CAPACIDAD A CORTANTE DEL PERNO A DISEÑAR.....	<b>135</b>

# Índice de figuras

FIGURA 1.1. LA MADERA UN MATERIAL BIOLÓGICO. ....	10
FIGURA 1.2. TRES SECCIONES PRINCIPALES EN LAS CUALES SE DIVIDE UN ÁRBOL. ....	11
FIGURA 1.3. SECCIONES IDENTIFICADAS DE UN TRONCO DESDE EL EXTERIOR HACIA EL INTERIOR AL HACER CORTE TRANSVERSAL DE UN ÁRBOL. ....	11
FIGURA 1.4. COMPOSICIÓN DE LA CORTEZA INTERIOR Y EXTERIOR DE UN TRONCO. ....	12
FIGURA 1.5. ZONA CORRESPONDIENTE AL TEJIDO GENERADOR DE CÉLULAS. ....	12
FIGURA 1.6. SECCIONES QUE TIENEN LA FUNCIÓN DE SOSTÉN. ....	13
FIGURA 1.7. ANILLOS INDICADORES DE CRECIMIENTO EN EL TRONCO. ....	13
FIGURA 1.8. IDENTIFICACIÓN DE LA DURÁMEN Y LA ALBURA EN EL TRONCO. ....	14
FIGURA 1.9. ASPECTO MICROSCÓPICO TRIDIMENSIONAL DE LA MADERA CONÍFERA. ....	15
FIGURA 1.10. ASPECTO MICROSCÓPICO TRIDIMENSIONAL DE LA MADERA DE LATIFOLIADAS. ....	16
FIGURA 1.11. COLOR DE LA MADERA DE ALGUNAS ESPECIES DE COSTA RICA. ....	25
FIGURA 1.12. PLANOS PRINCIPALES DE LA MADERA. ....	26
FIGURA 1.13. GRÁFICA CARGA VS. DEFORMACIÓN. ....	27
FIGURA 2.1. MADERA DE USO TEMPORAL EN ENCOFRADO. ....	32
FIGURA 2.2. ESTRUCTURA CON ACABADOS EN MADERA. ....	33
FIGURA 2.3. USO DE MADERA EN PUENTES PARA PASO DE VEHÍCULOS PESADOS. ....	34
FIGURA 2.4. EDIFICACIONES CONSTRUIDAS CON MADERA COMO PRINCIPAL MATERIAL. ....	34
FUENTE: TOMADA DE EDIFICIOS DE MADERA EN CHILE (2019). ....	34
FIGURA 2.5 IDENTIFICACIÓN DE CARGAS MUERTAS EN UNA VIVIENDA. ....	41
FIGURA 2.6. IDENTIFICACIÓN DE CARGAS VIVAS EN UNA ESTRUCTURA. ....	42
FIGURA 2.7 CARGAS OCASIONALES EN UNA CONSTRUCCIÓN. ....	42
FIGURA 2.9. ESFUERZO QUE SIENTE UN ELEMENTO DE MADERA AL SER SOMETIDO A DOS TIPOS DE CARGA. ..	44
FIGURA 2.10. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS SOBRE UNA ESTRUCTURA. ....	44
FIGURA 2.11. UNIONES COMUNES EN MADERA. ....	45
FIGURA 2.12. USO DE PLETINAS EN LA MADERA. ....	46
FIGURA 2.13. USO DE PERNOS EN ELEMENTO DE MADERA. ....	46
FIGURA 3.1 VISTA FRONTAL DE LA VIVIENDA. ....	52
FIGURA 3.2. ELEMENTOS PRINCIPALES EN MADERA. ....	52
FIGURA 3.4. CORTE TRANSVERSAL, VISTA LATERAL. ....	53
FIGURA 3.5. VISTA EN PLANTA DEL PRIMER NIVEL. ....	54

FIGURA 3.6. VISTA EN PLANTA, SEGUNDO NIVEL. ....	55
FIGURA 3.7. CORTE TRANSVERSAL DE VISTA LONGITUDINAL. ....	56
FIGURA 3.8. RESPECTIVAS ZONAS SÍSMICAS DE COSTA RICA. ....	60
FIGURA 3.9. DIMENSIONES PROPUESTAS PARA LA PIEZA A USAR EN COLUMNA. ....	69
FIGURA 3.10. DIMENSIONES PROPUESTAS PARA LA PIEZA A USAR EN VIGA. ....	69
FIGURA 3.11. DIMENSIONES PROPUESTAS PARA LA PIEZA A USAR EN CERCHAS. ....	69
FIGURA 3.12. MODELO DE MARCO PROPUESTO. ....	70
FIGURA 3.13. ASIGNACIÓN DE LOS ELEMENTOS. ....	71
FIGURA 3.14. MODELO PROPUESTO EN 3D. ....	71
FIGURA 3.15. VIGA DE CERCHA QUE SE DESEA DISEÑAR. ....	77
FIGURA 3.16. VIGA DE ENTREPISO A DISEÑAR. ....	90
FIGURA 3.17. COLUMNA A DISEÑAR. ....	99
FIGURA 3.18. VALORES “K” SEGÚN LA CONDICIÓN DE APOYOS. ....	106
FIGURA 3.19. CIZALLAMIENTO SIMPLE, CLAVO PERPENDICULAR AL GRANO. ....	115
FIGURA 3.21. CARGA DE EXTRACCIÓN DIRECTA SOBRE EL ELEMENTO. ....	118
FIGURA 3.22. ESPACIAMIENTO EN CONDICIÓN HINCADOS SIN PERFORACIÓN PREVIA. ....	121
FIGURA 3.23. ESPACIAMIENTO EN CONDICIÓN HINCADOS CON PERFORACIÓN PREVIA. ....	121
FIGURA 3.24. UNIONES CON PERNOS. ....	123
FIGURA 3.25. DISTINTOS TIPOS DE UNIONES CON PERNOS. ....	125
FIGURA 3.26. CONEXIÓN A DISEÑAR. ....	134

# 1 Capítulo

*Generalidades de la madera*

# GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON MADERA.

## Capítulo 1. Generalidades de la madera.

### 1.1 Introducción

La madera es considerada como un recurso natural de gran valor y que posee un gran potencial, con lo cual puede ser una alternativa para que mediante la creatividad del ser humano se brinde una solución a la temática de la contaminación, debido a que es considerada un recurso natural renovable que puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico independientemente de la especie.

Sus moléculas están compuestas principalmente por celulosa y lignina por esa razón la madera es un material biológico que puede ser atacada por hongos e insectos taladradores.



Figura 1.1. La madera un material biológico.

### 1.2 El árbol y su estructura.

Según CORMA (2002) el árbol está compuesto por tres grandes partes, el tronco, la copa y las raíces. Del tronco se obtiene materia prima la cual es utilizada para la producción de madera aserrada, perfiles y tableros contrachapados; y de la copa (ramas), tableros de hebras orientadas.

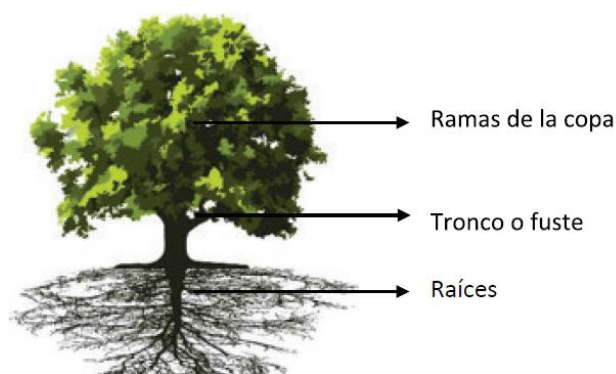


Figura 1.2. Tres secciones principales en las cuales se divide un árbol.

Fuente: Tomada de Portugués (2015).

De acuerdo con la Junta del Acuerdo de Cartagena (1988), la madera es de origen vegetal, cuando forma parte del tronco de los árboles sirve para transportar el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, da soporte a las ramas que forman la copa y fija las sustancias de reserva almacenando los productos transformados en las hojas. Todas estas funciones determinan la naturaleza de la madera.

Sin embargo, al proceder a realizar un corte transversal de un árbol y analizar sus distintas secciones partiendo desde el exterior hacia el interior, se pueden observar zonas claramente diferenciadas tal y como se muestra en la siguiente figura, estas partes cumplen distintas funciones.

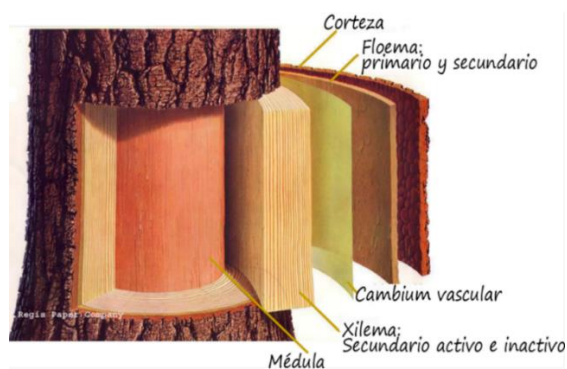


Figura 1.3. Secciones identificadas de un tronco desde el exterior hacia el interior al hacer corte transversal de un árbol.

Fuente: Tomada de Equipo de Redacción PartesDel.com (2017)

Tal y como lo menciona CORMA (2012), es posible describir cada una de las secciones y sus respectivas funciones de la siguiente manera:

- La primera zona apreciable es la corteza, formada por materia muerta, de aspecto resquebrajado, que se divide en corteza exterior y corteza interior (floema).
- La corteza exterior está compuesta por células muertas que cumplen la función de proteger la estructura interior frente a agentes climáticos y biológicos, mientras que la corteza interna es por donde circula la savia elaborada.

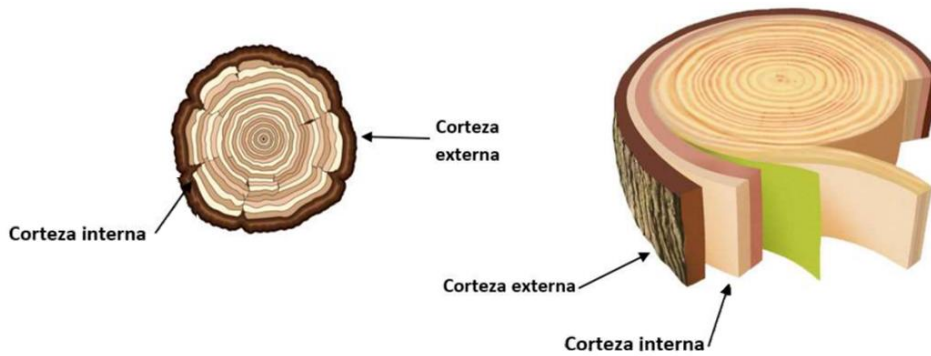


Figura 1.4. Composición de la corteza interior y exterior de un tronco.

Fuente: Tomada de Tecnología técnica (2003).

- Luego se presenta el cambium o cambio, zona que corresponde al tejido generador de células, es decir, donde se produce el crecimiento del árbol. CORMA (2002), indica que hacia la sección interior se forma el xilema y hacia el exterior, se forma el floema.



Figura 1.5. Zona correspondiente al tejido generador de células.

Fuente: Tomada de Tecnología técnica (2003).

- Según información obtenida por CORMA (2002), en el xilema podemos distinguir la albura hacia el exterior, con células que cumplen la función de sostén y traslado de agua y nutrientes.

Hacia el interior del xilema se forma el duramen, compuesto por células inactivas, pero que mantienen la función de sostén.

- En el centro del árbol se encuentra la médula, tejido inactivo sin función específica.

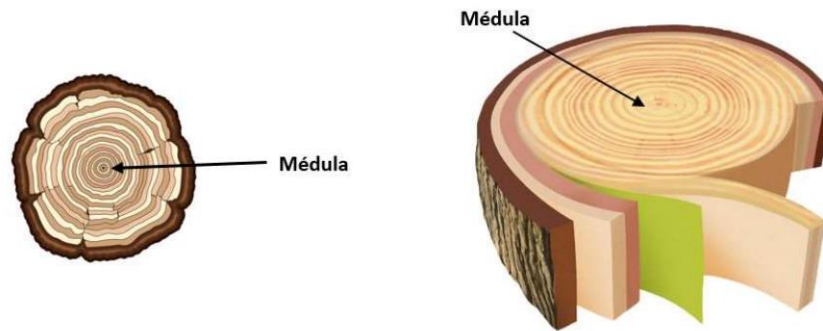


Figura 1.6. Secciones que tienen la función de sostén.

Fuente: Tomada de Tecnología técnica (2003).

- Otra de las características relevantes que destaca CORMA (2002), referente al árbol es que en su sección transversal se encuentran los denominados anillos de crecimiento (concéntricos), los cuales son apreciables a simple vista, dependiendo de la especie.



Figura 1.7. Anillos indicadores de crecimiento en el tronco.

Fuente: Tomada de Tecnología técnica (2003).

La parte de mayor interés para efectos de obtener piezas de madera para la construcción son el duramen (leño viejo del árbol en torno al centro, que es más seco y rígido), junto con la albura (leño joven del árbol, en torno al duramen, que contiene todavía células vivas que transportan agua y nutrientes).

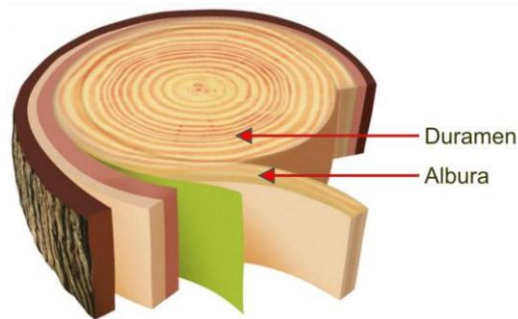


Figura 1.8. Identificación de la durámen y la albura en el tronco.

Fuente: Tomada de Tecnología técnica (2003).

Diaz-vaz (2003), propone que la forma particular de crecimiento que tienen los diferentes tipos de árboles produce infinidad de distintos tipos de maderas. Debido a esto, la diversidad en las propiedades y singularidades que tiene la madera no sólo significa que ella es apropiada para diferentes usos, sino que algunas especies son principalmente adecuadas para un tipo de producción y menos o no adecuadas para otros. De lo anterior resalta la importancia de conocer las características de cada madera y así decidir los usos más adecuados para cada una de ellas.

### 1.3 Propiedades anatómicas de la madera.

Como resultado del proceso metabólico que sufre el árbol debido a que es un organismo vivo, se obtiene la madera, la cual se desarrolla y tiene un crecimiento, así como una estructura celular variable según las condiciones en las que esta se encuentre, entre algunos de los factores que influyen en este proceso se pueden mencionar las zonas geográficas, las condiciones climáticas y la diversidad de los suelos. Debido a esto, las especies arbóreas desde el nivel de su estructura celular se pueden clasificar en dos grandes grupos de árboles:

- Coníferas
- Latifoliadas

#### 1.3.1 Coníferas

Según Diaz-vaz (2003), se identificó que las coníferas, son árboles de copas más o menos piramidales cuyas hojas, en general tienen forma de agujas. La madera de coníferas está constituida esencialmente por células de características homogéneas, del grupo traqueidas, las cuales realizan la doble función de sostén del árbol y conducción de la savia. Las especies

pertenecientes a este grupo presentan un tronco recto, cónico hasta su ápice (extremo superior) y revestido de ramas.

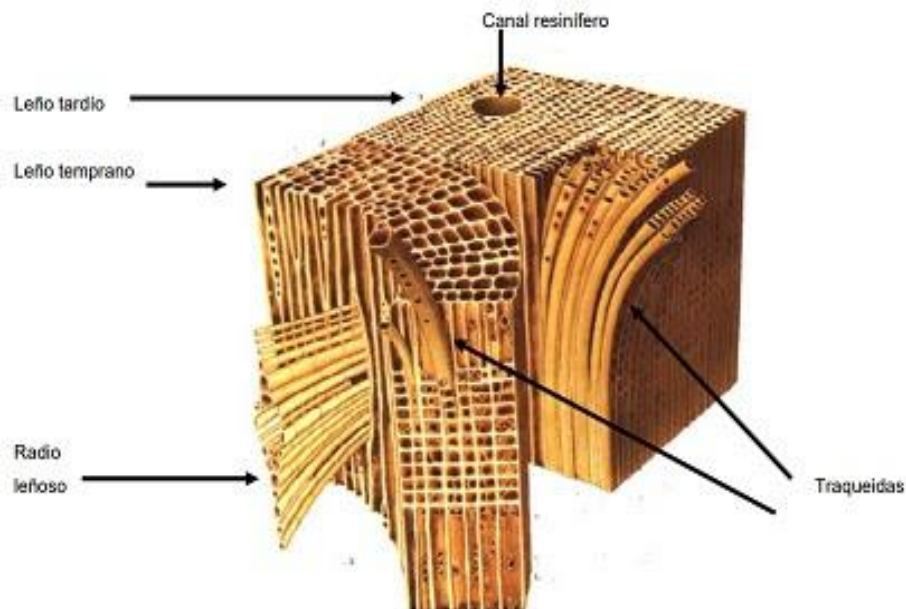


Figura 1.9. Aspecto microscópico tridimensional de la madera Conífera.

Fuente: Tomada de Jimenez et al., (2005).

### 1.3.2 Latifoliadas

De acuerdo con Diaz-vaz (2003) las especies latifoliadas, son árboles que presentan hojas en forma laminar y en general, ramas que se bifurcan adquiriendo forma dendrítica. La madera de latifoliadas proviene del grupo de angiospermas, los que están constituidos esencialmente por vasos, los cuales realizan la función conductora de la savia y por fibras que son el sostén del árbol. De manera general las que son pertenecientes a especies latifoliadas presentan una copa bien ramificada y un tronco que varía en dimensiones y forma. La estructura interna de las Latifoliadas es más especializada y compleja que las Coníferas.

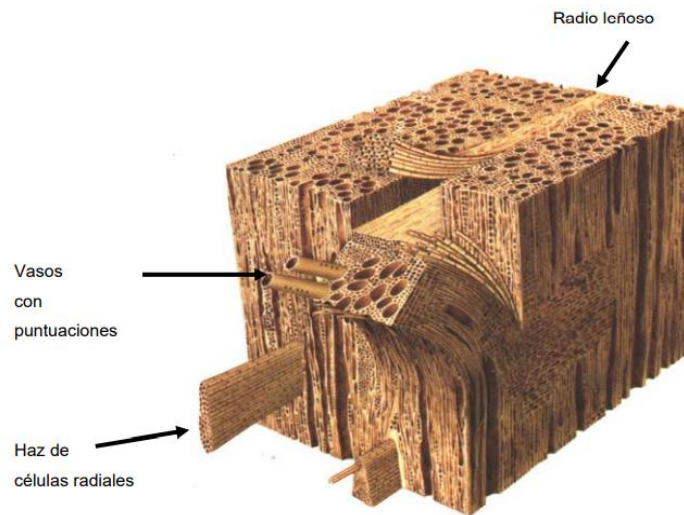


Figura 1.10. Aspecto microscópico tridimensional de la madera de Latifoliadas.

Fuente: Tomada de Tomada de Jimenez et al., (2005).

Díaz-vaz (2003) indica que las diferencias entre las especies coníferas y latifoliadas, también se manifiestan en las maderas que producen estas especies. Es así como las maderas de coníferas son denominadas vulgarmente maderas blandas, en consideración a que la mayoría tiene densidades que oscilan entre los  $0,30 \text{ g/cm}^3$  y los  $0,55 \text{ g/cm}^3$  por ejemplo, pinos, álamos, olmos, cipreses, abetos o cedros. Por su parte, las especies latifoliadas son denominadas maderas duras, ello por cuanto un número importante tiene densidades mayores a los  $0,60 \text{ g/cm}^3$  entre las cuales se pueden mencionar la Caoba, Roble, Nogal, Teca, Olivo, Cerezo, Fresno entre otras. Sin embargo, es necesario tener en consideración que no todas las coníferas tienen densidades reducidas, ni todas las latifoliadas densidades altas.

De acuerdo con el largo que tienen las células que componen la madera, se distinguen maderas de fibra larga y maderas de fibra corta. Se conoce a las coníferas como de fibra larga y a las latifoliadas de fibra corta, aunque al igual que en el caso de la separación entre maderas duras y blandas, las denominaciones de fibra larga y fibra corta no coinciden necesariamente en todos los casos. Independientemente de si se trata de maderas blandas, duras, de fibra corta o larga, los árboles de coníferas y latifoliados empleados en producción forestal concentran parte importante de su biomasa en los troncos. La madera que constituye estos troncos o fustes, cumplen principalmente con tres funciones: sostén, transporte y almacenamiento. Tal y como se ha mencionado la madera es considerado como un material particular que posee distintas propiedades, entre ellas se encuentran las propiedades anatómicas, organolépticas, físicas, químicas, mecánicas y de durabilidad natural, entre muchas otras. Es importante conocer estas

propiedades pues la selección del material será en función de la aplicación que se le dará a la madera considerando si las características son deseables o no para la finalidad deseada.

Por ejemplo, según Cloutier (2002), no es recomendable hacer un piso de una madera muy suave o liviana, que no resista el desgaste que sufrirá cuando esté en uso, ni podemos pretender hacer una maqueta arquitectónica con una madera extremadamente pesada o dura, ni someter a la intemperie una madera de baja durabilidad natural.

#### **1.4 Propiedades físicas de la madera.**

De acuerdo con Ananías R. (2010), las propiedades físicas de la madera incluyen la humedad y la densidad cuyo efecto influye sobre el comportamiento y los cambios dimensionales que esta pueda presentar. Como la madera es un material poroso y heterogéneo y presenta un comportamiento anisotrópico (posee diferentes planos y comportamientos de acuerdo con estos) e higroscópico (tiene la capacidad de intercambiar humedad con el ambiente), sus propiedades físicas son también variables. El conocimiento de las propiedades físicas básicas de la madera, permite procesarla bien y utilizarla adecuadamente.

Suirezs y Berger (2009) destacan las principales propiedades físicas de la madera:

- Peso específico real.
- Peso específico (aparente, aparente estacionado, aparente anhidro, aparente básico, saturado).
- Contenido de humedad.
- Densidad y dureza.
- Propiedades térmicas.

##### **1.4.1 Peso específico real.**

Según Suirezs y Berger (2009) este valor se determina con la relación entre el peso del material y el volumen realmente ocupado por el material leñoso, sin los poros. Este valor está comprendido entre  $1,53 \text{ g/cm}^3$  y  $1,56 \text{ g/cm}^3$  para todas las especies.

## 1.4.2. Peso específico

- **Peso específico aparente:** El peso específico aparente de una madera según Suirezs y Berger (2009) es la relación entre el peso y su volumen basados en lo estipulado en la Norma IRAM N° 9544, incluyendo el volumen de los poros que contiene la madera, medidos en las mismas condiciones de humedad.

**Tabla 1.1** Clasificación de la madera de acuerdo con su peso específico aparente.

<b>Peso Específico Aparente (<math>g/cm^3</math>)</b>	<b>Terminología</b>
Menor a 0,20	Extremadamente liviana
0,20 a 0,25	Excesivamente liviana
0,25 a 0,30	Muy liviana
0,30 a 0,36	Liviana
0,36 a 0,42	Moderadamente liviana
0,42 a 0,50	Moderadamente pesada
0,50 a 0,60	Pesada
0,60 a 0,72	Muy pesada
0,72 a 0,86	Excesivamente pesada
Mayor a 0,86	Extremadamente pesada

Fuente: Adaptada de Carpio (2003).

- **Peso específico aparente estacionado:** Se utiliza la metodología como se establece en la Norma IRAM N° 9544 para la obtención del peso específico aparente estacionado, el peso y el volumen deben ser medidos en las mismas condiciones de humedad. El peso se obtiene en una balanza, y el volumen por mediciones con calibre o por desplazamiento de fluidos, mercurio o agua. Utilizando la siguiente fórmula:

$$PEE = \frac{Pe}{Ve} \quad \text{Ec (1.1)}$$

Donde:

PEE: peso específico aparente estacionado  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$

Pe: peso de la muestra estacionada (g)

Ve: volumen de la muestra estacionada (cm<sup>3</sup>)

- Peso específico aparente anhidro: El peso y volumen de la madera se determinan al 0% de humedad, las medidas de las probetas se toman, después de haber estado veinticuatro horas en estufa a  $103 \pm 2^\circ C$  aplicando la siguiente fórmula, tomada de la Norma IRAM N° 9544.

$$PEE = \frac{P_o}{V_o} \quad \text{Ec (1.2)}$$

Donde:

PEA: peso específico aparente anhidro

Po: peso de la muestra seca (g).

Vo: volumen de la muestra seca (cm<sup>3</sup>).

- Peso específico aparente básico: El peso específico aparente básico se determina con la Norma IRAM N° 9544 la cual considera la relación del peso seco de la muestra sobre el volumen saturado. El volumen se mide, una vez que se asegura la saturación de las muestras, dejando las probetas sumergidas en agua por aproximadamente siete días.

$$PEB = \frac{P_o}{V_s} \quad \text{Ec (1.3)}$$

Siendo:

PEB: peso específico básico  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$

Po: peso de la muestra seca (g).

Vs: volumen de la muestra saturada (cm<sup>3</sup>).

- Peso específico saturado: El peso específico saturado se determina relacionando el peso saturado de la muestra y el volumen saturado. El peso y el volumen se miden una vez que se asegura la saturación de las muestras. Para determinar esta propiedad se considera la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1162 establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012) en donde la densidad básica o también llamado peso específico básico (PEB) considera la masa seca y el volumen de la madera saturada con agua, lo que se expresa como:

$$D_B = \frac{P_s}{V_v} \quad \text{Ec (1.4)}$$

Donde:

$D_B$ : densidad básica  $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ o } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$P_s$ : peso o masa seca de la madera (g o kg).

$V_v$ : volumen de la madera saturada de agua ( $\text{cm}^3$  o  $\text{m}^3$ ).

#### 1.4.3 El contenido de humedad.

Según lo menciona CORMA (2003), la estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad, esta se encuentra como agua ligada en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares. Para determinar la humedad en la madera, se considera el procedimiento descrito por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012) el cual determina esta propiedad con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1160 1983-12 la cual se basa en la designación ASTM D 3016-65 donde se establece una relación entre la masa de agua contenida en una pieza y la masa de la pieza seca expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad. Por ejemplo, si una pieza de madera contiene 15% de humedad, significa que posee 15 kg de agua por cada 100 kg de madera.

$$C_H = \left( \frac{P_v - P_s}{P_s} \right) \cdot 100 \quad \text{Ec (1.5)}$$

Donde:

$C_H$ : humedad de la madera expresada como un porcentaje de su peso seco (%).

$P_v$ : peso de la madera en estado verde o inicial (g).

$P_s$ : peso de la madera en estado seco o final (g).

#### 1.4.4 La densidad y la dureza.

Portugués (2015) escribió que la dureza es un indicador sobre cuán fácil o difícil es cortar o penetrar la madera mientras que la densidad expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan. Según Ananías (2010), se define a la madera como un material poroso, por tal motivo deben considerarse al referirse a la densidad de la madera, el volumen interno de los espacios vacíos existentes.

De acuerdo con CORMA (2003), en la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera además se puede usar como estimador de la facilidad con que se deja trabajar (cortar, cepillar, moldurar, etc.) o como indicador de la facilidad para tratar la madera (secar o preservar).

Según Ananías R. (2010), menciona que las maderas de mayor densidad presentan una mejor resistencia mecánica y una mayor cantidad de material leñoso, pero su trabajabilidad y tratamiento son de mayor dificultad.

Según sea la densidad que presente una madera, así será el uso adecuado que se le dé, existen distintas densidades básicas para la madera con la cual se trabaja a nivel nacional, lo cual a su vez genera que esta pueda ser empleada en distintos productos o aplicaciones. Algunas de las maderas costarricenses y sus respectivos usos y clasificaciones son las siguientes:

**Tabla 1.2.** Usos y clasificación de la madera según su densidad básica  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Especie	Densidad básica $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Usos	Clasificación
Balsa ( <i>Ochroma pyramidale</i> )	0,13	Maquetas, aeromodelismo, flotadores	Extremadamente liviana.
Ceiba ( <i>Ceiba pentandra</i> )	0,24	Carpintería, construcción, formaletas y cajas.	Excesivamente liviana.
Sangrillo ( <i>Pterocarpus officinalis</i> )	0,28	Carpintería, construcción interna y formaletas.	Muy liviana.
Javillo ( <i>Hura crepitans</i> )	0,30 a 0,36	Carpintería, construcción interna y muebles.	Liviana
Lechoso ( <i>Brosimum utile</i> )	0,40	Carpintería general y construcción interna	Moderadamente liviana
Cedro María ( <i>Calophyllum brasiliense</i> )	0,42-0,50	Construcción, muebles y carpintería en general.	Moderadamente pesada
Cocobolo ( <i>Dalbergia retusa</i> )	0,72	Esculturas, artesanías e instrumentos musicales.	Pesada
Chiricano ( <i>Vantanea barbourii</i> )	0,60	Construcción en general, pisos y carrocería.	Muy pesada
Nazareno ( <i>Peltogyne purpurea</i> )	0,83	Construcción pesada, pisos y ebanistería)	Excesivamente pesada

Fuente: Adaptado de Jiménez et al., (2011).

### 1.4.5 Propiedades térmicas de la madera.

Considerando lo mencionado por Bertot y Junco (2006) la conductividad térmica de la madera es afectada por varios factores entre ellos la densidad, el contenido de humedad y la temperatura así mismo Noves, H. A. en su artículo indica que la madera y demás materiales celulósicos son malos conductores del calor debido a que estos cuerpos tienen escasez de electrones libres, los cuales son responsables de una fácil transmisión de esta forma de energía (lo contrario de lo que ocurre en los metales). Teniendo en cuenta que la conductividad térmica es la propiedad física que nos indica la mayor o menor facilidad con que una sustancia determinada realiza la transmisión de calor esta propiedad en los materiales corrientemente empleados en la construcción es muy superior a la que presentan los productos forestales, como se puede apreciar en los valores siguientes:

**Tabla 1.3.** Valores de conductividad térmica para distintos materiales en la construcción  
 $\left(\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}\right)$

Material	Conductividad térmica $\left(\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}\right)$
Aluminio	172
Acero	39
Hormigón	1
Ladrillo macizo	0,75
Vidrio	0,6
Yeso	0,45
Madera de coníferas	0,11

Fuente: Tomada de (Noves)

Basados en la tabla anterior se puede observar que el calor específico de la madera es bajo, lo que significa que no se requiere mucho calor para llegar a los 150°C, temperatura a la que empiezan a desprenderse gases combustibles y por tanto a aparecer las llamas. Sin embargo, una vez que la madera entra en combustión hay que tener en cuenta la formación de carbón en las capas externas, lo que retrasa la difusión del calor hacia su interior constituyendo una

barrera térmica que actúa como aislante. La zona interior de la pieza no sufre apenas ninguna modificación y conserva intactas sus propiedades mecánicas, el acero o el hormigón se comportan de forma totalmente diferente. La velocidad de carbonización aproximada de la madera es de 0,7 mm/min. A pesar de que es un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es menos peligroso de lo que la gente se piensa por las siguientes razones: su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior, la carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor y al ser despreciable su dilatación térmica no actúa sobre las estructuras y no las deforma.

### **1.5 Propiedades organolépticas de la madera.**

Este tipo de propiedades son aquellas que abarcan las características que pueden ser identificadas de forma macroscópica o, dicho de otra forma, con los sentidos, pues dentro de las propiedades organolépticas se agrupan aspectos de la madera como lo son el color, textura, veteado, grano, sabor, brillo y olor.

#### 1.5.1 El color

Esta es una de las características de fácil observación en la madera y está asociada a propiedades muy diversas como su edad y valor comercial, siempre hace referencia a la tonalidad que presenta el duramen y es bastante subjetiva. Según lo menciona González (2008) el color varía no solo entre diferentes clases, sino también dentro de una especie y en algunos casos dentro de la misma pieza de madera. Además, que el color de un árbol recién cortado puede ser completamente diferente a la madera seca y procesada, muchas especies cambian de color con el tiempo y con la exposición a la luz. Considerando lo mencionado por Wiedenhoeft (2011) "una complicación adicional es que las personas vemos los colores de forma diferente, y las palabras para describir el color, a menudo no significa exactamente lo mismo para diferentes personas". En Costa Rica hay presencia de maderas cuya pigmentación de color es muy variada, existen desde muy claras, casi blancas y amarillas, hasta otras muy oscuras, así como moradas y verdes.

Portuguez (2015) coincide que el color particular de algunas especies maderables juega un papel importante en la elaboración de productos de alta calidad, mueblería, ebanistería, suvenires y acabados de lujo, muchas veces coincide que maderas de bellos colores, también presenta una alta durabilidad natural, esto debido a la presencia de compuestos en sus lúmenes que dan determinado color, pero también sirven para proteger al árbol del ataque de agentes externos.



Figura 1.11. Color de la madera de algunas especies de Costa Rica.

Fuente: Tomada de Portugués (2015).

## 1.6 Propiedades químicas de la madera.

Según Diaz-vaz (2003) la madera tiene una peculiar composición química, las células están constituidas principalmente por celulosa, entre el 40% y 45% de la pared celular, también acompañan a la celulosa otro grupo de hemicelulosas que pueden estar entre un 20% y 30%, así como la lignina (20% y 30%) y algunos otros compuestos accesorios (extraíbles) que se pueden presentar de 1% a 10%. Monteoliva (2009) menciona que la composición química de la madera determina usos y además influencia la durabilidad natural de las especies y por lo tanto existe la necesidad de preservarla para aumentar dicha durabilidad (durabilidad adquirida).

## 1.7 Planos principales de la madera.

Un aspecto importante por considerar son los planos que pueda presentar la madera ya que las propiedades que presenta dependen del proceso mediante el cual fue obtenida y elaborada la pieza, así mismo presentará variación según el tipo de madera, la zona climática, la edad que tenga el árbol del cual se haya obtenido la madera entre otros factores.

Se sabe que la madera es un material anisotrópico, esto implica que sus propiedades mecánicas y su comportamiento físico varían en función de la posición en la cual sean analizadas respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento.

Por tal razón considerando lo mencionado por Suirezs y Berger (2009) se han establecido tres ejes:

- Eje tangencial: El eje tangencial, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza (coincidente con la sección tangencial).
- Eje radial: Es determinado por el eje del tronco y un diámetro (coincidente con la sección radial).
- Eje axial o longitudinal: Es normal al eje del tronco (paralelo al eje de crecimiento del árbol).

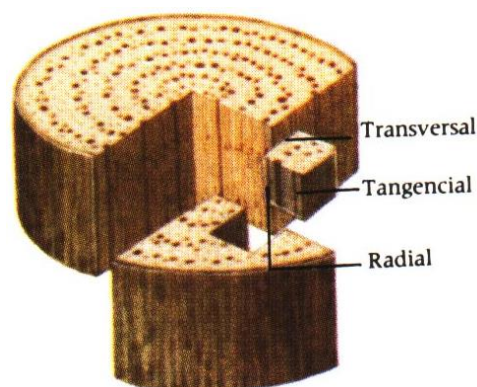


Figura 1.12. Planos principales de la madera.

Fuente: Tomada de Tecnología técnica (2003).

## 1.8 Propiedades mecánicas de la madera

Tal y como lo menciona Pintado (2017) la resistencia de la madera está influenciada por factores como los tipos de cargas aplicadas, la dirección y duración de la carga aplicada, también de la temperatura y humedad. Por lo tanto, para determinar que comportamiento mecánico tendrá la madera, es necesario que esta sea puesta a prueba, por esa razón existen métodos y ensayos basados en la Norma ASTM D143 así como otras normas aplicables a la metodología LRFD que permiten determinar los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida, incluyendo la resistencia a la flexión, resistencia a la tracción y resistencia a la cizalladura.

Estos ensayos de manera gráfica muestran que, al aplicar una carga en el elemento, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente, la cual será representada por una recta, la cual sufrirá una variación hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado, si no se excede este límite la madera volverá a su forma original al ser retirada la carga o al menos no sufrirá de daños permanentes. Pero en caso de que se continúe aumentando la carga, se logra la rotura del material, en el punto de rotura o falla la carga aplicada provocará una deformación permanente, es decir el material no podrá volver a su forma original.

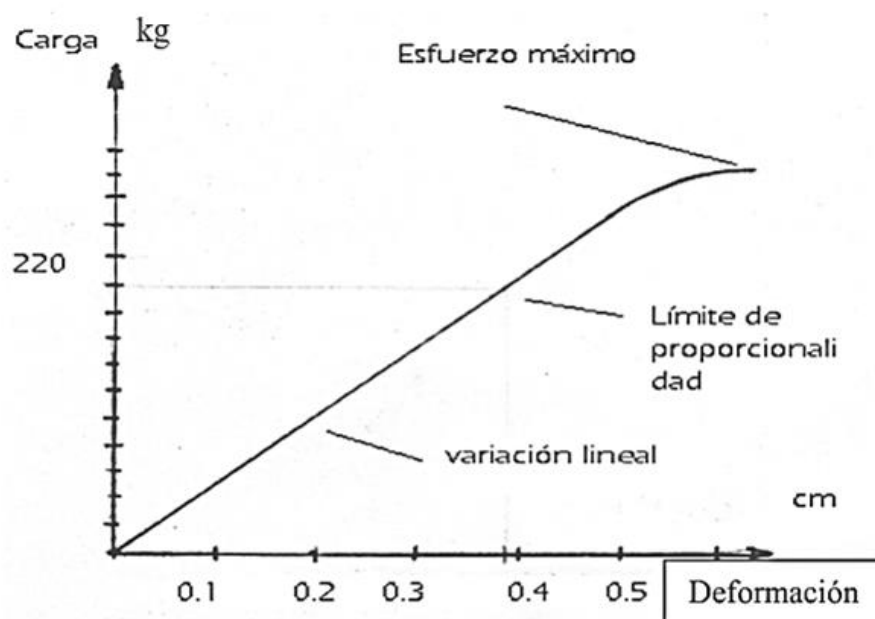


Figura 1.13. Gráfica carga vs. deformación.

## 1.9 Referencias Bibliográficas

- Ananías, R. (2010) s.f. Física de la madera. Material del curso. Departamento Ingeniería en maderas. Universidad del Bio Bio, Chile.
- Annual Book of ASTM, American Society for Testing Material, ASTM D143 – 94, Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber (Strip Method), 2000
- Carpio, I. 2003. Maderas de Costa Rica. 150 especies forestales. Segunda edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Corporación Chilena de la Madera (CORMA). s.f. Manual la construcción de viviendas en madera. Chile.
- Cloutier, A. 2002. Apuntes de anatomía avanzada de la madera. Material del curso. Departamento de Ciencias Forestales y de la madera. Universidad Laval. Canadá.
- Designación ASTM D 3016-65. Moisture content of wood. American Society for Testing and Materials. Filadelfia, 1970.
- Diaz-vaz, J. 2003. Anatomía de la madera. 1a ed. Marisa Cuneo Ediciones. Chile.
- Equipo de Redacción PartesDel.com. (marzo de 2017). Portal educativo . Obtenido de Portal educativo Partesdel.com.: <https://www.partesdel.com/tronco.html>
- Facultad de ingeniería UNAM. (7 de Mayo de 2018). Consideraciones técnicas de la madera. Obtenido de Facultad de ingeniería UNAM: [https://nanopdf.com/download/137-v-consideraciones-tecnicas-de-la-madera-v1\\_pdf#](https://nanopdf.com/download/137-v-consideraciones-tecnicas-de-la-madera-v1_pdf#)
- Flores, E.; Obando, G. 2003. Árboles del Trópico Húmedo. Importancia socioeconómica. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Gimenez, A. M., Moglia, J. G., Hernandez, P., & Gerez, R. (04 de Julio de 2005). Anatomía de la madera. Obtenido de Anatomía de la madera.: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>
- González, E. 2008. Guía de Contenidos “Identificación Organoléptica y Macroscópica de Maderas Comerciales”. CITEMADERA. Primera edición. Perú.
- Hernández, H. 2010. Editorial: el mañana es la edad de la madera Maderas ciencia y tecnología. 12(2) 67-68.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (20 de Noviembre de 2012). Woods. Moisture content determination. Obtenido de maderas. Determinación del contenido de: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normalmas/1160.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (26 de junio de 2013). Norma técnica ecuatoriana. Obtenido de maderas. Determinación de la densidad aparente: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normalmas/1162.pdf>
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM 9544. 1973. Método de la determinación de la densidad aparente. Pp. 10.

- Jiménez, Q.; Rojas, F.; Rojas, V.; Rodríguez, L. 2011. Árboles maderables de Costa Rica. Ecología y silvicultura. Segunda edición. Editorial INBio. Costa Rica.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del grupo andino para la preservación de la madera. Editorial PRID-MADERA. Cartagena. Colombia.
- Monteoliva, S. (2009). La madera: propiedades y productos forestales . Obtenido de XILOTECNOLOGÍA: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19010/mod\\_resource/content/1/Clase%201%20Xilo.%20Propiedades%20madera.p](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19010/mod_resource/content/1/Clase%201%20Xilo.%20Propiedades%20madera.p)
- Noves, H. A. (s.f.). La madera como aislante térmico. Obtenido de [https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_1177\\_17059.pdf](https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1177_17059.pdf)
- Ordóñez, J.; Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y bosques. 7 (1)3-12
- Pacheco Bertot, P., & Juliá Junco, E. (Enero-Abril de 2006). Universidad de Oriente. Obtenido de SECADO DE LA MADERA: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543749004.pdf>
- Partes del tronco. (s. f.). [Ilustración]. Partes del tronco. <https://www.partesdel.com/wp-content/uploads/Peridermis.png>
- Pintado, G. I. (24 de Octubre de 2017). ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS. Obtenido de <file:///D:/Omar/Downloads/Tesis%20I.%20M.%20426%20%20Suqui%20Pintado%20Germ%C3%a1n%20Israel.pdf>
- Portugués, A. C. (2015). Manual de uso de la madera para la construcción. [http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/manual\\_1.pdf](http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/manual_1.pdf)
- Procedimientos técnicos en madera. (s. f.). [Ilustración]. Partes de la corteza de un arbol. [https://www.tecnologiatecnica.com.ar/pdflamadera/procedimientos\\_tecnicos\\_lamadera.pdf](https://www.tecnologiatecnica.com.ar/pdflamadera/procedimientos_tecnicos_lamadera.pdf)
- Suirezs, T. M., & Berger, G. (2009). DESCRIPCIONES DE LAS PROPIEDADES. Obtenido de [https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/f5\\_978-950-579-154-5.pdf](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf)
- técnicos en madera (fotografía). Obtenido de Tecnología técnica: [https://www.tecnologiatecnica.com.ar/pdflamadera/procedimientos\\_tecnicos\\_lamadera.pdf](https://www.tecnologiatecnica.com.ar/pdflamadera/procedimientos_tecnicos_lamadera.pdf)
- Wiedenhoef, A. 2011. Identificación de las especies maderables de Centroamérica. Forest Products Society. Estados Unidos.

The background of the entire page is a close-up, vertical view of dark brown wooden planks. The planks are arranged side-by-side, showing natural wood grain patterns, knots, and some minor imperfections like small holes and cracks. The lighting is slightly uneven, creating subtle gradients of brown and tan across the surface.

# 2 Capítulo

*Construcción con madera*

## Capítulo 2. La madera en la construcción.

### 2.1 Introducción.

La madera en la actualidad como material de construcción, es considerado el recurso natural más antiguo empleado por el hombre; se ha utilizado como combustible, herramientas y más allá como protección y muchas de las culturas de la humanidad la han empleado en sus obras constructivas. Además, es un material noble, renovable, sano, sostenible, estético y confortable. Por lo tanto, el conocimiento que se pueda poseer sobre la naturaleza de la madera es de mucha relevancia, ya que identificar cuáles son sus características y su comportamiento frente a diversas situaciones, permite establecer y efectuar un buen uso de este material en el ámbito del diseño y de la construcción.

Con el desarrollo del siguiente capítulo se analizarán las ventajas que presenta la madera y cuáles son los conceptos que son considerados como básicos en el tema de la construcción y diseño con madera, con el propósito de comprender mejor como es el funcionamiento de este material. Debido a lo desarrollado en el capítulo anterior se sabe que la madera presenta ciertas características que son importantes de conocer ya que es un material biológico.

Otro aspecto importante es conocer cuales maderas se producen a nivel de Costa Rica y cuáles son las implicaciones que la producción de madera tiene para el país a nivel económico y social. Bonilla (2012), destaca que la madera en la construcción de viviendas y estructuras de uso público es un tema que está tomando cada vez más fuerza globalmente, sobre todo en la actualidad donde existen investigaciones científicas y ejemplos claros de sus propiedades y múltiples formas de utilizarla.

### 2.2 Clasificación de la madera en la construcción

Básicamente en el ámbito de la construcción se puede clasificar a la madera en dos grandes grupos, los cuales son: madera de uso temporal y madera de uso definitivo.

### 2.2.1 Madera de uso temporal:

Tal y como su nombre lo indica es aquella madera que solamente cumplirá una función específica dentro de la construcción por un tiempo determinado, para posteriormente ser retirada, claros ejemplos de este tipo son las estacas de madera utilizadas para colocar la cuerda con el objetivo de trazar la línea de centro de las paredes, así como también las conocidas formaleas de madera las cuales se usan para dar forma y apoyo estructural al concreto, pero que luego es retirada.



Figura 2.1. Madera de uso temporal en encofrado.

Fuente: Tomada de Souza (2020).

### 2.2.2 Maderas de uso definitivo:

Se consideran como maderas de uso definitivo a aquellas que tal y como su nombre lo indica forman parte de la estructura o en los acabados, permanentemente, siendo un elemento esencial en la vida útil. Estas estructuras de madera deben de seguir lineamientos en aspectos como la seguridad, resistencia y durabilidad con el afán de cumplir de la mejor manera su vida útil. Estas construcciones deben contemplar tal y como lo menciona Portugués (2015) aspectos relacionados con el aislamiento térmico y acústico, aislamiento a la humedad, resistencia al fuego y protección en todas las áreas.



Figura 2.2. Estructura con acabados en madera.

Fuente: Tomada de Souza (2020).

### **2.3 Aspectos generales de importancia en la madera como elemento estructural.**

A nivel global, la sociedad solía explotar los recursos naturales de manera indiscriminada, pero poco a poco las comunidades se han vuelto más conscientes de la necesidad de lograr un necesario equilibrio ecológico y no comprometer el futuro. Con esto en mente, y con el fin de valorar la importancia y los riesgos que tiene la madera en la construcción, es conveniente saber sus ventajas y sus desventajas, señaladas a continuación:

#### 2.3.1 Ventajas de la madera en la construcción:

- a. Su uso no se limita solamente a viviendas, sino que también es adecuada para otro tipo de estructuras, como por ejemplo los puentes de madera.



Figura 2.3. Uso de madera en puentes para paso de vehículos pesados.

Fuente: Tomada de Baño, et al.(2018).

Otras formas de involucrar a la madera en la construcción han sido en obras como edificios de varios pisos, establecimientos comerciales, pabellones y polideportivos, aptos para la realización de cualquier actividad cultural.



Figura 2.4. Edificaciones construidas con madera como principal material.

Fuente: Tomada de Edificios de madera en Chile (2019).

- a. Tal y como lo menciona Noves, H. A. en su artículo, la madera en la construcción tiene la función de absorber y expulsar la humedad de las edificaciones, regularizando así el ambiente interior. Las construcciones en madera actúan como aislantes, al contrario de las que están fabricadas con otros materiales.
- b. Otra ventaja bastante importante es que la madera tiene una relación resistencia peso más favorable que el acero, y mucho más favorable que el concreto.
- c. Además, la madera es uno de los pocos materiales que envejecen naturalmente y este proceso puede incluso durar siglos.
- d. Cabe resaltar que la madera es natural, biodegradable, reciclable, aislante y no tóxica. Su resistencia, dureza, manejabilidad, propiedades físicas y mecánicas, así como sus posibilidades decorativas, la convierten en un producto ideal para la construcción.
- e. La madera es un material estructural ecológico ya que requiere menos energía para trabajarla y causa menor contaminación del agua y el aire comparada con otros materiales de construcción.
- f. La construcción en madera tiene grandes ventajas contra sismos. Una construcción de madera con un bajo peso en caso de un terremoto cede ante la oscilación, pero no se derrumba y hay menos riesgos de sufrir daños debido a un colapso que en construcciones del mismo tamaño hechas con acero y concreto.
- g. Debido al bajo peso que tiene la madera, se genera un ahorro económico sustancial en los procesos a los que se somete y en sus costos de transporte.
- h. El tiempo empleado para realizar una casa de madera es menor que el empleado en una casa del mismo tamaño con un sistema de construcción tradicional.
- i. Se pueden hacer modificaciones o ampliaciones en la construcción sin necesidad de demoler y causar grandes molestias a sus usuarios.
- j. Una vivienda de madera correctamente diseñada puede soportar un incendio en mayor medida que una casa tradicional.
- k. Asimismo, estas construcciones son más saludables porque la madera bien tratada no permite humedad y, por ende, evita enfermedades al ser humano como alergias y asma entre otras, características de los climas tropicales húmedos.

1. En relación con la madera, la construcción permite un uso intensivo de este recurso casi en bruto, lo cual se traduce en una menor inversión de energía durante el proceso de transformación de este material.

En el reciente auge de la construcción bioclimática, la cual busca reducir el consumo de energía y traer beneficios económicos, ecológicos y de confort para los usuarios, la madera encaja perfectamente como material constructivo. Sin embargo, todo lo que existe tiene un lado bueno y un lado malo, por lo que es importante señalar también las desventajas del uso de madera en la construcción.

### 2.3.2 Desventajas de la madera en la construcción.

- a. La madera es un material propenso al ataque de agentes xilófagos. Si bien la madera es resistente, es necesaria una adecuada protección de la madera ya que, sin ella, la durabilidad de la construcción se puede ver perjudicada.
- b. La madera, al ser un material ortótropo, no posee los mismos módulos de resistencia mecánica en todas sus direcciones, sino que varían con relación a la dirección de sus fibras. Esto puede generar inestabilidad en la estructura si no se selecciona el tipo adecuado de madera.
- c. Es necesario realizar un diseño casi perfecto (que cobra más importancia que al usar otros materiales) para asegurar la resistencia del edificio ante diferentes condiciones ambientales, en constante cambio por factores bióticos.
- d. Poco conocimiento por parte de los arquitectos e ingenieros sobre las propiedades, técnicas de cultivo y procesamiento de la madera, son factores que han contribuido a que la madera termine considerándose como un material apto solamente para construcciones rústicas o temporales de poco valor, o limitada “únicamente para hacer pequeños adornos en las casas y fabricar muebles”

## 2.4 La madera versus el concreto y el acero.

Al comparar la madera como material constructivo en relación con otros materiales convencionales Zepeda (2008) menciona que si bien el concreto y la mampostería son materiales de altas prestaciones técnicas (resistencia y durabilidad), desde el punto de vista de la bioconstrucción y la bioarquitectura (“casa sana”) son de los materiales más controvertidos, debido en parte a la toxicidad de algunas de las sustancias que se desprenden en su fraguado, a los altos niveles de radiactividad que emiten cuando se emplean gravas y arenas cristalinas (cuárcicas y silíceas), a las distorsiones que el metal produce en el campo eléctrico natural y a que conducen relativamente bien el calor y dan sensación de frío, entre otros.

Además, las edificaciones construidas con armazón de hierro o abundante concreto armado pueden provocar en sus moradores agudos problemas de estrés, depresiones y una cierta desvitalización por el efecto conocido como Caja Faraday. Todos estos y otros efectos son conocidos internacionalmente como el Síndrome del Edificio Enfermo

Desde el punto de vista ambiental, el concreto tiene importantes efectos en sus etapas de extracción de la materia prima (uso de energía, erosión y alteración del suelo, degradación de la calidad del agua y del aire) y de producción (consumo de combustibles fósiles en el quemado del clínker, contaminación del agua, emisiones de CO<sub>2</sub> que causan efecto invernadero y calentamiento global, de NO<sub>2</sub> que causan smog y lluvia ácida, de SO<sub>2</sub> que causan acidificación y de partículas que causan problemas respiratorios y de visibilidad).

Por otra parte, el acero consume también gran cantidad de energías fósiles en las etapas de extracción, transporte de la materia prima y producción, que requiere de altos hornos. La fundición del metal produce un rango completo de emisiones dañinas para el ambiente, tales como óxidos de sulfuro de la reducción mineral y fluoruros. Zepeda (2008) destaca que, en materia ecológica, el aspecto energético es el de mayor peso. La producción de una tonelada de madera demanda 580 kW·h, la de aluminio, 126 veces más; la de acero, 24 veces más; vidrio, 14 veces más; productos sintéticos, 6 veces más; cemento, 5 veces más; y la de ladrillos, 4 veces más. Se puede afirmar que, por lo general, los materiales de construcción naturales, como la madera, son óptimos desde el punto de vista ecoarmónico.

**Tabla 2.1.** Requerimientos de energía para producción de materiales de construcción.

<b>Material</b>	<b><math>kW \cdot h</math></b>	<b><math>kW \cdot h</math></b>
	<b><math>t</math></b>	<b><math>m^3</math></b>
Hormigón 1:3:6	275	600
Hormigón 1:2:4	360	800
Cemento	2200	2860
Mortero	277	400
Acero	13200	103000
Aluminio	2700	75600
Madera local secada al aire	200	110
Madera verde	200	220
Plásticos	45000	47000

Fuente: Adaptada de (Zepeda, 2008)

Así mismo tomando en consideración a Portugués (2015), quien también menciona que entre viviendas de madera o bloque, las construidas en madera son mucho más eficientes en el consumo de energía, las casas de madera representan 28% de ahorro de demanda de energía, lo que se puede traducir en 376 litros menos de combustible al año.

Por otra parte Monteoliva (2009) destaca que la madera en el área de la construcción puede ser utilizada en su forma básica inalterada, cuyas características la diferencian de otros materiales (plástico, hormigón, hierro) al considerar que la madera se presenta en diferentes formas y tamaños, pero es posible cortarla (aserrado o laminado), triturarla (astillas) y desfibrarla (fibras) para utilizar el subproducto en diferentes aplicaciones, además puede ser trabajada con herramientas manuales o industriales, cepillada, lijada, clavada, atornillada, encolada, pintada todo esto sumado al gran listado de ventajas descritas en el apartado anterior, hacen de la madera, un material sobresaliente.

## **2.5 Beneficios de la producción de la madera para la construcción en Costa Rica.**

La mayoría de madera que es utilizada en Costa Rica proviene de plantaciones forestales y bosques manejados de forma sostenible. Ambos tipos de maderas son recursos renovables que son capaces de brindar grandes beneficios al ecosistema como el enriquecimiento del suelo, fuente de vida silvestre y biodiversidad, regula el ciclo hidrológico, disminuye la contaminación atmosférica, entre muchos otros beneficios para el país tan solo al hablar de la producción de la madera.

Portugués (2015) menciona dentro de los beneficios más destacados en la actualidad, es que el cultivo de especies forestales y el consumo de productos de madera es una de las principales fuentes de captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y su costo es relativamente bajo.

Según Ordóñez y Maserá (2001) la vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos períodos, a través de la fotosíntesis, es por esta razón que las plantaciones y los bosques son importantes sumideros de carbono.

Además, Vega (2010) destaca que "como promedio un árbol absorbe a través de la fotosíntesis, el equivalente a una tonelada de CO<sub>2</sub> por cada metro cúbico de madera, al mismo tiempo que produce el equivalente a 0,7 toneladas de oxígeno. Cada metro cúbico de madera usado como sustituto de otros materiales de la construcción reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en 1,1 toneladas. Si se añade esto a la tonelada almacenada en la madera, cada metro cúbico ahorra un total de 2,1 toneladas de CO<sub>2</sub>"

Bonilla (2012), concluyó que la actual crisis energética abre un período que estimulará el ahorro y las fuentes alternativas, haciendo surgir las nuevas ideas sobre la construcción y el urbanismo sostenible, buscando solucionar específicamente el problema de los gases invernadero, convirtiendo a la madera como un buen candidato en el área de materiales en la construcción.

## **2.6. Mercado de madera en Costa Rica.**

De acuerdo con Santamaría et al., 2015, el tamaño del mercado nacional de madera y derivados es de 643 000 - 669 000 m<sup>3</sup> anuales y sus actividades suman a la economía más de \$300 millones registrados en el año 2014, generando a su vez cerca de 15 000 empleos permanentes.

En Costa Rica existen varias fuentes de donde la industria primaria forestal obtiene cerca de 1 millón de m<sup>3</sup> en rollo de madera anuales destinados a la elaboración de distintos productos. En 2013 la industria forestal abasteció 73,2% de su demanda de plantaciones forestales, donde predomina la madera de teca y melina (712 000 m<sup>3</sup>); 21,9 % de la madera proviene de terrenos de uso agropecuario (212 000 m<sup>3</sup>) y solo 5% de bosques (48 000 m<sup>3</sup>) (ONF, 2014).

Sin embargo el suministro de madera procedente directamente del territorio nacional se ha reducido en un 35% en los últimos años. Este es particularmente el caso de la provisión de

madera de las plantaciones. Debido a lo anterior las importaciones registraron un incremento significativo en los últimos años producto del creciente déficit de madera local. Más del 50% de la madera importada proviene de Chile (principalmente pino radiata), seguido de China y Estados Unidos. Para el caso de muebles de madera para el 2013, la mayor cantidad de estos productos eran provenientes de China (21%), los EE.UU. (17%) y Colombia (12%).

Otro aspecto a destacar es que aproximadamente el 60% del volumen aprovechado y procesado se concentra en 4 especies; siendo teca y melina las más frecuentes (48 y 45% respectivamente); seguidas por el laurel y el ciprés (13 y 16%)

En cuanto a las especies más utilizadas en la fabricación de muebles, puertas y partes, el pino corresponde al 47% seguido de la melina con un 14%, lo que reafirma que el mayor porcentaje de madera utilizada por estas fábricas es de importaciones. Cabe destacar que las especies tradicionales como cedro (10%), laurel (6%), cenízaro (6%) y caobilla (3%) provenientes de bosques, potreros y terrenos agropecuarios, se continúan utilizando. Finalmente el 13% corresponde a otras especies de semiduros, de las cuales destaca el ciprés. Por lo tanto, la industria secundaria se abastece principalmente de importaciones (45% pino), seguida de bosques y potreros (39% cedro, laurel y cenízaro) y plantaciones forestales locales (16% melina y cipres).

## **2.7. Implicaciones económicas y sociales del consumo de madera en Costa Rica.**

En las dimensiones económica y social Zepeda (2008), indica que los bosques y las plantaciones forestales son fuente de recreación y esparcimiento, hábitat para la vida silvestre, protectores de la erosión de los suelos.

Una hectárea de bosque puede suministrar a la atmósfera de 20 000 a 30 000 litros de agua por día, influyendo decididamente sobre el régimen de lluvias y el clima de una zona.

Actualmente, la madera se mantiene en destacados lugares de la economía mundial, tanto por las elevadas cifras de producción anual (más de 2 500 millones de metros cúbicos), como en los distintos mercados internacionales, dado el aprecio existente por sus cualidades y propiedades físicas, químicas y mecánicas que la hacen, por ahora, insustituible.

Según investigaciones realizadas por la Oficina Nacional Forestal (2018) en el 2014 el uso de la madera en sus diferentes etapas de transformación y comercialización generó 14.500 empleos directos, de los cuales 9.853 se ubicaron en los sectores primario y secundario, ofreciendo empleo en las áreas rurales más deprimidas del país, generando un impacto positivo en el ámbito socioeconómico.

Debido a lo anterior, es importante destacar lo fundamental que es para el país el aumentar el consumo de productos maderables producidos en Costa Rica.

## 2.8 Conceptos básicos para construcción y diseño con madera.

Con el objetivo de identificar el comportamiento de la madera como material de construcción es importante conocer ciertos conceptos básicos, los cuales se ven implicados al desear llevar a cabo una construcción, entre los cuales se pueden mencionar:

2.8.1 Cargas: Debido a que toda construcción se encuentra sometida a cargas, el (CSCR-2010/2014) las ha clasificado en tres tipos, las cuales deben de ser consideradas al realizar los cálculos estructurales, estas son: permanentes, vivas y ocasionales.

2.8.2 Cargas muertas o permanentes: Este tipo de cargas hace referencia al peso de todos los componentes estructurales debido a la carga gravitacional, así como de los sistemas y componentes no estructurales permanentes, entre ellos están las paredes, pisos techos, equipos de servicio fijos.



Figura 2.5 Identificación de cargas muertas en una vivienda.

Fuente: Tomada de Construcción Civil, Instituto Tecnológico Industrial Brasil-Bolivia (2021).

2.8.3 Cargas vivas o sobrecargas de servicio: Son aquellas cargas que se generan debido al uso u ocupación de la construcción. Incluyen personas, objetos móviles o divisiones que puedan cambiar de sitio. No actúan de manera permanente por el contrario están presentes durante períodos cortos de la vida de la estructura.



Figura 2.6. Identificación de cargas vivas en una estructura.

Fuente: Tomada de Construcción Civil, Instituto Tecnológico Industrial Brasil-Bolivia (2021).

2.8.4 Cargas ocasionales: Son aquellas cargas a la que se somete una estructura eventualmente es decir de manera inesperada, usualmente están relacionadas con factores impredecibles de la naturaleza como el viento o un sismo.



Figura 2.7 Cargas ocasionales en una construcción.

Fuente: Tomada de Construcción Civil, Instituto Tecnológico Industrial Brasil-Bolivia (2021).

## 2.9 Esfuerzos.

Los esfuerzos son todas las fuerzas interiores que se generan en un cuerpo cuando este es sometido a la acción de una determinada carga. Por tal razón es muy necesario realizar un adecuado diseño con elementos que sean capaces de soportar las fuerzas, cargas y acciones a las que va a estar sometida. Existen varios tipos de esfuerzos que soportan los diferentes elementos de las estructuras entre los cuales se encuentran los siguientes:

2.9.1 Esfuerzo de tracción: Es cuando un elemento es sometido a dos fuerzas cuyo sentido es contrario tendiendo así a estirar y a romper la pieza, estas fuerzas generan una reducción en la sección transversal mientras que en la sección longitudinal se genera un alargamiento.

2.9.2 Esfuerzo de compresión: Sucede cuando la madera es sometida a la acción de fuerzas que tienden a comprimir las fibras en un sentido axial o perpendicular a ellas.

2.9.3 Esfuerzo de corte o cizalle: Es la acción de fuerzas paralelas y en sentido contrario que llegan a cortar la sección transversal de la madera.

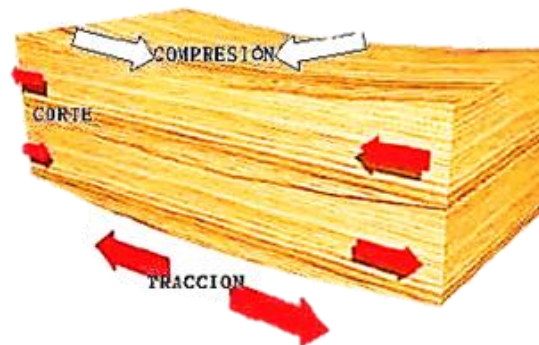


Figura 2.8 Esfuerzos que siente un elemento de madera al ser sometido a una carga.

Fuente: Tomada de (Facultad de ingeniería UNAM, 2018)

## 2.10 Resistencia a la flexión.

Este se genera cuando la pieza es apoyada en dos puntos sintiendo de esta forma dos tipos de cargas, la de tracción y la de compresión esto debido a la fuerza a la cual la pieza es sometida.

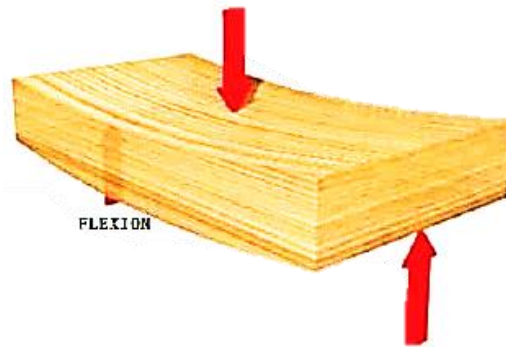


Figura 2.9. Esfuerzo que siente un elemento de madera al ser sometido a dos tipos de carga.

Fuente: Tomada de (Facultad de ingeniería UNAM, 2018)

## 2.11 Estructura

Muñoz (2012) denomina estructura al conjunto de elementos resistentes que colaboran entre sí para soportar fuerzas y cargas, a su vez que estas son transmitidas a los puntos de apoyo con el objetivo de mantener la estructura estable.

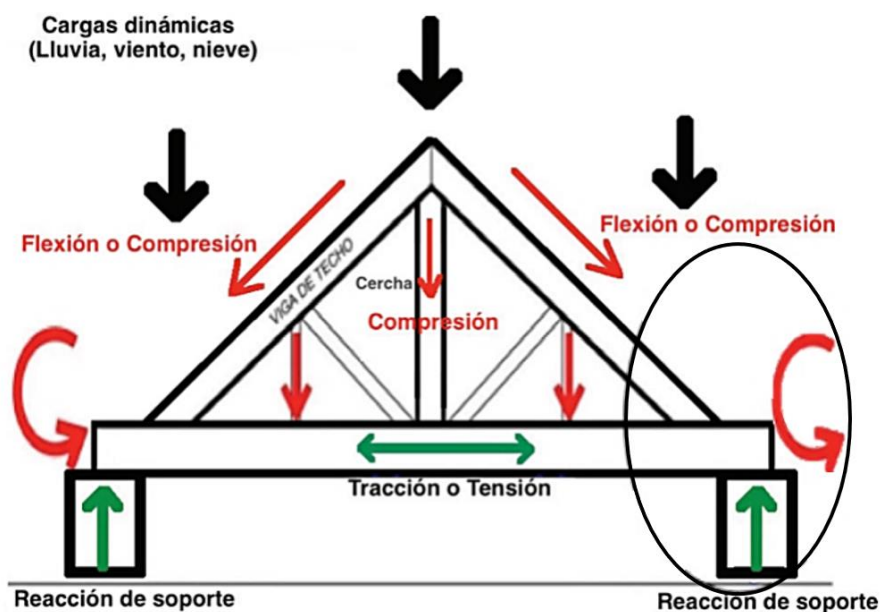


Figura 2.10. Distribución de esfuerzos sobre una estructura.

Fuente: Tomada de Portugués (2015).

En todo tipo de elementos que forman una estructura siempre será de gran importancia el conocer qué tipo de fuerzas son las que están involucradas, puesto que esto es un punto clave para analizar de qué manera se comportará el elemento ante dicha carga, y más allá de esto, determinar de qué forma esto afectará a la estructura en general. Los resultados obtenidos en los cálculos variarán según la dirección y la magnitud de la carga, por eso es de gran importancia para realizar un correcto dimensionamiento de las piezas de tal manera que los daños en la estructura sean lo menos perjudiciales posibles, asegurando la integridad de la estructura y la vida de las personas. En el caso de la madera cuando esta se coloca con la dimensión mayor de la sección transversal (peralte) en la dirección de las fuerzas aplicadas su rigidez y capacidad de soporte aumenta, soportando más carga y sufriendo menos deformación.

## 2.12 Uniones estructurales

Portugués (2015) define las uniones estructurales como aquellos elementos que sirven para unir dos o más piezas de madera estructural, cuya función es principalmente dar continuidad a las fuerzas que actúan sobre y son necesarias ya que una construcción en madera está conformada por varias piezas estructurales las cuales deben estar unidas entre sí y lograr que trabajen como un sistema estructural. Existen varios tipos de uniones estructurales entre los cuales se podrían mencionar: clavos, tornillos, pernos, conectores y pletinas.

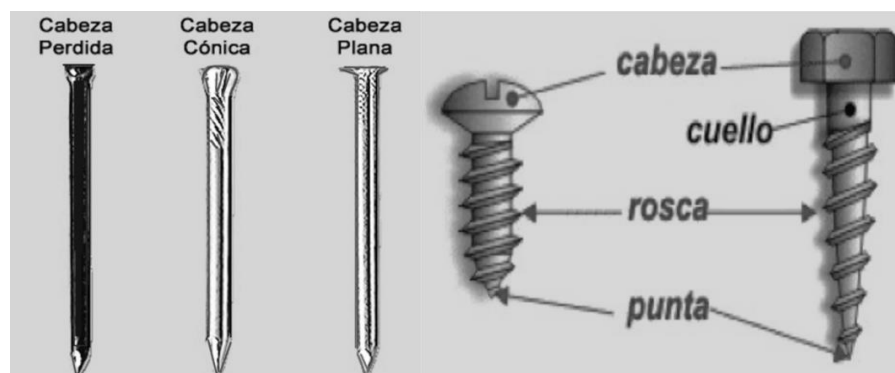


Figura 2.11. Uniones comunes en madera.

Fuente: Tomada de Portugués (2015).



Figura 2.12. Uso de pletinas en la madera.

Fuente: Tomada de Kassar, et al. (2007)

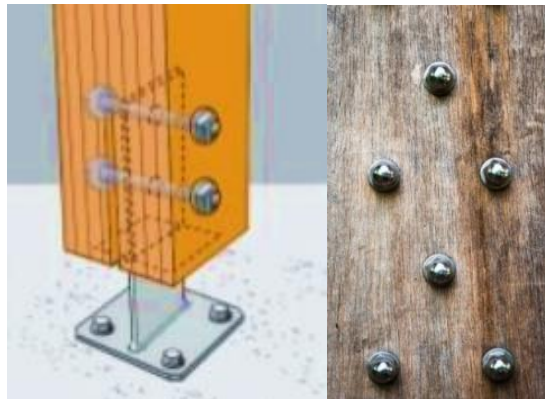


Figura 2.13. Uso de pernos en elemento de madera.

Fuente: Tomada de Kassar, et al. (2007)

## 2.13 Referencias Bibliográficas

- Baño, V., Mazzey, C., & L. M. (Febrero de 2018). DISEÑO DE PUENTES . Obtenido de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Fpta-62-Proyecto-306-Puentes.pdf>.
- Bonilla, a. B (s.f.). Obtenido de <https://concretusblog.files.wordpress.com/2017/06/capc3adtulo-1-conceptos-de-disec3b1o.pdf>
- Borge, E. P., Barboza, R. F., González, W. G., León, J. R., & Hernández, L. T. (Julio de 2020). Guía Práctica para el Diseño de Estructuras de Madera. Obtenido de Guía Práctica para el Diseño de Estructuras de Madera.
- Conceptos generales de diseño. (s.f.). Obtenido de <https://concretusblog.files.wordpress.com/2017/06/capc3adtulo-1-conceptos-de-disec3b1o.pdf>
- Construcción Civil Instituto Tecnológico Industrial Brasil
- Bolivia. (18 de Enero de 2021). Cargas de construcción. Obtenido de Konstrutecnia.com: <https://bit.ly/3k2bSPn>
- Equipo de Redacción PartesDel.com. (marzo de 2017). Portal educativo . Obtenido de Portal educativo Partesdel.com.: <https://www.partesdel.com/tronco.html>.
- Edificios de madera en Chile: la nueva alternativa sustentable austral. (2019, marzo 17). Paisajismodigital.com. <https://paisajismodigital.com/blog/edificios-de-madera-en-chile-la-nueva-alternativa-sustentable-austral/Maderea.es>.<https://www.maderea.es/madera-para-encofrar>.
- Facultad de ingeniería UNAM. (7 de Mayo de 2018). Consideraciones técnicas de la madera. Obtenido de Facultad de ingeniería UNAM: [https://nanopdf.com/download/137-v-consideraciones-tecnicas-de-la-madera-v1\\_pdf#](https://nanopdf.com/download/137-v-consideraciones-tecnicas-de-la-madera-v1_pdf#)
- Gimenez, A. M., Moglia, J. G., Hernandez, P., & Gerez, R. (04 de Julio de 2005). Anatomía de la madera. Obtenido de Anatomía de la madera.: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (20 de Noviembre de 2012). WOODS. MOISTURE CONTENT DETERMINATION. Obtenido de MADERAS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1160.pdf>
- Julio, V. (s.f.). LA MADERA: CLASIFICACION Y PROPIEDADES. Obtenido de LA MADERA: CLASIFICACION Y PROPIEDADES.
- Kassar, M., Gonzales, N., Lunardi, L., Vallejo, O., Zamora, R., & Marinozzi, J. (Julio de 2007). Estructuras de Madera. Obtenido de Uniones, Conexiones y emsamble.: <https://es.slideshare.net/MariaKassar/union-conexiones-y-ensamble-de-madera>
- Konstrutencia.com. (s.f.). Obtenido de <https://bit.ly/3k2bSPn>

- Monteoliva, S. (2009). La madera: propiedades y productos forestales . Obtenido de XILOTECNOLOGÍA: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19010/mod\\_resource/content/1/Cilase%201%20Xilo.%20Propiedades%20madera.pdf#:~:text=b%2D%20Propiedades%20qu%C3%ADmicas%3A,y%20cenizas%20\(material%20inorg%C3%A1nico\)](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19010/mod_resource/content/1/Cilase%201%20Xilo.%20Propiedades%20madera.pdf#:~:text=b%2D%20Propiedades%20qu%C3%ADmicas%3A,y%20cenizas%20(material%20inorg%C3%A1nico))
- Muñoz, D. (12 de Septiembre de 2012). Estructuras. Obtenido de <https://es.slideshare.net/sofiaing82/estructuras-14270327#>
- NDS. (2018). NDS. Obtenido de National Design Especification (NDS) for Wood Construction: <https://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/nds/AWC-NDS2018-ViewOnly-171117.pdf>
- Oficina Nacional Forestal. (20 de Febrero de 2018). ONF. Obtenido de Catálogo y directorio de productos maderables y proveedores en Costa Rica: <https://onfcr.org/catalogo-y-directorio-de-productos-maderables-y-pr>
- ONF (Oficina Nacional Forestal, CR) (2014). Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2013. San José, Costa Rica, 2014.
- Ordóñez, J. A., & Masera, O. (3 de Diciembre de 2001). Madera y Bosques. Obtenido de Captura de Carbono ante el cambio climático: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>
- Oscar J. Santamaría G., Klaus Boeswald y Paula Solís Vindas (2015). Mercado de la madera y derivados en Costa Rica. Oferta y demanda. Barreras. Plan de aumento del uso. 2015. San José, Costa Rica: FONAFIFO
- Portugués, A. C. (2015). Manual de uso de la madera para la construcción. Obtenido de [http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/manual\\_1.pdf](http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/manual_1.pdf)
- Sanchez, Silvio “Ventajas y desventajas medioambientales de la madera en las construcciones”. {En línea}. {02 febrero de 2016} disponible en: (<http://www.ecosiglos.com/2013/06/ventas-desventajas-medioambientales-de-la-madera-en-edificios.html>).
- Souza, E. (23 de Mayo de 2020). Tipos de encofrados para moldear el hormigón. Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/940005/tipos-de-encofrados-para-moldear-el-hormigon-visto>
- Tecnología técnica. (2003). Procedimientos técnicos en madera (fotografía). Obtenido de Tecnología técnica: <https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/pdf/madera/procedimientos-tecnicos-lamadera.pdf>
- Vega, L. (8 de Septiembre de 2010). El consumo de madera ayuda al medio ambiente. La Nación.
- Zepeda, R. F. (05 de Setiembre de 2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. Obtenido de Tecnología en Marcha: <https://maderacostarica.files.wordpress.com/2020/06/construccion-sostenible-y-madera-realidades-mitos-y-oportunidades.pdf>

# 3 Capítulo

*Diseño de elementos con madera*

## Capítulo 3. Diseño de elementos con madera.

### 3.1 Introducción

En diferentes obras constructivas la madera, es utilizada en elementos temporales, decorativos y estructurales, considerándose atractiva su utilización para la creación de edificaciones.

Considerando lo anterior, así como todos los aspectos mencionados en los capítulos I y II de la presente guía, se pretende promover el uso de la madera en la construcción de viviendas, por lo que se considera de suma importancia que en el contenido de la presente guía se muestre mediante un ejemplo la aplicación de la normativa y reglamentos de utilidad en la construcción y el diseño con madera.

En el presente capítulo se desarrollará como ejemplo una vivienda en dos plantas utilizando como material principal la madera, bajo la filosofía de diseño LRFD, la cual está basada en normas existente y vigentes como el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-2010/2014), la norma de la National Design Specification for Wood Construction, NDS (2018); y como parámetro de información de las características físicas, y mecánicas de las maderas de Costa Rica el Libro de Juan Tuk Durán: Madera Diseño y Construcción, entre otros documentos y normas relevantes. El método LRFD (Load and Resistance factor design) el cual se utiliza para el diseño de estructuras, permitirá desarrollar de una manera más eficaz el presente proyecto.

El Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) es un método, en el cual las cargas de diseño se mayoran y las resistencias de diseño se minoran, multiplicando por factores mayores y menores que la unidad, respectivamente, este método está basado en el criterio de estados límites, por esto que también se le conoce como método de diseño por estados límites.

Para llevar a cabo un diseño con la metodología de LRFD existen una serie de factores involucrados en entre los cuales se encuentran:

$C_M$  o  $C_{CH}$  = Factor de ajuste por humedad.

$C_t$  = Factor de ajuste por temperatura.

$C_L$  = Factor ajuste estabilidad de la viga.

$C_F$  = Factor de ajuste por tamaño.

$C_{fu}$  = Factor de ajuste por factor de uso de lado.

$C_i$  = Factor de ajuste por incidencias.

$C_r$  = Factor de ajuste por sistemas repetitivos.

$C_p$  = Factor ajuste estabilidad de la columna.

$C_b$  = Factor ajuste área de apoyo.

$KF$  = Factor conversión de formato.

$\varphi$  = Factor de ajuste por resistencia.

$\lambda$  = Factor duración de la carga.

Dichos factores se encuentran especificados en distintos códigos y normas, cuyos valores irán variando según sea su caso de aplicación.

### **3.2 Descripción del ejemplo a desarrollar.**

Para este caso se tiene una casa modelo tomado de la Guía práctica para el diseño de estructuras de madera de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016). La edificación se construirá en Costa Rica, provincia de Alajuela en el cantón de Upala. La madera por utilizar en el ejemplo es Pilon de estructural grado 1, con un PEB de 0,61 tomando como referencia el libro Madera: diseño y construcción de Juan Tuk Durán, su cimentación es una losa corrida de concreto reforzado que soportará las cargas que se generan debido a los efectos de fuerzas verticales y laterales consideradas en el análisis y diseño estructural, cabe destacar que los costos implicados y el acceso a la obtención de dicha madera no se considerarán en el presente documento. El diseño Arquitectónico se describe a continuación:



Figura 3.1 Vista frontal de la vivienda.

Fuente: Tomada de Borge, et al.(2020)

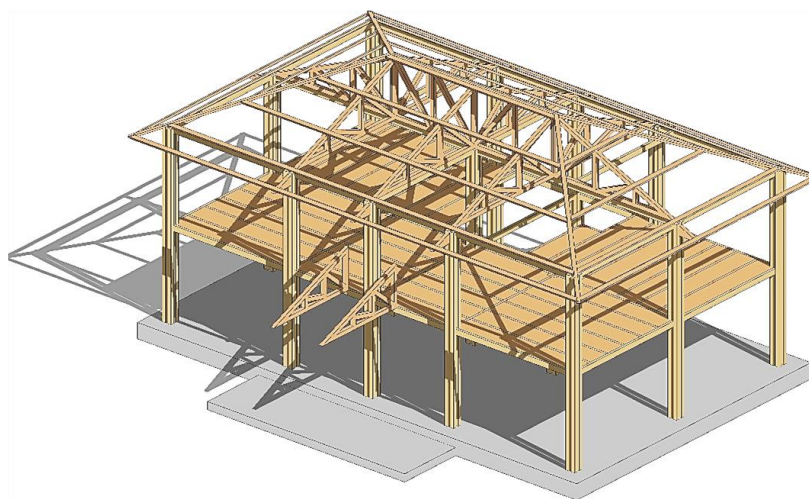


Figura 3.2. Elementos principales en madera.

Fuente: Tomada de Borge, et al. (2020)

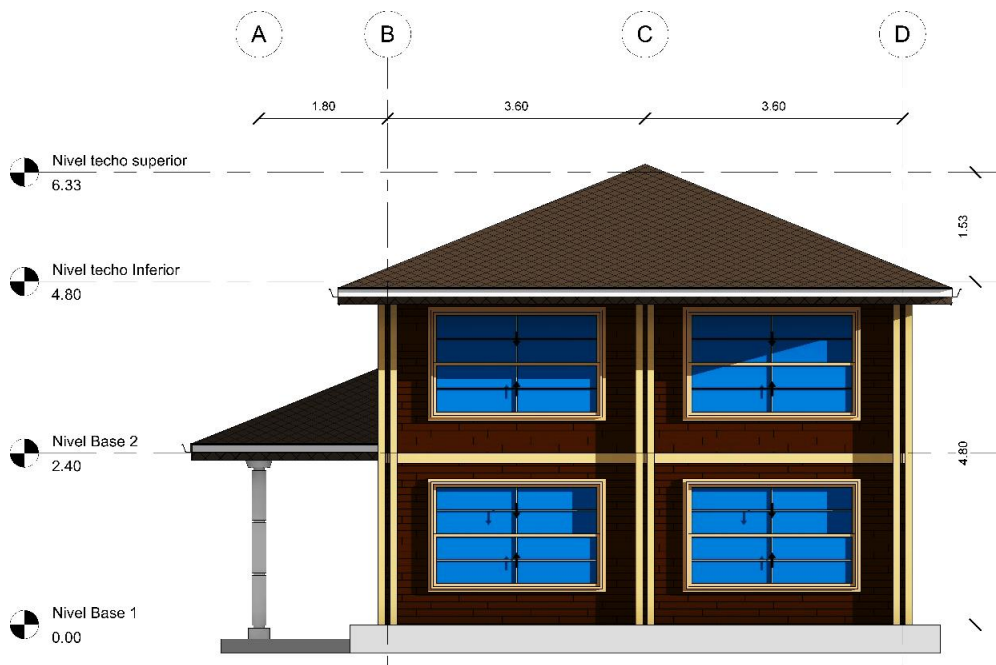


Figura 3.3. Vista Lateral izquierda de la vivienda.

Fuente: Tomada de Borge, et al. (2020)

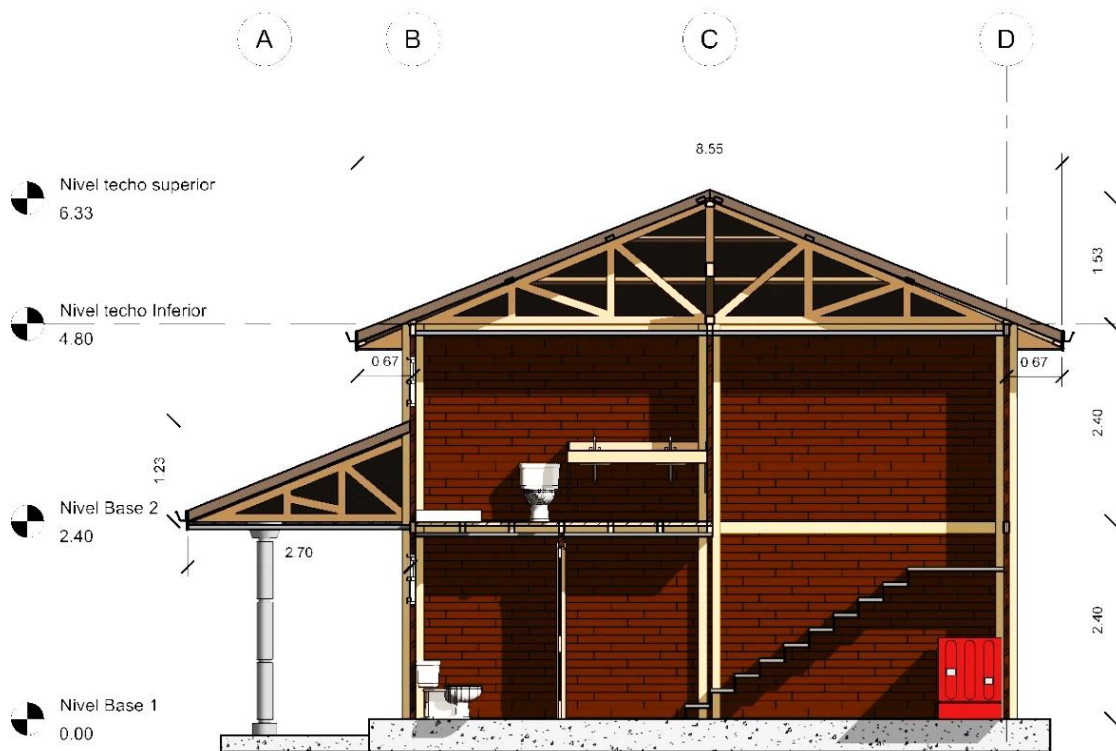


Figura 3.4. Corte transversal, vista lateral.

Fuente: Tomada de Borge, et al. (2020)

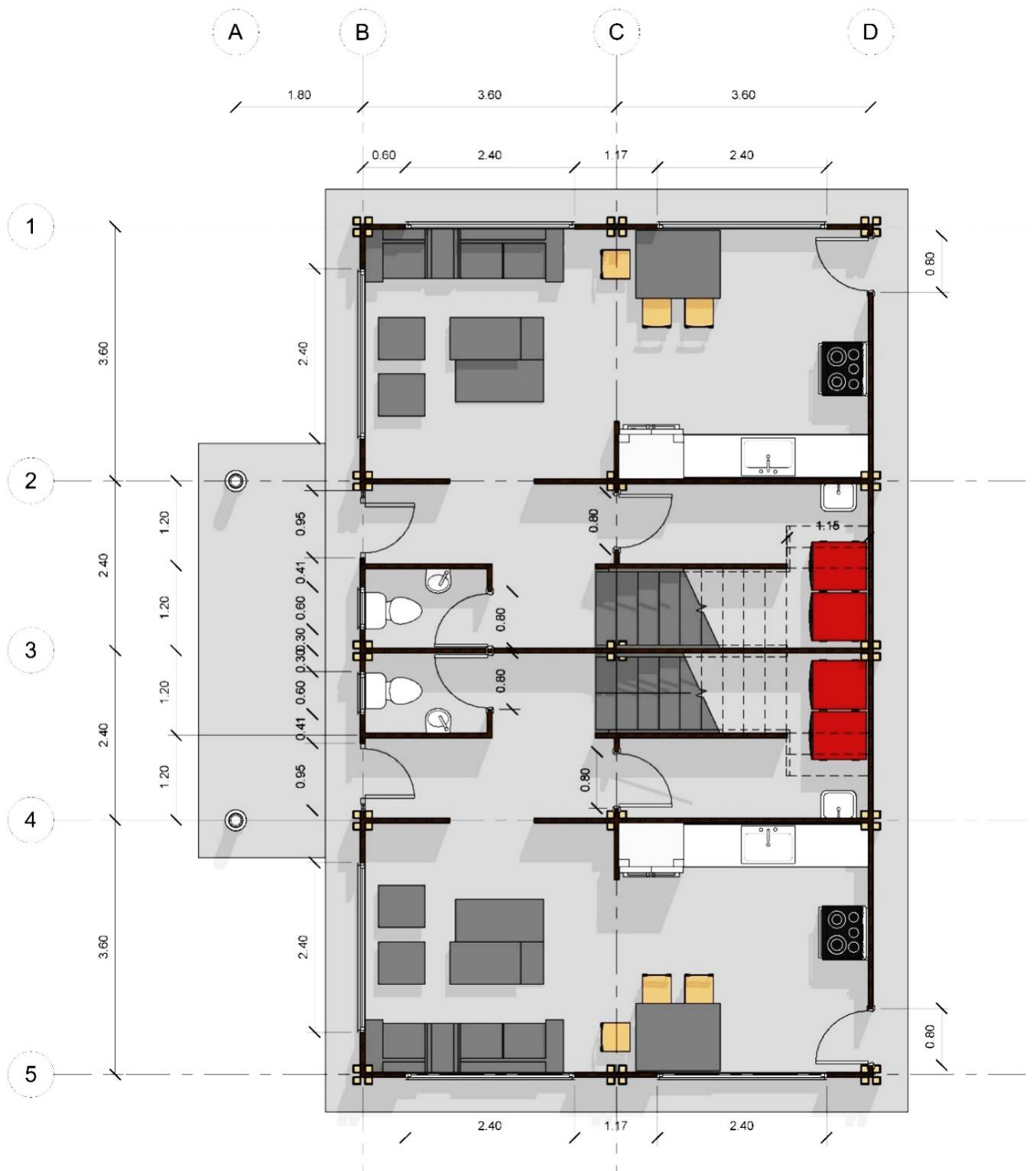


Figura 3.5. Vista en planta del primer nivel.

Fuente: Tomada de Borge, et al. (2020)



Figura 3.6. Vista en planta, segundo nivel.

Fuente: Tomada de Borge, et al. (2020)

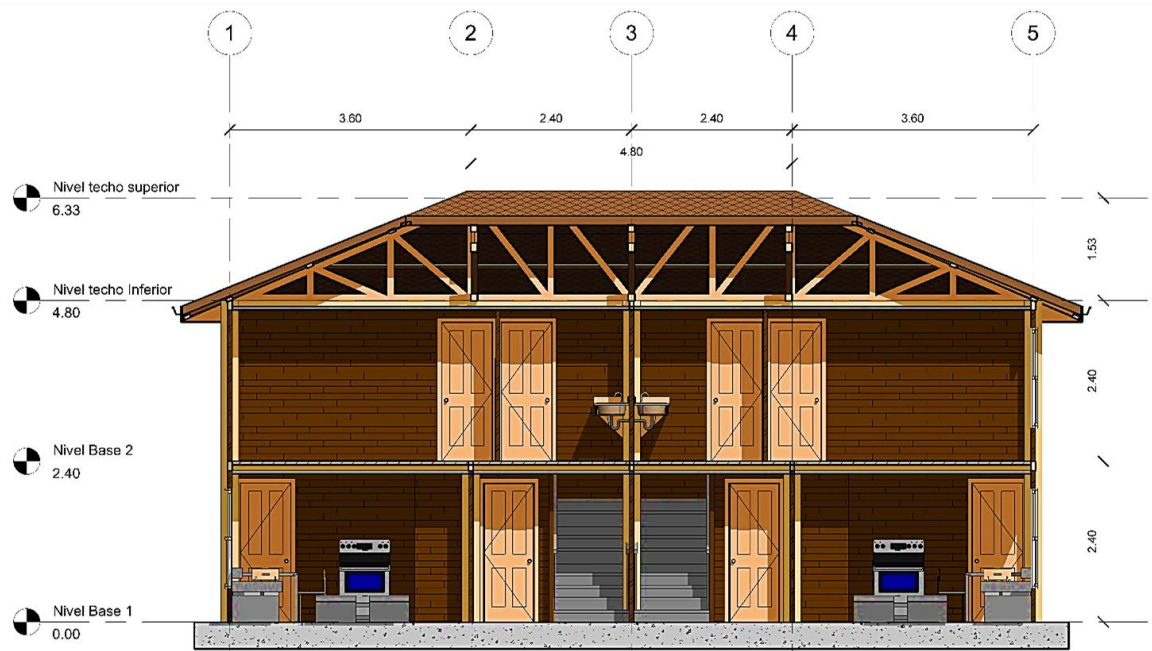


Figura 3.7. Corte transversal de vista longitudinal.

Fuente: Tomada de Borge, et al. (2020)

### 3.3. Combinaciones de carga última para el diseño por LRFD

Tomando en consideración el CSCR-10/14 cada parte de la estructura sea esta un elemento, componente o unión así mismo como la estructura en su unidad o totalidad, debe tener la capacidad de resistir las distintas combinaciones de carga que se describen a continuación:

$$CU = 1,4 CP \quad \text{Ec (3-1)}$$

$$CU = 1,2 CP + 1,6 \cdot f_R \cdot CT + 1,6 CE \quad \text{Ec (3-2)}$$

$$CU = 1,05 CP + f_1 \cdot f_R \cdot CT \pm CS + CE \quad \text{Ec (3-3)}$$

$$CU = 0,95 CP \pm CS + CE \quad \text{Ec (3-4)}$$

Donde:

- a) CU = carga última de diseño.
- b) CP = carga permanente.
- c) CT = carga temporal, sin la reducción indicada en el artículo 6.3.
- d) CS = carga sísmica.
- e) CE = carga por empuje.

Además, el factor  $f_1$  está dado por:

$f_1 = 0,5$  para edificaciones de baja probabilidad de ocupación plena de carga temporal al momento de ocurrir del sismo.

$f_1 = 1,0$  para edificaciones con alta probabilidad de ocupación plena de carga temporal al momento de ocurrir el sismo, como: bodegas, sitios de reunión pública, estacionamientos públicos, entre otros.

$f_1 = 0,0$  para techos.

Por su parte,  $f_R$  = factor de reducción de carga temporal.

#### 3.3.1. Cargas Permanentes

Estas son definidas por el CSCR-2010/2014 como los pesos propios de elementos constructivos, sean considerados estos como estructurales o no, los pesos de sistemas y componentes arquitectónicos, eléctricos y mecánicos, unidos a la estructura.

### 3.3.2. Cargas Temporales

En Costa Rica la normativa establece algunos valores de cargas temporales mínimas a considerar según el uso que se le dará a los distintos niveles de la edificación. Estos valores son presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1.** Valor de cargas unitarias mínimas propuestas.

Destino del piso	Carga temporal ( $\frac{kg}{m^2}$ )
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	200
Oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juego y similares	250
Escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de libre acceso al público.	400
Lugares de reunión desprovistos de asientos fijos, estadios, salones de baile, etc.	500
Bibliotecas y salones de archivo.	500
Lugares de reunión con asientos fijos, templos, cines, teatros, gimnasios, etc.	400
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera	500
Comercios, bodegas y fábricas de mercancías con peso intermedio.	650
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada.	800
Techos de fibrocemento, láminas de acero galvanizado y otros.	40
Azoteas con pendiente superior al 5 por ciento.	100
Azoteas con pendiente inferior o igual al 5 por ciento.	200
Voladizos en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300
Garajes y aparcamientos (para automóviles exclusivamente).	300

Fuente: Adaptada de CSCR-2010/2014.

### 3.3.3. Cargas Sísmicas

Para la determinación de la carga sísmica con base en el CSCR-2010/2014 primero se debe obtener el peso de cada nivel,  $W_i$ . Este valor, corresponde al peso de su carga permanente más una fracción de su carga temporal.

$$W_i = W_{CP} + \xi \cdot W_{CT} \quad \text{Ec (3-5)}$$

Donde el ( $\xi$ ) está dado por:

**Tabla 3.2.** Factor de reducción de carga temporal ( $\xi$ )

<b>factor de reducción de carga temporal (<math>\xi</math>)</b>	<b>Valor</b>
Equipo o instalaciones fijas a la estructura	1,00
Carga en bodegas	0,25
Cargas en edificios	0,15
Cargas en azoteas, marquesinas y techos	0,00

Fuente: Adaptada de CSCR-2010/2014

El procedimiento completo para la obtención de fuerzas sísmicas es detallado en la siguiente sección “Análisis estático lineal según CSCR-2010/2014”

### **3.4 Análisis Estático lineal según CSCR-2010/2014.**

El diseño estructural se realizará por medio del método estático según CSCR-10/2014, por lo que se debe considerar los siguientes aspectos:

1. Obtener el Sitio de cimentación y la Zona Sísmica.
2. Aceleración pico efectiva.
3. Hallar el Factor de importancia.
4. Sistema Estructural.
5. Regularidad en altura.
6. Regularidad en planta.
7. Ductilidad local.
8. Ductilidad global.
9. Período fundamental.
10. Factor Espectral Dinámico (FED) y sobresistencia.
11. Coeficiente Sísmico.
13. Cortante Basal
14. Distribución de fuerza sísmica

### 3.4.1. Cimentación según su ubicación y Zona Sísmica.

Cimentación según ubicación: **suelo S3**.

Zona sísmica: **II**

La cimentación se definió tomando como base el Estudio de Suelos número CIVCO-FG-30, cuyo resultado mostró que el sitio de cimentación corresponde a un tipo de **suelo S3**, cuyos resultados fueron obtenidos mediante tres sondeos hechos en campo por medio del sistema de penetración normal bajo la norma ASTM D 1586, hasta una profundidad de 4,05 m. Considerando además que la edificación se construirá en Alajuela en el cantón de Upala en el presente documento la tabla 3.3 así como también en la figura siguiente donde se muestra que la zona sísmica corresponde a la **Zona II**.

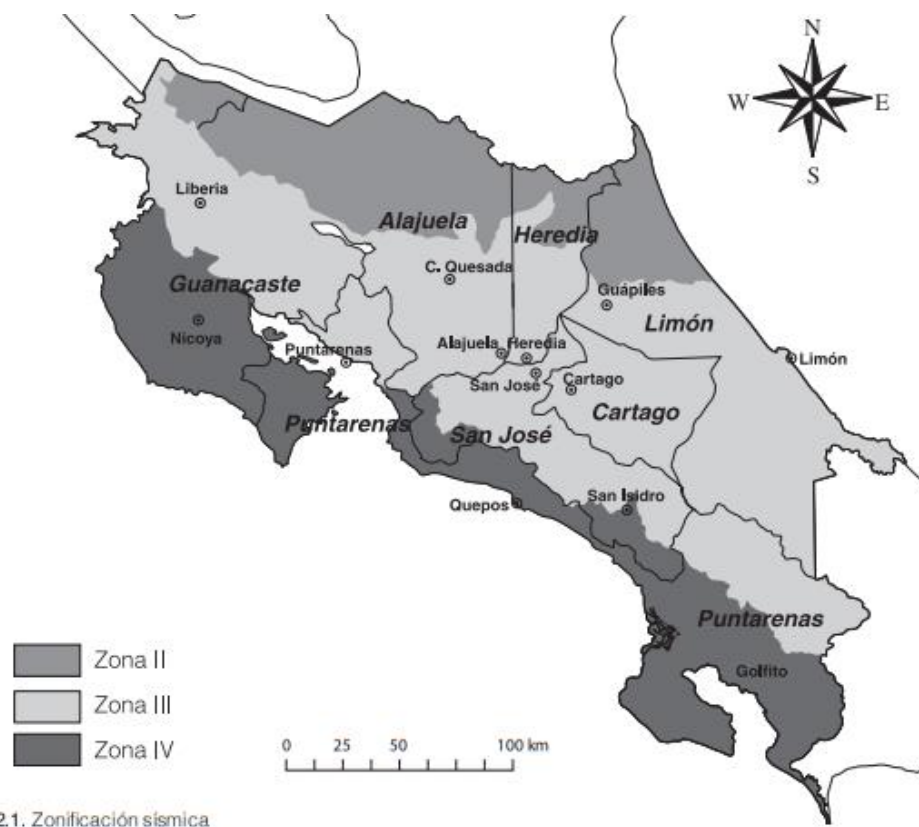


Figura 3.8. Respectivas zonas sísmicas de Costa Rica.

Fuente: Tomada de (CSCR-2010/2014).

**Tabla 3.3.** Valores de zonas sísmicas según el cantón.

Provincia	Cantón	Distrito	Zona
Alajuela	Upala	Todos	II

Fuente: Adaptada del CSCR-2010/2014.

En el Código Sísmico de Costa Rica 2010/2014 se divide el país en 3 zonas sísmicas. Para el caso en análisis, se define la provincia de Alajuela como ubicación de la edificación, específicamente en el cantón de Upala, correspondiente a **zona sísmica II**.

#### 3.4.2. Aceleración pico efectiva.

$$a_{ef} = 0,28.$$

De acuerdo con el estudio de suelos número CIVCO-FG-30, para un periodo de retorno de 475 años, considerando la zona sísmica y el sitio de cimentación tipo S3, la aceleración pico efectiva de diseño se determinó con la tabla 3.4 del presente documento para lo cual se obtiene que:  $a_{ef} = 0,28$ .

**Tabla 3.4** Aceleración pico efectiva según zonas sísmicas y tipo de sitio

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
S <sub>1</sub>	0,20	0,30	0,40
S <sub>2</sub>	0,24	0,33	0,40
S <sub>3</sub>	0,28	0,36	0,44
S <sub>4</sub>	0,34	0,36	0,36

Fuente: Adaptada de CSCR-2010/2014.

### 3.4.3. Factor de Importancia.

Factor de importancia **I=1,00**

Para determinar el factor de importancia se procedió a clasificar en primera instancia la estructura, considerando la información mostrada en la tabla 3.4 del presente documento, obteniendo como resultado una estructura considerada como normal, **Tipo D**, determinando así que su factor **I=1**

**Tabla 3.5** Factor de importancia según estructura.

Grupo	Descripción	Ocupación o función de la edificación	Factor I
D	Edificaciones de ocupación normal	Todas las obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación, no especificada en los grupos A,B,C o E.	1,00

Fuente: Adaptada de CSCR-2010/2014.

### 3.4.4. Sistema estructural.

Estructura tipo: **marco**.

Se consideró para el ejemplo que la estructura es tipo marco pues se encuentran dentro de las que resisten fuerzas sísmicas por medio de elementos construidos por medio de marcos de madera, lo cual está sustentado en la sección 4.2.1 del CSCR-2010/2014.

### 3.4.5. Regularidad en altura.

Edificación: **Regular en altura**.

Se definió a la estructura como **regular en altura** considerando lo establecido en el Capítulo 4 del CSCR-2010/2014, artículo 4.1.2, el cual menciona lo siguiente:

“Se considera que una edificación de varios pisos es regular en altura cuando satisface cada uno de los requisitos siguientes:

- Todos los elementos verticales de los sistemas sismorresistentes son continuos desde la cimentación hasta el nivel superior de cada uno de estos elementos, sin discontinuidades o desfases horizontales en ningún nivel.
- Los diafragmas de todos los niveles salvo el nivel de techo, que podría no serlo, son diafragmas rígidos” considerando que este solamente se desplace en dos direcciones y que su largo máximo no exceda cuatro veces su ancho.

El CSCR-2010/2014 establece requisitos para considerar una estructura regular en planta sin embargo para el análisis en regularidad se tomó en cuenta la inexistente información con respecto a aspectos de diseño de la obra, así como dimensiones de buques internos de pared, excentricidades de la planta de la estructura, entre otros. Por lo que se considera la condición de **irregular moderado**, con la finalidad de ser más conservador en el diseño debido a la falta de información.

### 3.4.7. Ductilidad Local.

Ductilidad local: **Óptima**.

La estructura se clasifica en una categoría de **ductilidad local óptima**. Tomando en cuenta lo que menciona el CSCR-2010/2014 en el capítulo 11, específicamente en la tabla 11.4 ya que en esta categoría se encuentran los marcos tipo 3, cuyas conexiones entre todos sus elementos son semirrígidas y las conexiones en la base pueden ser semirrígidas o articuladas.

### 3.4.8. Ductilidad Global.

Ductilidad global: **2,0**.

Para determinar el valor de la ductilidad global del sistema estructural se toma la tabla 3.6 del presente documento la cual fue adaptada del CSCR-2010/2014, considerando aspectos mencionados en los apartados anteriores tales como tipo de marco, tipo de regularidad o irregularidad y tipo de ductilidad óptima o moderada, teniendo así que la ductilidad global asignada tiene un valor de **2,0**.

Sistema estructural tipo marco				
Tipo de sistema sismorresistente	Ductilidad local	Ductilidad global asignada	Altura máxima permitida	Regularidad permitida
Marcos tipo 3	Óptima	2.0	2 niveles, 10 m	Moderada
Muros tipo 2	Moderada	2.0	2 niveles	Moderada

Fuente: adaptada del CSCR-2010/2014

### 3.4.9. Período fundamental.

Según el inciso 7.4.5 del CSCR-2010/2014, la estimación de periodo está dado por:

$T = 0,12 N$ , para edificios tipo marco formados exclusivamente por marcos de acero.

$T = 0,08 N$ , para edificios tipo dual con sistemas duales de marcos y muros estructurales, marcos arriostrados o muros de mampostería.

$T = 0,05 N$ , para edificios tipo muro formados, exclusivamente, por muros estructurales o marcos arriostrados.

$T = 0,10 N$ , para edificios tipo marco formados exclusivamente por marcos de concreto donde:

$N$  = número total de pisos.

$T$  = período fundamental (en segundos).

Para este ejemplo se utiliza el  $T = 0,08 \cdot 2 = \mathbf{0,16}$ .

Se debe de considerar la posibilidad de que el valor obtenido se encuentre lejos del valor del periodo real de la estructura, por lo tanto, se recomienda recalcularlo mediante la fórmula 7-3 del CSCR-2010/2014.

O bien utilizar el máximo valor posible de FED en todo el rango de periodos en este caso se obtendría un valor de  $T$  de 0,24 con lo cual se tiene un valor de FED de 1,443.

#### 3.4.10. Factor Espectral Dinámico FED y el Factor de Sobre Resistencia.

**FED = 1,443**

Para obtener el factor espectral dinámico se requiere conocer el sitio de cimentación, la zona, el periodo fundamental y la ductilidad global. En este caso se tiene un S3, Zona II,  $T=0,16$  y una ductilidad de 2,0. Utilizando la Tabla E.3 del CSCR-2010/2014 y los parámetros antes mencionados se obtiene un **FED = 1,443**.

#### 3.4.11. Coeficiente sísmico.

Factor de importancia.

**SR = 2**

Según lo indicado en el CSCR-2010/2014 en el capítulo 5, la sobre resistencia **SR será igual a 2** cuando se utilizan métodos del análisis estático o dinámico de los artículos 7.4 y 7.5 para sistemas tipo marco, dual o tipo muro.

## Cálculo del Coeficiente Sísmico.

Con los datos de la aceleración efectiva, factor de importancia, FED y sobre resistencia (SR) es posible obtener el coeficiente sísmico para la estructura de acuerdo con la ecuación del capítulo 5 del CSCR-2010/2014. La fórmula para obtención del coeficiente sísmico es la siguiente:

$$C = \frac{a_{ef} \cdot I \cdot FED}{SR} \quad \text{Ec (3-6)}$$

Donde:

$a_{ef}$  = Aceleración pico efectiva.

I = Factor de importancia.

FED = Factor espectral dinámico.

SR = Factor de sobre resistencia.

Al desarrollar la ecuación (3-6) sustituyendo los valores correspondientes según las consideraciones del caso se obtiene lo siguiente:

$$C_x = \frac{0,28 \cdot 1 \cdot 1,44}{2}$$

$$C_x = 0,2016$$

$$C_y = 0,2016$$

**Tabla 3.7** Resumen de los Parámetros hallados.

Sitio de cimentación	S3	Sección 2.1 del CSCR-2010/2014.
Zona sísmica	Zona II	Sección 2.1 del CSCR-2010/2014.
Aceleración pico efectiva	0,28	Tabla 2.3 del CSCR-2010/2014.
Factor de importancia	Factor 1	Tabla 4.1 del CSCR-2010.
Sistema estructural	Tipo Marco	Sección 4.2.1 del CSCR-2010/2014

Clasificación de estructuras según la regularidad	Regular en altura. Irregular moderada en planta	Sección 4.3 del CSCR-2010/2014
Ductilidad global asignada	2	Tabla 4.3 del CSCR-2010/2014.
Periodo fundamental	0,16	Sección 7.4.5 del CSCR-2010/2014.
FED	1,44	Tabla E.3 del CSCR-2010/2014.
Coefficiente sísmico	0,202	Capítulo 5 del CSCR-2010/2014.

### 3.4.12. Cortante basal

Según se expresa en el CSCR-2010/2014 para el análisis de estas edificaciones se aplica una fuerza sísmica horizontal en cada dirección ortogonal cuyo valor total V es:

$$V = C \cdot W \quad \text{Ec (3-7)}$$

Donde:

V = cortante en la base o sumatoria de todas las fuerzas sísmicas horizontales en cada dirección ortogonal.

C = coeficiente sísmico obtenido según indicaciones del capítulo 5 del CSCR-2010/2014.

W = Peso total de la edificación para efectos sísmicos.

Por lo tanto:

$$V = 0,2016 \cdot 45.490,5360 \text{ kgf} = 9.170,8920 \text{ kgf}$$

### 3.4.13 Distribución de fuerzas sísmicas.

Después de obtener el cortante total en la base de la edificación, se distribuirá esa fuerza sísmica en cada uno de los niveles de la estructura, mediante la siguiente fórmula del CSCR-2010/2014.

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum_{k=1}^N W_k \cdot h_k} \quad \text{Ec (3-8)}$$

**Tabla 3.8** Fuerzas sísmicas.

Dirección	Piso (Nivel)	W <sub>i</sub> (kgf)	h <sub>i</sub> (m)	W <sub>i</sub> · h <sub>i</sub> (kgf · m)	%F <sub>sis</sub>	F <sub>i</sub> (kgf)
X,Y	1	33.212,160	2,4	79.709,180	0.575	5.273,263
	2	12.278,380	4,8	58.936,224	0.425	3.897,629
Sumatoria		45.490,540		138.645,404	1	9.170,892

Ya calculadas las fuerzas sísmicas por nivel se procede a hacer su distribución en cada uno de los marcos en los que dicha fuerza está involucrada. El marco para diseñar corresponde al más crítico de la estructura, con la mayor dimensión tributaria y, por ende, mayor afectación de las cargas externas. Dicha dimensión tributaria corresponde a 3 m de los 12 m totales de longitud de la edificación, por lo que se tiene que:

$$F_{nivel\ 1} = 5.273,263 \cdot \frac{3}{12} = 1.318,316 \text{ kgf} = 1,3183 \text{ tf}$$

$$F_{nivel\ 2} = 3.897,629 \cdot \frac{3}{12} = 974,407 \text{ kgf} = 0,9744 \text{ tf}$$

### 3.5 Determinación de las cargas para el modelo estructural.

Para realizar el modelo estructural de la vivienda en cuestión se deben considerar todas y cada una de las cargas que fueron utilizadas para obtener la masa sísmica de esta en la sección anterior, compuestas por cargas permanentes y temporales. Por lo tanto, se debe analizar la influencia que tendrá cada una de estas cargas sobre los distintos niveles de la estructura.

### 3.5.1. Carga muerta.

Para este caso no se cuenta con detalles estructurales de los elementos sismo resistentes, sin embargo, se realizará una propuesta para dichos valores de cargas las cuales fueron consideradas para el cálculo anterior de masa sísmica, se consideró la influencia de cada una de las cargas en los dos niveles de la estructura tal y como se muestra en la tabla 3.8 del presente documento.

**Tabla 3.9** Cargas permanentes a utilizar.

Elemento	Carga $\frac{kg}{m^2}$
Estructura y cubierta de techo de teja	74,44
Instalaciones electromecánicas	20,00
Cielo raso con estructura de madera	22,00
Divisiones de madera	200,00
Acabados de piso	50,00
Madera de pilón grado 1	50,00
Entrepisos	610,00

Fuente: adaptada de Tames et al.,(2021)

### 3.5.2. Carga viva.

**Tabla 3.10** Valores de cargas temporales a utilizar.

Destino del piso	Carga $\frac{kgf}{m^2}$
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados en escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	200
Escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de libre acceso al público.	400
Techo de fibrocemento, láminas de acero galvanizado y otros.	40

Fuente: Adaptada de (CSCR-2010/2014).

Las medidas de las secciones transversales consideradas para el análisis sísmico y la modelación de la estructura fueron las siguientes:

- Columnas: (20 · 30) cm (8 · 12) pulgadas.



Figura 3.9 Dimensiones propuestas para la pieza a usar en columna.

Fuente: DUO Archiexpo. (s / f)

- Vigas: (15 · 25) cm (6 · 10) pulgadas.



Figura 3.10 Dimensiones propuestas para la pieza a usar en viga.

Fuente: DUO Archiexpo. (s / f).

- Elementos de techo: 2,5 · 5 cm (1 · 2 in)



Figura 3.11 Dimensiones propuestas para la pieza a usar en cerchas.

Fuente: La Continental. (s/f).

### 3.6 Análisis.

Anteriormente se definió el marco crítico, el cual posee mayor ancho tributario de 3 m, esto con base en los planos facilitados en la guía práctica para el diseño de estructuras de madera de conformidad con la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015. Por lo tanto, se procedió a modelar dicho marco en el software SAP2000 para su análisis estructural, de la obteniendo como resultado lo que se muestra a continuación.

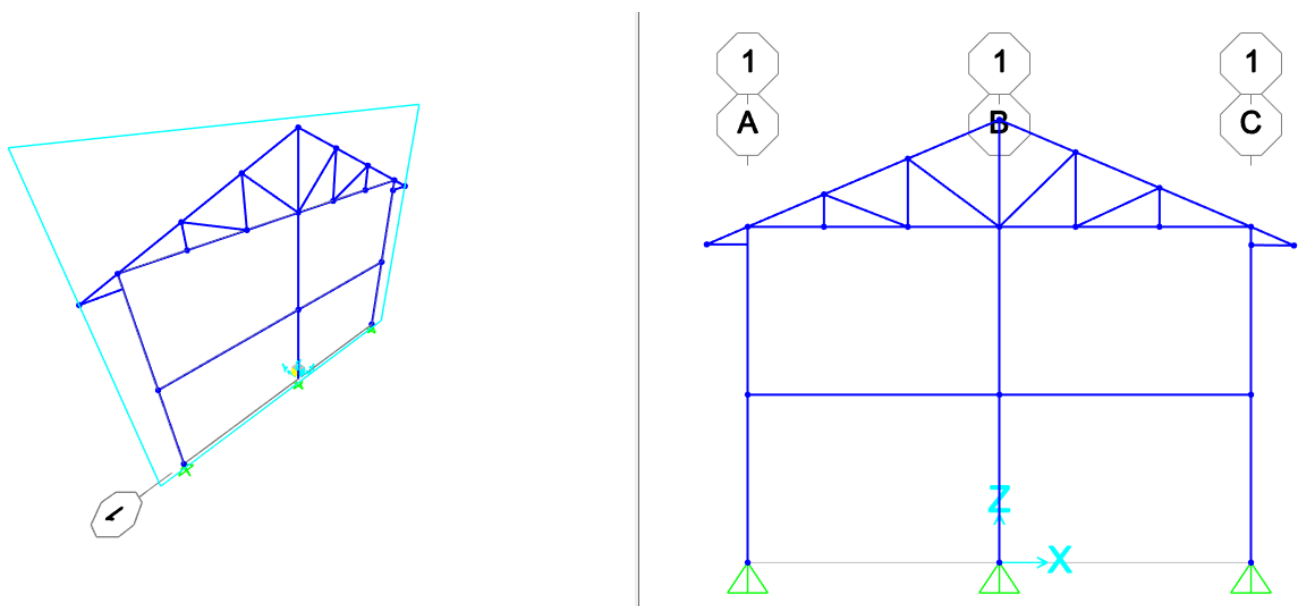


Figura 3.12 Modelo de marco propuesto.

Se asignan los materiales de los elementos estructurales, así como sus dimensiones según corresponda al elemento, en este caso la estructura se conformó por cerchas, vigas y columnas.

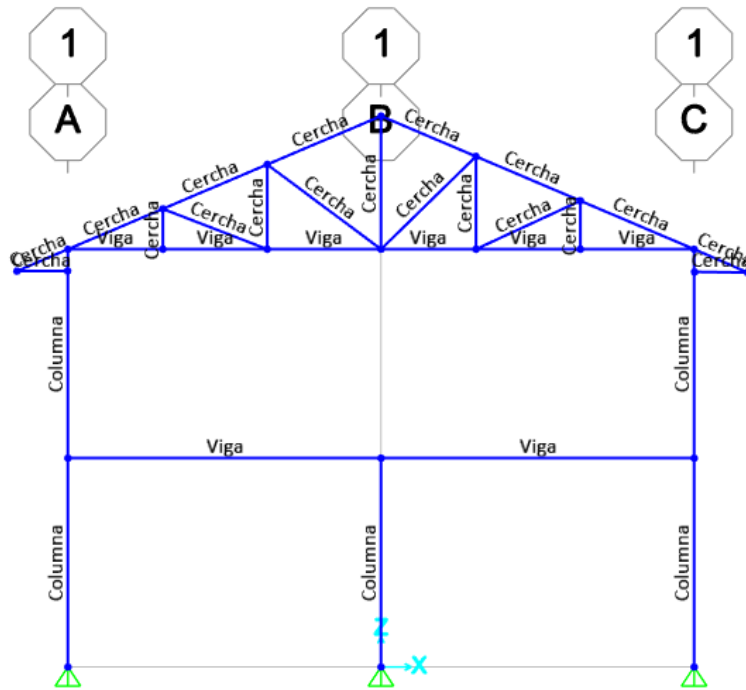


Figura 3.13 Asignación de los elementos.

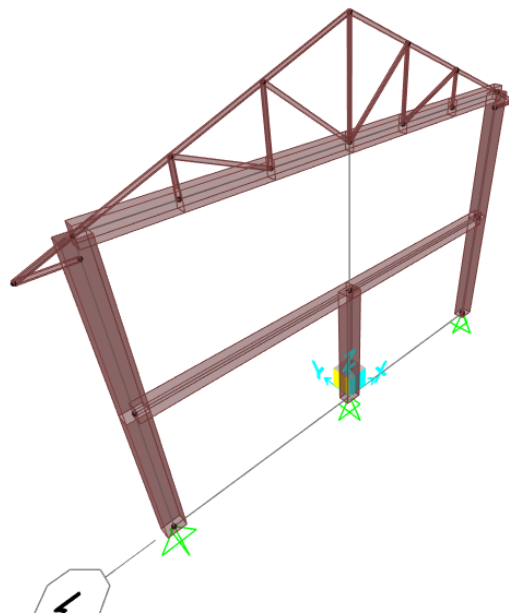


Figura 3.14 Modelo propuesto en 3D.

Posteriormente se le da un comportamiento de armadura y se define el tipo de cargas que se van a utilizar, así como sus respectivas combinaciones.

### 3.7 Diseño por medio de la metodología LRFD y clasificación de la madera estructural

#### 3.7.1. Tipo de madera y esfuerzos admisibles

Para realizar un diseño estructural es de gran importancia conocer la información referente a la madera que se está utilizando, para de esta forma poder proponer o determinar las dimensiones de la pieza final de madera. Según lo indica Tuk (2009) existen dos factores importantes que condicionan las dimensiones de la pieza, el primero es que los esfuerzos impuestos a cada elemento no sobrepasen el valor permisible de capacidad y que las deformaciones del elemento no excedan los límites permitidos.

A continuación, se muestran los valores de esfuerzos de Diseño básicos para madera estructural en condición seca a 18 % para el Pílon Hieronyma alchorneoides con un grado estructural G1. Estos valores se encuentran en el Cuadro 7.1 del libro Madera: Diseño y Construcción, Juan Tuk mismo que corresponde a la siguiente tabla adaptada.

**Tabla 3.11** Características de la madera estructural seleccionada.

Especie	PEB	Grado	$F_b$	$F_t$	$F_v$	$F_{cI}$	$F_{cII}$	E
Pílon	0,610	G1	134,0	105,0	8,0	34,0	77,3	108.000

Fuente: Adaptada de Tuk (2009).

Donde:

PEB: Peso específico básico (relación entre peso seco al horno y volumen verde).

$F_b$ : Esfuerzo en flexión  $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$

$F_t$ : Esfuerzo en tensión  $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$

$F_v$ : Esfuerzo en cortante  $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$

$F_{cL}$ : Esfuerzo en compresión  $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$

$F_{cII}$ : Esfuerzo en flexo-compresión  $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$

E: Módulo de elasticidad  $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$

Para el diseño se utilizan distintos factores de corrección, dentro de los cuales se tienen los siguientes que se determinan con el CSCR-2010/2014.

**Tabla 3.12** Factores de duración de carga según combinación.

Combinación de carga	$\lambda$
3-1	0,6
3-2	0,70 si CT es almacenamiento 0,80 si CT es por ocupación 1,25 si CT es por impacto
3-3	1,0
3-4	1,0

Fuente: Adaptada de CSCR-2010/2014.

**Tabla 3.13** Factor de resistencia para el Diseño LRFD para maderas.

Propiedad	Factor de resistencia
Flexión ( $\Phi_b$ )	0,85
Compresión paralela y perpendicular ( $\Phi_c$ )	0,90
Cortante y tracción radial ( $\Phi_v$ )	0,75
Tracción ( $\Phi_t$ )	0,80
Estabilidad ( $\Phi_s$ )	0,85
Conexiones ( $\Phi_z$ )	0,65

Fuente: Adaptada de CSCR-2010/2014.

Los factores de la NDS (2018) se tienen que contemplar en el diseño de los diferentes elementos. La siguiente tabla muestra los factores que se deben usar para la metodología ASD y LRFD.

**Tabla 3.14** Factores de corrección de diseño.

	ASD	ASD Y LRFD											LRFD		
		Factor de Duración de Carga	Factor de Servicio de Humedad	Factor de Temperatura	Factor de Estabilidad	Factor de Talla	Factor de uso plano	Factor de Incisión	Factor de Miembro Repetitivo	Factor de Estabilidad Columna	Factor de Rigidez de Pandeo	Factor de Área de apoyo	Factor de conversión de formato		Factor de Efecto de Tiempo
													$K_F$	$\phi$	
$F_b' = F_b$	x	$C_D$	$C_M$	$C_t$	$C_L$	$C_F$	$C_{fu}$	$C_i$	$C_r$	-	-	-	2.54	0.85	$\lambda$
$F_t' = F_t$	x	$C_D$	$C_M$	$C_t$	-	$C_F$	-	$C_i$	-	-	-	-	2.70	0.80	$\lambda$
$F_v' = F_v$	x	$C_D$	$C_M$	$C_t$	-	-	-	$C_i$	-	-	-	-	2.88	0.75	$\lambda$
$F_c' = F_c$	x	$C_D$	$C_M$	$C_t$	-	$C_F$	-	$C_i$	-	$C_P$	-	-	2.40	0.90	$\lambda$
$F_{c\perp}' = F_{c\perp}$	x	-	$C_M$	$C_t$	-	-	-	$C_i$	-	-	-	$C_b$	1.67	0.90	-
$E' = E$	x	-	$C_M$	$C_t$	-	-	-	$C_i$	-	-	-	-	-	-	-
$E_{min}' = E_{min}$	x	-	$C_M$	$C_t$	-	-	-	$C_i$	-	-	$C_T$	-	1.76	0.85	-

Fuente: Tomada de (NDS, 2018).

Donde:

$F_b' = F_b$  :Esfuerzo flexión referencia/Esfuerzo flexión ajustado.

$F_t' = F_t$  :Esfuerzo tensión referencia/ Esfuerzo tensión ajustado

$F_v' = F_v$  :Cortante paralelo al grano referencia/Cortante paralelo al grano ajustado

$F_c' = F_c$  : Cortante perpendicular al grano referencia/Cortante perpendicular al grano ajustado

$E' = E$  : Referencia y módulo de elasticidad ajustado

$E_{min}' = E_{min}$ : Referencia y módulo de elasticidad ajustado para cálculos de estabilidad de viga y estabilidad de columna.

### 3.7.2 Armaduras: Diseño para madera estructural por tracción paralela a la fibra.

Para este ejemplo se tiene que el valor de resistencia a la tensión paralela a la fibra para el Pílon

grado estructural 1 es de  $77,3 \frac{kgf}{cm^2}$

### 3.7.3 Armaduras: Diseño por flexión, cortante y deflexión.

Para llevar a cabo el diseño por flexión y cortante se consideran distintos factores de reducción y una serie de datos mencionados en el CSCR-2010/2014, de manera general la metodología para estos diseños consiste en llevar a cabo los siguientes aspectos:

- a) Definir condiciones iniciales del sitio en donde se realizará el proyecto, así mismo se deben de considerar las características de la madera que se utilizará, tales como las dimensiones de la pieza, la separación entre elementos, la gravedad específica de la madera, el punto de saturación de las fibras y el contenido de humedad presente en la madera.

b) Obtener los esfuerzos básicos de la madera escogida de la bibliografía disponible ( $F_b$ ,  $F_v$  y E).

c) Ajustar la pieza a las dimensiones reales con base en la tabla 11.2 del CSCR-2010/2014.

d) Ajustar la gravedad específica de la madera a las condiciones ambientales.

e) Determinar las cargas del elemento que se va a diseñar (CP, CT, CS, CE).

f) Diseño por flexión.

- Determinar los momentos máximos con la ayuda de software computacional o formularios.
- Seleccionar los factores de ajuste y aplicarlos al  $F_b$ .
- Calcular el módulo de rigidez de la sección de la siguiente forma:

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Ec (3-9)}$$

- Calcular la resistencia nominal por flexión del elemento aplicando el factor de reducción.

$$\Phi M_n = f'_b \cdot S \quad \text{Ec (3-10)}$$

- Determinar las combinaciones de carga para obtener los momentos últimos.
- Revisar la capacidad contra la sollicitación para verificar si cumple o no.

g) Diseño por cortante

- Determinar los cortantes máximos con la ayuda de software computacional o formularios.
- Seleccionar los factores de ajuste y aplicárselos al  $F_v$ .
- Calcular el área de la sección de la siguiente forma:

$$A = b \cdot h \quad \text{Ec (3-11)}$$

- Calcular la resistencia nominal por cortante del elemento aplicando el factor de reducción.

$$\Phi V_n = \frac{2}{3} \cdot A \cdot f'_v \quad \text{Ec (3-12)}$$

- Determinar las combinaciones de carga para obtener los cortantes últimos.
- Revisar la capacidad contra la solicitación para ver si cumple o no.

h) Para el diseño por deflexión se realizan los siguientes pasos:

- Definir la fórmula para el cálculo del límite de las deflexiones.
- Obtener las deflexiones con ayuda de software o formularios.
- Determinar la deflexión que genera la carga temporal sola y la combinación de carga temporal y carga permanente considerando el factor de largo plazo para deformaciones.
- Calcular las deflexiones permisibles.
- Revisar el cumplimiento de las deflexiones con los valores permisibles.

### 3.8. Diseño de viga de cercha.

El diseño para la viga cercha se realiza por flexión, cortante y deflexión. Con el software de SAP2000 se obtienen los datos necesarios para la revisión.

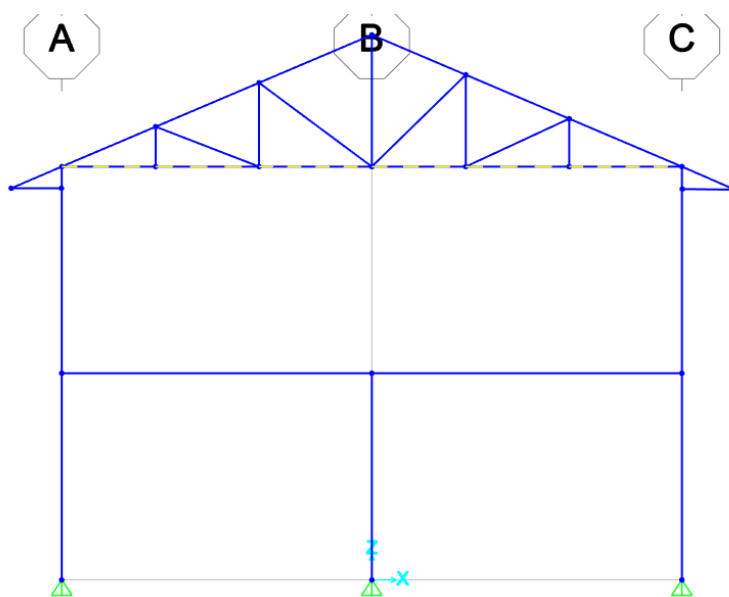


Figura 3.15 Viga de cercha que se desea diseñar.

### 3.8.1. Diseño por flexión

Para realizar el diseño por flexión de la viga se debe realizar el ajuste del esfuerzo permisible de la madera, para este caso la corrección se aplica de la siguiente manera:

$$F'_{bn} = F_{bn} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_L \cdot C_F \cdot C_{fu} \cdot C_i \cdot C_r \cdot K_F \cdot \Phi \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-13)}$$

En este caso es necesario utilizar el factor de conversión “ $K_F$ ”, ya que, para este diseño se utilizará el diseño LRFD, se procede a determinar el valor de cada uno de los factores involucrados en la ecuación 3-13, para los cuales se tiene lo siguiente:

Factor de ajuste por Humedad ( $C_M$  o  $C_{CH}$ ):

Este factor de ajuste por humedad se toma de la sección 4.1.4 de la NDS (2018), estos valores de los diseños son aplicables para madera que se utilice en condición de servicio seco, es decir cuando el contenido máximo de humedad en uso sea de 19%.

- $C_{CH} = 1$

En el caso que el porcentaje sea superior al 19% durante un periodo prolongado, los valores de diseño se multiplicarán por los factores de servicio húmedo  $C_M$  especificados en las tablas 4A-EF de la NDS (2018). El CSCR-10/2014 también establece que considera madera seca si su contenido de humedad es menor o igual 19%, y se considera verde si supera este porcentaje.

- $C_t = 1$

Factor de ajuste por Temperatura ( $C_t$ ):

Los valores de estos factores se resumen en la Tabla 2.3.3 de la NDS (2018). Es importante mencionar que las reducciones en la resistencia son generalmente reversibles para el rango de temperaturas entre condiciones normales de servicio y 150 ° F.

**Tabla 3.15** Factores de ajuste por temperatura.

Valores de diseño de referencia	Condiciones de humedad de servicio	$C_t$		
		$T \leq 100^\circ\text{F}$	$100^\circ\text{F} < T \leq 125^\circ\text{F}$	$125^\circ\text{F} < T \leq 150^\circ\text{F}$
$F_t, E, E_{\text{mín}}$	Húmeda o seca	1,0	0,9	0,9
$F_b, F_v, F_c$ y $F_{cL}$	Seca	1,0	0,8	0,7
	Humedad	1,0	0,7	0,5

Fuente: (NDS, 2018).

- $C_L = 1$

El valor del factor  $C_L$  aún no era conocido, por lo que se asumió con valor igual a 1, para determinar su valor se utiliza la regla del NDS (2018) mencionada en la sección 4.4.1, específicamente el punto (a) del inciso 4.4.1.2 donde se sugiere la siguiente fórmula:

$$\frac{d}{b} = \frac{25}{15} \leq 2 \quad \text{Ec (3-14)}$$

- $C_F = 1$

Factor de ajuste por tamaño ( $C_F$ ):

Se debe considerar el tamaño de la pieza de prueba que es menor a 30 cm. Además, con el espesor de la pieza, la NDS (2018) sugiere también la siguiente ecuación para el cálculo:

$$C_F = \left(\frac{12}{d}\right)^{\left(\frac{1}{9}\right)} \leq 1,0 \quad \text{Ec (3-15)}$$

- $C_{fu} = 1$

Factor de ajuste uso plano ( $C_{fu}$ ):

Cuando la pieza se dobla sobre su eje débil, la norma NDS (2018) sugiere valor de acuerdo con espesores de la pieza, de acuerdo con sus dimensiones, específicamente en las tablas 4A-4F referidas en la sección 4.3.7. Se sugiere también, que la aplicación de este factor sea 1, asumiendo que, el elemento se apoya en lado fuerte.

Factor de incisiones ( $C_i$ ):

Este factor se utiliza en especies de madera que no aceptan fácilmente los productos químicos, por ende, se hace necesario realizar incisiones para aumentar la penetración. Para cada uno de los valores de diseño, se tiene lo indicado en la siguiente tabla:

**Tabla 3.16** Factores por considerar según la incidencia de la madera.

Valor de diseño	$C_i$
E, $E_{\min}$	0,95
$F_b$ , $F_t$ , $F_c$ , $F_v$	0,80
$F_{cL}$	1,0

Fuente: (NDS, 2018).

- $C_r = 1$

Factor de ajuste repetitivo ( $C_r$ ):

Esta puede incrementarse en un factor de 1,15. Sin embargo, requiere cumplir las siguientes condiciones :

- Los miembros se utilizan como viguetas, cuerdas de armadura, vigas, montantes, tablones, cubiertas o similares.
- Los miembros están en contacto o están separados no más de 24 in.
- No hay menos de tres miembros unidos por un elemento de distribución de carga adecuado.

En caso incumplimiento de los puntos anteriores se le asignará un valor de 1.

- $K_F = 2,54$

Conversión de formato ( $K_F$ ):

Los valores de diseño de referencia LRFD, se deben multiplicar por este factor, tal y como se especifica a continuación en la tabla 3.17 adaptada de la tabla 2.3.5 de la NDS (2018).

**Tabla 3.17** Factores de conversión de formato.

Aplicación	Propiedad	$K_F$
Miembro / elemento	$F_b$	2,54
	$F_1$	2,70
	$F_v, F_{rt}, F_s$	2,88
	$F_c$	2,40
	$F_{cL}$	1,67
	$E_{mín}$	1,76
Todas las conexiones	Todos los valores de diseño	3,32

Fuente: (NDS, 2018).

- $\Phi = 0,85$

**Tabla 3.18** Factores de resistencia para diseño LRFD de maderas

Propiedad	Factor de Resistencia
Flexión ( $\Phi_b$ )	0,85
Compresión paralela y perpendicular ( $\Phi_c$ )	0,90
Cortante y tracción radia ( $\Phi_v$ )	0,75
Tracción ( $\Phi_t$ )	0,80
Estabilidad ( $\Phi_s$ )	0,85
Conexiones ( $\Phi_z$ )	0,65

Fuente: CSCR-2010/2014.

Para la ecuación (3-1), el factor de duración de carga es  $\lambda = 0.60$ . Para la ecuación (3-2),  $\lambda = 0.80$  ( $\lambda = 0.70$  cuando la carga temporal es de almacenamiento) y para las ecuaciones (3-3) y (3-4),  $\lambda = 1.0$  ya que se debe de satisfacer la siguiente igualdad:

$$R_u \leq \lambda \Phi_n R'_n \quad \text{Ec (3-16)}$$

donde:

$R_u$  : carga última según las ecuaciones (3-1) a (3-4).

$\lambda$ : factor de duración de la carga para diseño LRFD de maderas.

$\Phi_n$  : factor de resistencia de acuerdo con la tabla 3.18

$R'_n$  : resistencia nominal ajustada.

**Tabla 3.19** Factores de ajuste para diseño por flexión.

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
$C_{CH}$	1	Humedad menor a 18%
$C_t$	1	Temperatura de servicio menor a 37°C
$C_L$	1	Valor asumido
$C_F$	1	Tamaño de la pieza de prueba < 30 cm
$C_{fu}$	1	La pieza se flexiona en el sentido fuerte
$C_i$	1	Pieza no tiene incisiones
$C_r$	1	No Cumple condiciones de sistema repetitivo ( $S > 24in$ )
$K_F$	2,54	Factor conversión LRFD
$\Phi$	0,85	Factor de reducción para flexión
$\lambda_1$	0,6	Usando la combinación de la ecuación (3-1)
$\lambda_2$	0,8	Usando la combinación de la ecuación (3-2)
$\lambda_3$	1	Usando la combinación de la ecuación (3-3)
$\lambda_4$	1	Usando la combinación de la ecuación (3-4)

Ahora, se calculan los esfuerzos de flexión para cada combinación de carga:

$$F'_{bn_{3-1}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 0,6$$

$$F'_{bn_{3-1}} = 173,58 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$F'_{bn_{3-2}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 0,8$$

$$F'_{bn_{3-2}} = 231,44 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$F'_{bn_{3-3}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 1$$

$$F'_{bn_{3-3}} = 289,31 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$F'_{bn_{3-4}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 1$$

$$F'_{bn_{3-4}} = 289,31 \frac{kgf}{cm^2}$$

Módulo de la sección:

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{14cm \cdot (23,5 cm)^2}{6} = 1288,58 cm^3 \quad \text{Ec (3-17)}$$

Cálculo resistencia del elemento viga cercha:

$$\Phi M'_{n_{3-1}} = F'_{b(3-1)} \cdot S = 2.236,72 \frac{kgf}{m}$$

$$\Phi M'_{n_{3-2}} = F'_{b(3-2)} \cdot S = 2.982,29 \frac{kgf}{m}$$

$$\Phi M'_{n_{3-3}} = F'_{b(3-3)} \cdot S = 3.727,99 \frac{kgf}{m}$$

$$\Phi M'_{n_{3-4}} = F'_{b(3-4)} \cdot S = 3.727,99 \frac{kgf}{m}$$

Momentos últimos obtenidos de las combinaciones de carga en el modelo SAP2000

$$Mu_{3-1} = 1.914,26 \frac{kgf}{m}$$

$$Mu_{3-2} = 1.979,87 \frac{kgf}{m}$$

$$Mu_{3-3} = 1.559,15 \frac{kgf}{m}$$

$$Mu_{3-4} = 1.565,80 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Según lo establecido en el CSCR-10/2014 se debe asegurar que se cumpla lo siguiente:

$$Mu \leq \Phi Mn \quad \text{Ec (3-18)}$$

Verificando cumplimiento se obtiene

Combinación 3-1 CUMPLE

Combinación 3-2 CUMPLE

Combinación 3-3 CUMPLE

Combinación 3-4 CUMPLE

Debido a que las expresiones anteriores se cumplen, el elemento es adecuado y resiste las sollicitaciones por flexión.

### 3.8.2. Diseño por cortante

Para desarrollar un diseño por cortante se consideran los factores de ajuste que se muestran en la siguiente ecuación:

$$F'_{vn} = F_{vn} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_F \cdot C_i \cdot K_F \cdot \Phi \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-19)}$$

- $K_F = 2,88$

Conversión de formato ( $K_F$ ):

Será necesario que, para los valores de diseño de referencia LRFD, se multipliquen por este factor, tal y como se especifica a continuación en la tabla 3.20 adaptada de la tabla 2.3.5 de la NDS (2018).

**Tabla 3.20** Factores de conversión de formato.

Aplicación	Propiedad	$K_F$
Miembro / elemento	$F_b$	2,54
	$F_1$	2,70
	$F_v, F_{rt}, F_s$	2,88
	$F_c$	2,40
	$F_{cL}$	1,67
	$E_{mín}$	1,76
Todas las conexiones	Todos los valores de diseño	3,32

Fuente: (NDS, 2018).

Tomando en cuenta las respectivas justificaciones brindadas anteriormente en la sección 3.8.1 del presente documento con respecto a la selección de los coeficientes, se tiene que para el diseño por cortante estos valores serán los siguientes:

**Tabla 3.21** Factores de ajuste para cortante de madera aserrada utilizados para el diseño.

Factor	Valor	Justificación
$C_{CH}$	1	Humedad menor a 18%
$C_t$	1	Temperatura de servicio menor a 37°C
$C_F$	1	Tamaño de la pieza de prueba < 30 cm
$C_i$	1	Pieza no tiene incisiones
$K_F$	2,88	Factor conversión LRFD
$\Phi$	0,75	Factor de reducción para cortante
$\lambda_1$	0,6	Usando ecuación 3-1
$\lambda_2$	0,8	Usando ecuación 3-2
$\lambda_3$	1	Usando ecuación 3-3
$\lambda_4$	1	Usando ecuación 3-4

Cálculo de esfuerzos ajustados según combinación

$$F'_{vn_{3-1}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 0,6$$

$$F'_{vn_{3-1}} = 10,368 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$F'_{vn_{3-2}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 0,8$$

$$F'_{vn_{3-2}} = 13,824 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$F'_{vn_{3-3}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 1$$

$$F'_{vn_{3-3}} = 17,28 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$F'_{vn_{3-4}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 1$$

$$F'_{vn_{3-4}} = 17,28 \frac{kgf}{cm^2}$$

Cálculo resistencia nominal:

$$\Phi V'_n = \frac{2}{3} F'_{vn} \cdot A \quad \text{Ec (3-20)}$$

$$\Phi V'_{n_{3-1}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-1}} \cdot A = 2.274,49 \text{ kgf}$$

$$\Phi V'_{n_{3-2}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-2}} \cdot A = 3.031,19 \text{ kgf}$$

$$\Phi V'_{n_{3-3}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-3}} \cdot A = 3.790,08 \text{ kgf}$$

$$\Phi V'_{n_{3-4}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-4}} \cdot A = 3.790,08 \text{ kgf}$$

Cálculo cortante último en viga

$$Vu_{3-1} = 2.155,13 \text{ kgf} < \Phi V'_{n_{3-1}}$$

$$Vu_{3-2} = 2.114,74 \text{ kgf} < \Phi V'_{n_{3-2}}$$

$$Vu_{3-3} = 1.812,07 \text{ kgf} < \Phi V'_{n_{3-3}}$$

$$Vu_{3-4} = 1.665,12 \text{ kgf} < \Phi V'_{n_{3-4}}$$

Según lo establecido en el CSCR-10/2014 se debe asegurar que se cumpla lo siguiente:

$$Vu \leq \Phi Vn \quad \text{Ec (3-21)}$$

Verificando cumplimiento se obtiene:

Combinación 3-1 CUMPLE

Combinación 3-2 CUMPLE

Combinación 3-3 CUMPLE

Combinación 3-4 CUMPLE

Debido a que las expresiones anteriores se cumplen, se puede concluir que el elemento es adecuado y resiste las solicitaciones por cortante.

### 3.8.3. Diseño por deflexión.

Para el diseño por deflexión de la viga de cercha se establecen los límites que se muestran en la Tabla.

**Tabla 3.22** Límites de deflexiones para vigas según su uso.

<b>Clasificación del uso</b>	<b>CT (solamente)</b>	<b>CT+CP</b>
Vigas de techo	-	-
Industrial	L/180	L/120
Comercial e institucional	-	-
Sin cielos enyesados o enlucidos	L/240	L/180
Con cielos enyesados o enlucidos	L/360	L/240
Vigas de piso	-	-
Uso ordinario	L/360	L/240
Viga longitudinal de puentes carreteros	L/300	-
Viga longitudinal de puentes para ferrocarril	L/300 a L/400	-

Fuente: Adaptada de Navarro, 2021a.

Según la tabla anterior para el caso de la viga al ser una cercha y sin cielos enyesados o enlucidos se usa un límite de deflexión de L/240 con carga permanente y de L/180 para la combinación de carga permanente y carga temporal. Con SAP2000 se calculan las deflexiones máximas con las cargas requeridas, estos valores se muestran a continuación.

Deflexión debido a carga muerta = 0,001984 m.

Deflexión debido a carga viva = 0,000310 m.

Para realizar la combinación de la carga muerta y carga viva, se usa la siguiente ecuación:

$$\Delta_{Total} = F_{largo\ plazo} \cdot \Delta_{CP} + \Delta_{CT} \quad \text{Ec (3-22)}$$

Donde  $F_{largo\ plazo}$  depende de la condición de la madera a utilizar y el uso que se le da.

**Tabla 3.23** Factor de largo plazo para deformaciones según la condición de madera.

Condición	Factor de largo plazo.
Para madera verde, o para madera seca y para paneles estructurales de madera usados en condición húmeda.	2
Para madera seca, viguetas y miembros compuestos de madera usado en condiciones secas.	1,5

Fuente: Adaptada de Navarro, 2021a.

Para el ejemplo en estudio se considera la madera como en condición seca, por lo que su factor de largo plazo corresponde a 1,5.

Cálculo de deformaciones totales:

$$\Delta_{Total-1} = F_{largo\ plazo} \cdot \Delta_{CP} + \Delta_{CT} = 1,5 \cdot 0,1984 + 0,0310$$

$$\Delta_{Total1} = 0,3286 \text{ cm}$$

$$\Delta_{Total2} = \Delta_{CT} = 0,0310 \text{ cm}$$

Cálculo de deflexiones permisibles:

$$\Delta_{CT} = \frac{L}{240} = \frac{720 \text{ cm}}{240} = 3 \text{ cm}$$

$$\Delta_{CP} + \Delta_{CT} = \frac{L}{180} = \frac{720 \text{ cm}}{180} = 4 \text{ cm}$$

Verificación de cumplimiento para la viga cercha:

**Tabla 3.24** Verificación de cumplimiento.

Carga	$\Delta$ permisible (cm)	$\Delta$ total (cm)	Verificación de cumplimiento
CT	3	0,0310	Cumple
CP + CT	4	0,3286	Cumple

Como se pudo observar según los resultados obtenidos el diseño cumple en flexión, cortante y deflexión, a pesar de eso es recomendable corregir las dimensiones o utilizar un tipo de madera diferente, esto con el fin de generar un diseño más eficiente.

### 3.9. Diseño de viga de entrepiso.

El diseño para la viga de entrepiso se realiza utilizando el mismo procedimiento que la viga cercha, en este caso al igual que el anterior los datos necesarios para la revisión se obtienen de SAP2000 con la viga más crítica que es la del lado izquierdo.

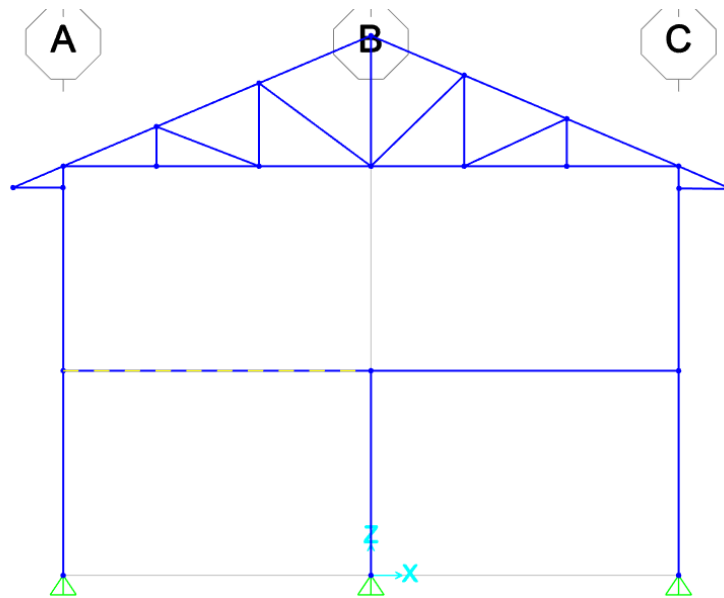


Figura 3.16 Viga de entrepiso a diseñar.

### 3.9.1. Diseño por flexión.

Para realizar el diseño por flexión de la viga se debe realizar el ajuste del esfuerzo permisible de la madera, para este caso la corrección se aplica de la siguiente manera:

$$F'_{bn} = F_{bn} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_L \cdot C_F \cdot C_{fu} \cdot C_i \cdot K_F \cdot C_r \cdot \Phi \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-23)}$$

En este caso es necesario utilizar el factor de conversión “ $K_F$ ”, ya que, para este diseño se utilizará el diseño LRFD.

- $K_F = 2,54$

Conversión de formato ( $K_F$ ):

Será necesario que, para los valores de diseño de referencia LRFD, se multipliquen por este factor, tal y como se especifica a continuación en la tabla 3.25 adaptada de la tabla 2.3.5 de la NDS (2018).

**Tabla 3.25** Factores de conversión de formato.

Aplicación	Propiedad	$K_F$
Miembro / elemento	$F_b$	2,54
	$F_1$	2,70
	$F_v, F_{rt}, F_s$	2,88

	$F_c$	2,40
	$F_{cL}$	1,67
	$E_{mín}$	1,76
Todas las conexiones	Todos los valores de diseño	3,32

Fuente: (NDS,2018).

Tomando en cuenta las respectivas justificaciones brindadas anteriormente en la sección 3.8.1 del presente documento con respecto a la selección de los coeficientes, se tiene que para el diseño por cortante estos valores serán los siguientes:

**Tabla 3.26** Factores de ajuste para diseño por flexión.

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
$C_{CH}$	1	Humedad menor a 18%
$C_t$	1	Temperatura de servicio menor a 37°C
$C_L$	1	Estabilidad de la viga (no se requieren soportes)
$C_F$	1	Tamaño de la pieza de prueba < 30 cm
$C_{fu}$	1	La pieza se flexiona en el sentido fuerte
$C_i$	1	Pieza no tiene incisiones
$C_r$	1	No Cumple condiciones de sistema repetitivo ( $S > 24in$ )
$K_F$	2,54	Factor conversión LRFD
$\Phi$	0,85	Factor de reducción para flexión
$\lambda_1$	0,6	Usando ecuación 3-1
$\lambda_2$	0,8	Usando ecuación 3-2
$\lambda_3$	1	Usando ecuación 3-3
$\lambda_4$	1	Usando ecuación 3-4

Ahora, se calculan los esfuerzos de flexión para cada combinación de carga:

$$F'_{bn_{3-1}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 0,6$$

$$F'_{bn_{3-1}} = 173,58 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{bn_{3-2}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 0,8$$

$$F'_{bn_{3-2}} = 231,44 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{bn_{3-3}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 1$$

$$F'_{bn_{3-3}} = 289,31 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{bn_{3-4}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 1$$

$$F'_{bn_{3-4}} = 289,31 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Con los esfuerzos de flexión del elemento se puede calcular la resistencia nominal del elemento, de la siguiente manera:

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Ec (3-24)}$$

Aplicación de la fórmula:

$$s = \frac{14 \text{ cm} \cdot (23,5 \text{ cm})^2}{6} = 1.288,58 \text{ cm}^3$$

Cálculo resistencia nominal:

$$\Phi M_{n_{3-1}} = F'_{b_{3-1}} \cdot S = 2.236,72 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\Phi M_{n_{3-2}} = F'_{b_{3-2}} \cdot S = 2.982,29 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\Phi M_{n_{3-3}} = F'_{b_{3-3}} \cdot S = 3.727,99 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\Phi M_{n_{3-4}} = F'_{b_{3-4}} \cdot S = 3.727,99 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Momentos últimos obtenidos de las combinaciones de carga en el modelo SAP2000

$$Mu_{3-1} = 2.816,75 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} > \Phi M'n_{3-1}$$

$$Mu_{3-2} = 3.169,77 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} > \Phi M'n_{3-2}$$

$$Mu_{3-3} = 3.719,00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} < \Phi M'n_{3-3}$$

$$Mu_{3-4} = 3.167,53 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} < \Phi M'n_{3-4}$$

Según lo establecido en el CSCR-10/2014 se debe asegurar que se cumpla lo siguiente:

$$Mu \leq \Phi Mn \quad \text{Ec (3-25)}$$

Verificando cumplimiento se obtiene

Combinación 3-1 NO CUMPLE

Combinación 3-2 NO CUMPLE

Combinación 3-3 SÍ CUMPLE

Combinación 3-4 SÍ CUMPLE

Debido a que incumple en las primeras combinaciones para corregir el diseño se sugiere aumentar las dimensiones de la pieza o utilizar una madera con mayor capacidad.

### 3.9.2. Diseño por cortante

El diseño por cortante toma en cuenta los factores de ajuste que se muestran en la siguiente ecuación:

$$F'_{vn} = F_{vn} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_F \cdot C_i \cdot K_F \cdot \Phi \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-26)}$$

- $K_F = 2,88$

Conversión de formato ( $K_F$ ):

Será necesario que, para los valores de diseño de referencia LRFD, se multipliquen por este factor, tal y como se especifica a continuación en la tabla 3.16 adaptada de la tabla 2.3.5 de la NDS (2018).

**Tabla 3.27** Factores de conversión de formato.

Aplicación	Propiedad	$K_F$
Miembro / elemento	$F_b$	2,54
	$F_1$	2,70
	$F_v, F_{rt}, F_s$	2,88
	$F_c$	2,40
	$F_{cL}$	1,67
	$E_{mín}$	1,76
Todas las conexiones	Todos los valores de diseño	3,32

Fuente: Adaptada de (NDS,2018).

Tomando en cuenta las respectivas justificaciones brindadas anteriormente en la sección 3.8.1 del presente documento con respecto a la selección de los coeficientes, se tiene que para el diseño por cortante estos valores serán los siguientes:

**Tabla 3.28** Factores de ajuste para cortante de madera aserrada utilizados para el diseño.

Factor	Valor	Justificación
$C_{CH}$	1	Humedad menor a 18%
$C_t$	1	Temperatura de servicio menor a 37°C
$C_F$	1	Tamaño de la pieza de prueba < 30 cm
$C_i$	1	Pieza no tiene incisiones
$K_F$	2,88	Factor conversión LRFD
$\Phi$	0,75	Factor de reducción para cortante
$\lambda_1$	0,6	Usando combinación 3-1
$\lambda_2$	0,8	Usando combinación 3-2
$\lambda_3$	1	Usando combinación 3-3
$\lambda_4$	1	Usando combinación 3-4

Cálculo de esfuerzos ajustados según combinación

$$F'_{vn_{3-1}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 0,6$$

$$F'_{vn_{3-1}} = 10,368 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{vn_{3-2}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 0,8$$

$$F'_{vn_{3-2}} = 13,824 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{vn_{3-3}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 1$$

$$F'_{vn_{3-3}} = 17,28 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{vn_{3-4}} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,88 \cdot 0,75 \cdot 1$$

$$F'_{vn_{3-4}} = 17,28 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo resistencia nominal:

$$\Phi V'_n = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn} \cdot A \quad \text{Ec (3-27)}$$

$$\Phi V'_{n_{3-1}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-1}} \cdot A = 2.274,49 \text{ kgf}$$

$$\Phi V'_{n_{3-2}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-2}} \cdot A = 3.031,19 \text{ kgf}$$

$$\Phi V'_{n_{3-3}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-3}} \cdot A = 3.790,08 \text{ kgf}$$

$$\Phi V'_{n_{3-4}} = \frac{2}{3} \cdot F'_{vn_{3-4}} \cdot A = 3.790,08 \text{ kgf}$$

Cortantes últimos obtenidos de las combinaciones de carga en el modelo SAP2000:

$$V_{u_{3-1}} = 4.604,51 \text{ kgf} > \Phi V'_{n_{3-1}}$$

$$V_{u_{3-2}} = 5.650,04 \text{ kgf} > \Phi V'_{n_{3-2}}$$

$$V_{u_{3-3}} = 5.394,13 \text{ kgf} > \Phi V'_{n_{3-3}}$$

$$V_{u_{3-4}} = 4.060,68 \text{ kgf} > \Phi V'_{n_{3-4}}$$

Según lo establecido en el CSCR-10 se debe asegurar que se cumpla lo siguiente:

$$Vu \leq \Phi Vn \quad \text{Ec (3-28)}$$

Verificando cumplimiento se obtiene:

- Combinación 3-1 NO CUMPLE
- Combinación 3-2 NO CUMPLE
- Combinación 3-3 NO CUMPLE
- Combinación 3-4 NO CUMPLE

En todas las expresiones anteriores se observa que el diseño por cortante no cumple para ninguna de las cuatro combinaciones. En este caso, al igual que en el diseño anterior se deben aumentar las dimensiones de la pieza o seleccionar una madera con mayor capacidad para satisfacer el problema que se presenta.

### 3.9.3. Diseño por deflexión

Para el diseño por deflexión de la viga de entrepiso se establecen los límites que se muestran en la Tabla.

**Tabla 3.29** Límites de deflexiones para vigas según su uso.

Clasificación del uso	CT (solamente)	CT+CP
Vigas de techo	-	-
Industrial	L/180	L/120
Comercial e institucional	-	-
Sin cielos enyesados o enlucidos	L/240	L/180
Con cielos enyesados o enlucidos	L/360	L/240
Vigas de piso	-	-
Uso ordinario	L/360	L/240
Viga longitudinal de puentes carreteros	L/300	-
Viga longitudinal de puentes para ferrocarril	L/300 a L/400	-

Fuente: Adaptada de Navarro, 2021a.

En este caso, al ser la viga de entrepiso se considera de uso ordinario y se usa un valor límite de deflexión de L/360 con carga temporal y de L/240 para la combinación de carga permanente y carga temporal. Con SAP2000 se calculan las deflexiones máximas con las cargas requeridas, estos valores se muestran a continuación.

Deflexión debido a carga muerta: 0,01114 m.

Deflexión debido a carga viva: 0,004500 m.

Para realizar la combinación de la carga muerta y carga viva, se usa la siguiente ecuación:

$$\Delta_{Total-1} = F_{largo\ plazo} \cdot \Delta_{CP} + \Delta_{CT} \quad \text{Ec (3-29)}$$

$$\Delta_{Total} = \Delta_{CT}$$

Donde  $F_{LargoPlazo}$  depende de la condición la madera a utilizar de y el uso que se le da.

**Tabla 3.30** Factor de largo plazo para deformaciones según la condición de madera.

Condición	Factor de largo plazo.
Para madera verde, o para madera seca y para paneles estructurales de madera usados en condición húmeda.	2
Para madera seca, viguetas y miembros compuestos de madera usado en condiciones secas.	1,5

Fuente: Navarro, 2021a.

Para el ejemplo en estudio se considera la madera como en condición seca, por lo que su factor de largo plazo corresponde a 1,5.

Cálculo de deformaciones totales:

$$\Delta_{Total-1} = F_{largo\ plazo} \cdot \Delta CP + \Delta CT = 1,5 \cdot 1,114 + 0,45$$

$$\Delta_{Total1} = 2,121 \text{ cm}$$

$$\Delta_{Total2} = \Delta CT = 0,45 \text{ cm}$$

Cálculo de deflexiones permisibles:

$$\Delta CT = \frac{L}{360} = \frac{360 \text{ cm}}{360} = 1 \text{ cm}$$

$$\Delta CP + CT = \frac{L}{240} = \frac{360 \text{ cm}}{240} = 1,5 \text{ cm}$$

Verificación de cumplimiento por deflexiones para la viga de entrepiso:

**Tabla 3.31** Verificación de cumplimiento de la viga de entrepiso.

Carga	$\Delta$ permisible (cm)	$\Delta$ total (cm)	Verificación de cumplimiento
CT	1	0,450	Cumple
CP + CT	1,5	2,121	No cumple

Como se pudo observar según los resultados obtenidos el diseño cumple parcialmente en el diseño en flexión, no cumple en cortante y cumple parcialmente en el diseño por deflexión, por tanto, es recomendable corregir las dimensiones o utilizar un tipo de madera diferente, esto con el fin de generar un diseño más eficiente.

### 3.10. Diseño de columna.

La columna que se diseñará será la más crítica, para el caso en estudio es la columna central ubicada en el primer nivel de la edificación. En la Figura 3.17 se puede observar dicha columna.

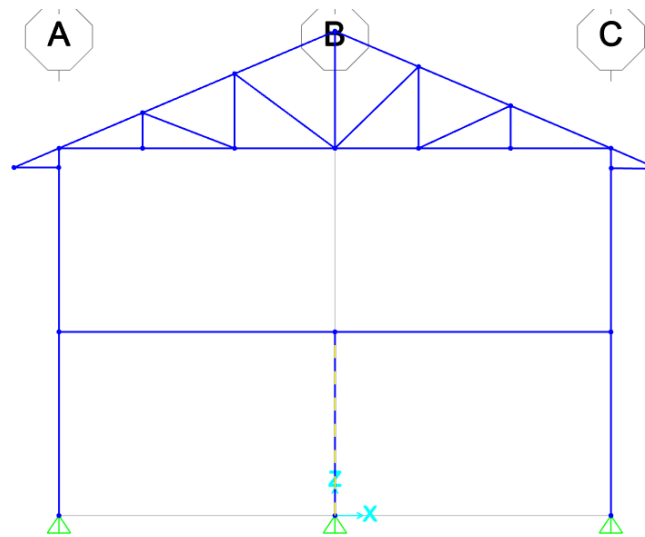


Figura 3.17 Columna a diseñar.

#### 3.10.1. Diseño por flexión

En este caso es necesario utilizar el factor de conversión “ $K_F$ ”, ya que, para este diseño se utilizará el diseño LRFD.

$$F'_{bn} = F_{bn} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_L \cdot C_F \cdot C_{fu} \cdot C_i \cdot K_F \cdot C_r \cdot \Phi \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-30)}$$

- $K_F = 2,54$

Conversión de formato ( $K_F$ ):

Será necesario que, para los valores de diseño de referencia LRFD, se multipliquen por este factor, tal y como se especifica a continuación en la tabla 3.32 adaptada de la tabla 2.3.5 de la NDS (2018).

**Tabla 3.32** Factores de conversión de formato.

Aplicación	Propiedad	K <sub>F</sub>
Miembro / elemento	F <sub>b</sub>	2,54
	F <sub>1</sub>	2,70
	F <sub>v</sub> , F <sub>rt</sub> , F <sub>s</sub>	2,88
	F <sub>c</sub>	2,40
	F <sub>c.L</sub>	1,67
	E <sub>mín</sub>	1,76
Todas las conexiones	Todos los valores de diseño	3,32

Fuente: Adaptada de (NDS,2018).

**Tabla 3.33** Factores de ajuste para diseño por flexión.

Factor	Valor	Justificación
C <sub>CH</sub>	1	Humedad menor a 18%
C <sub>t</sub>	1	Temperatura de servicio menor a 37°C
C <sub>L</sub>	1	Estabilidad de la viga (no se requieren soportes)
C <sub>F</sub>	1	Tamaño de la pieza de prueba < 30 cm
C <sub>fu</sub>	1	La pieza se flexiona en el sentido fuerte
C <sub>i</sub>	1	Pieza no tiene incisiones
C <sub>r</sub>	1	No Cumple condiciones de sistema repetitivo (S>24in)
K <sub>F</sub>	2,54	Factor conversión LRFD
Φ	0,85	Factor de reducción para flexión
λ <sub>1</sub>	0,6	Usando combinación 3-1
λ <sub>2</sub>	0,8	Usando combinación 3-2
λ <sub>3</sub>	1	Usando combinación 3-3
λ <sub>4</sub>	1	Usando combinación 3-4

Ahora, se calculan los esfuerzos de flexión para cada combinación de carga:

$$F'_{bn_{3-1}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 0,6$$

$$F'_{bn_{3-1}} = 173,58 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{bn_{3-2}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 0,8$$

$$F'_{bn_{3-2}} = 231,44 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{bn_{3-3}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 1$$

$$F'_{bn_{3-3}} = 289,31 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{bn_{3-4}} = 134 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 2,54 \cdot 0,85 \cdot 1$$

$$F'_{bn_{3-4}} = 289,31 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Con los esfuerzos de flexión del elemento se puede calcular la resistencia nominal del elemento, de la siguiente manera:

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{Ec (3-31)}$$

Aplicación de la fórmula:

$$s = \frac{18,4 \text{ cm} \cdot (28,6 \text{ cm})^2}{6} = 2.508,41 \text{ cm}^3$$

Cálculo resistencia nominal:

$$\Phi M_{n_{3-1}} = F'_{bn_{3-1}} \cdot S = 4354,10 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\Phi M_{n_{3-2}} = F'_{bn_{3-2}} \cdot S = 5805,46 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\Phi M_{n_{3-3}} = F'_{bn_{3-3}} \cdot S = 7.257,08 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\Phi M_{n_{3-4}} = F'_{bn_{3-4}} \cdot S = 7.257,08 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Momentos últimos obtenidos de las combinaciones de carga en el modelo SAP2000

$$Mu_{3-1} = 0,00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} < \Phi M'_{n_{3-1}}$$

$$Mu_{3-2} = 0,00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} < \Phi M'_{n_{3-2}}$$

$$Mu_{3-3} = 2.556,63 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} < \Phi M'_{n_{3-3}}$$

$$Mu_{3-4} = 2.556,63 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} < \Phi M'_{n_{3-4}}$$

$$Mu \leq \Phi Mn$$

Ec (3-32)

Verificando cumplimiento se obtiene:

Combinación 3-1 CUMPLE

Combinación 3-2 CUMPLE

Combinación 3-3 CUMPLE

Combinación 3-4 CUMPLE

Debido a que las expresiones anteriores se cumplen, el elemento es adecuado y resiste las sollicitaciones por flexión.

### 3.10.2 Diseño por Compresión.

Cálculo de esfuerzo ajustado

$$F'_{cn} = F_{cII} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_i \cdot C_p \cdot K_{Fc} \cdot \Phi_c \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-33)}$$

- $C_p = 1$

Factor estabilidad de la columna ( $C_p$ ):

Este factor de estabilidad de la columna para formas rectangulares es similar al factor de estabilidad de la viga, donde la longitud lateralmente sin arriostrar de un elemento de compresión afecta su capacidad de carga. Según la sección 3.7.1 de la NDS (2018), para columnas, la compresión el valor de diseño paralelo al grano se reduce en consecuencia, a menos que esté soportado lateralmente en toda su altura ( $C_p = 1,0$ ).

En caso de no aplicar los datos anteriores se debe realizar el cálculo con la siguiente formula:

$$C_p = \frac{1 + \left(\frac{F_{cE}}{F_c^*}\right)}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{F_{cE}}{F_c^*}\right)}{2c}\right)^2 - \frac{\left(\frac{F_{cE}}{F_c^*}\right)}{c}} \quad \text{Ec (3-34)}$$

Donde:

$F_c^*$ =Valor de diseño referencia paralelo al grano, multiplicado por el factor de ajuste (con excepción de  $C_p$ )

$$F_{cE} = \frac{0,822 E_{\min}}{\left(\frac{l_e}{d}\right)^2} \quad \text{Ec (3-35)}$$

$c=0,802$  para madera aserrada

- $K_F = 2,54$

Conversión de formato ( $K_F$ ):

Será necesario que, para los valores de diseño de referencia LRFD, se multipliquen por este factor, tal y como se especifica a continuación en la tabla 3.34 adaptada de la tabla 2.3.5 de la NDS (2018).

**Tabla 3.34** Factores de conversión de formato.

Aplicación	Propiedad	$K_F$
Miembro / elemento	$F_b$	2,54
	$F_1$	2,70
	$F_v, F_{rt}, F_s$	2,88
	$F_c$	2,40
	$F_{cL}$	1,67
	$E_{\min}$	1,76
Todas las conexiones	Todos los valores de diseño	3,32

Fuente: Adaptada de (NDS,2018).

**Tabla 3.35** Factores de ajuste para cortante de madera aserrada utilizados para el diseño.

Factor	Valor	Justificación
$C_{CH}$	1	Humedad menor a 18%
$C_t$	1	Temperatura de servicio menor a 37°C
$C_i$	1	Pieza no tiene incisiones
$C_p$	1	Valor asumido
$K_{FC}$	2,40	
$K_{FE}$	1,76	Factor conversión LRFD
$\Phi_c$	0,90	Factor de reducción para cortante

$\Phi E$	0,85	Factor de reducción para compresión
$\lambda_1$	0,6	Usando combinación 3-1
$\lambda_2$	0,8	Usando combinación 3-2
$\lambda_3$	1	Usando combinación 3-3
$\lambda_4$	1	Usando combinación 3-4

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los factores de ajuste (sin incluir CP) de acuerdo con las condiciones de diseño, se procede a calcular los esfuerzos para cada combinación de carga.

$$F'_{cn_{3-1}} = 77,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,40 \cdot 0,90 \cdot 0,6 = 100,18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{cn_{3-2}} = 77,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,40 \cdot 0,90 \cdot 0,8 = 133,57 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{cn_{3-3}} = 77,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,40 \cdot 0,90 \cdot 1 = 166,97 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{cn_{3-4}} = 77,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,40 \cdot 0,90 \cdot 1 = 166,97 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Es necesario determinar el valor del módulo de elasticidad ajustado, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$E' = E \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_i \quad \text{Ec (3-36)}$$

$$E' = 108.000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 108.000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$E'_{\min} = 0,3653 \cdot E' \cdot K_{FE} \cdot \Phi_E = 0,3653 \cdot 108.000 \cdot 1,76 \cdot 0,85 = 59.020,79 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para determinar el valor verdadero del factor  $C_p$ , se realizará el análisis con respecto a un eje horizontal y con respecto a un eje vertical, el procedimiento se muestra a continuación.

- Eje horizontal

Es necesario determinar la relación de esbeltez, para ello se determina el valor de “ $l_u$ ”, siendo esta la longitud real entre arriostres. En este caso la columna no se encuentra arriostreada, por lo tanto:

$$l_{ux}=2,40 \text{ m}$$

Posteriormente se establece el valor de K, el cual depende de las condiciones de borde de la columna, se asume que la columna se encuentra articulada en ambos extremos, según el apéndice G1 del NDS (2018) se tiene que:

$$K_x = 1$$

Columna con forma de pandeo mostrada por línea discontinua						
Valor Teórico de (K)	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor de diseño recomendado (K)	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Clave de condición final						
	Rotación fija y Traslación fija Rotación libre y Traslación fija Rotación fija y Traslación libre Rotación libre y Traslación libre					

Figura 3.18 Valores “K” según la condición de apoyos

Fuente: Tomada de (NDS,2018).

Ahora se tiene que:

$$l_{ex} = l_{ux} \cdot K_x \quad \text{Ec (3-37)}$$

$$l_{ex} = 2,40 \text{ m} \cdot 1 = 2,40 \text{ m}$$

Se determina la relación de esbeltez:

$$\frac{l_{ex}}{h} = \frac{2,40 \text{ m}}{0,286 \text{ m}} = 8,39 \quad \text{Ec (3-38)}$$

Luego se determina el esfuerzo de pandeo:

$$F_{cEnx} = \frac{0,822 \cdot E'_{\min}}{\left(\frac{l_{ex}}{b}\right)^2} \quad \text{Ec (3-39)}$$

$$F_{cEnx} = \frac{0,822 * 59.020,79 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{(7,12)^2} = 1.260,68 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Eje vertical.

Se procede a realizar el mismo procedimiento que se llevó a cabo anteriormente y se respetan las consideraciones antes establecidas. Por lo tanto, se tiene que:

$$l_{uy} = 2,40 \text{ m}$$

$$K_y = 1$$

$$l_{ey} = l_{uy} \cdot k_y = 2,40 \text{ m} \cdot 1 = 2,40 \text{ m} \quad \text{Ec (3-40)}$$

$$\frac{l_{ey}}{b} = \frac{2,40 \text{ m}}{0,184 \text{ m}} = 13,04 \quad \text{Ec (3-41)}$$

$$F_{cEny} = \frac{0,822 \cdot E'_{\min}}{\left(\frac{l_{ey}}{b}\right)^2} = \frac{0,822 \cdot 59.020,79 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{(13,04)^2} = 521,81 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Ec (3-42)}$$

Conociendo que el valor de  $c = 0,80$  para madera aserrada, se calcula el valor de  $C_p$  para cada combinación de carga y para cada eje ortogonal definido.

$$C_p = \frac{1 + \left(\frac{F_{cEn}}{F_{cn}}\right)}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{F_{cEn}}{F_{cn}}\right)}{2c}\right)^2 - \frac{\left(\frac{F_{cEn}}{F_{cn}}\right)}{c}} \quad \text{Ec (3-43)}$$

$$C_{px\ 3-1}=0,9833$$

$$C_{px\ 3-2}=0,9774$$

$$C_{px\ 3-3}=0,9713$$

$$C_{px\ 3-4}=0,9713$$

$$C_{py\ 3-1}=0,9569$$

$$C_{py\ 3-2}=0,9404$$

$$C_{py\ 3-3}=0,9227$$

$$C_{py\ 3-4}=0,9227$$

Al determinar el factor  $C_p$  con respecto a los ejes ortogonales “X” y “Y”, se procede a calcular la resistencia corregida por estabilidad para cada combinación de carga

$$F_{cn}^{\wedge}=F_{cn}^{\wedge}*C_p \quad \text{Ec (3-44)}$$

$$F_{cnx\ 3-1}^{\wedge} = 98,51 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cnx\ 3-2}^{\wedge} = 130,56 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cnx\ 3-3}^{\wedge} = 162,18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cnx\ 3-4}^{\wedge} = 162,18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cny\ 3-1}^{\wedge} = 98,51 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cny\ 3-2}^{\wedge} = 125,61 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cny\ 3-3}^{\wedge} = 154,06 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cny\ 3-4}^{\wedge} = 154,06 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Ahora se calcula la resistencia nominal, para esto se utiliza el menor valor de la resistencia corregida.

$$\Phi Pn_{3-(\text{combinación de carga})} = \left( \frac{F_{cnx\ 3-(\text{combinación de carga})}}{F_{cny\ 3-(\text{combinación de carga})}} \right) \cdot A \quad \text{Ec (3-45)}$$

$$\Phi Pn_{3-1} = \left( \frac{F_{cnx\ 3-1}}{F_{cny\ 3-1}} \right) \cdot A = 38.384,56 \text{ kgf}$$

$$\Phi Pn_{3-2} = \left( \frac{F_{cnx\ 3-2}}{F_{cny\ 3-2}} \right) \cdot A = 50.294,14 \text{ kgf}$$

$$\Phi Pn_{3-3} = \left( \frac{F_{cnx\ 3-3}}{F_{cny\ 3-3}} \right) \cdot A = 61.685,59 \text{ kgf}$$

$$\Phi Pn_{3-4} = \left( \frac{F_{cnx\ 3-4}}{F_{cny\ 3-4}} \right) \cdot A = 61.685,59 \text{ kgf}$$

Fuerzas axiales últimas obtenidas de las combinaciones de carga en el modelo SAP2000:

$$Pu_{3-1} = 11.258,61 \text{ kgf} < \Phi Pn_{3-1}$$

$$Pu_{3-2} = 13.056,89 \text{ kgf} < \Phi Pn_{3-2}$$

$$Pu_{3-3} = 10.485,68 \text{ kgf} < \Phi Pn_{3-3}$$

$$Pu_{3-4} = 7.672,78 \text{ kgf} < \Phi Pn_{3-4}$$

$$Pu < \Phi Pn \quad \text{Ec (3-46)}$$

Verificando cumplimiento se obtiene:

Combinación 3-1 CUMPLE

Combinación 3-2 CUMPLE

Combinación 3-3 CUMPLE

Combinación 3-4 CUMPLE

Debido a que las expresiones anteriores se cumplen, el elemento es adecuado y resiste las sollicitaciones por compresión.

### 3.10.3. Diseño por flexocompresión.

Ya que los esfuerzos por flexión y compresión son conocidos, es necesario hallar la acción de ambos esfuerzos en conjunto.

Para ello se procede a calcular los esfuerzos reales a compresión de la siguiente forma:

$$F_{cu\ 3-(\text{combinacion de carga})} = \frac{Pu_{3-(\text{combinacion de carga})}}{A} \quad \text{Ec (3-47)}$$

$$F_{cu\ 3-1} = \frac{Pu_{3-1}}{A} = 28,12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cu\ 3-2} = \frac{Pu_{3-2}}{A} = 32,61 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cu\ 3-3} = \frac{Pu_{3-3}}{A} = 26,19 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cu\ 3-4} = \frac{Pu_{3-4}}{A} = 19,16 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Posteriormente, se determinan los esfuerzos reales a flexión:

$$F_{bu\ 3-(\text{combinacion de carga})} = \frac{Mu_{3-(\text{combinacion de carga})}}{S} \quad \text{Ec (3-48)}$$

$$F_{bu\ 3-1} = \frac{Mu_{3-1}}{S} = 0,00 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{bu\ 3-2} = \frac{Mu_{3-2}}{S} = 0,00 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{bu\ 3-3} = \frac{Mu_{3-3}}{S} = 101,92 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{bu\ 3-4} = \frac{Mu_{3-4}}{S} = 101,92 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para conocer la acción de ambos esfuerzos sobre el elemento, se debe utilizar la siguiente ecuación de interacción para cada combinación de carga y recordando que los esfuerzos de diseño  $F'_{cn}$  y  $F_{cEn}$  fueron calculados anteriormente.

$$R_{3-(\text{combinacion de carga})} = \left( \frac{F_{cu3-(\text{combinacion de carga})}}{F'_{cn\ 3-(\text{combinacion de carga})}} \right)^2 + \left( \frac{1}{1 - \frac{F_{cu3-(\text{combinacion de carga})}}{F_{cEnx}}} \right) \cdot \frac{F_{bu3-(\text{combinacion de carga})}}{F'_{bu3-(\text{combinacion de carga})}} < 1$$

Ec (3 - 49)

$$R_{3-1} = \left( \frac{F_{cu3-1}}{F'_{cn\ 3-1}} \right)^2 + \left( \frac{1}{1 - \frac{F_{cu3-1}}{F_{cEnx}}} \right) \cdot \frac{F_{bu3-1}}{F'_{bu3-1}} = 0,08 < 1$$

$$R_{3-2} = \left( \frac{F_{cu3-2}}{F'_{cn\ 3-2}} \right)^2 + \left( \frac{1}{1 - \frac{F_{cu3-2}}{F_{cEnx}}} \right) \cdot \frac{F_{bu3-2}}{F'_{bu3-2}} = 0,06 < 1$$

$$R_{3-3} = \left( \frac{F_{cu\ 3-3}}{F'_{cn\ 3-3}} \right)^2 + \left( \frac{1}{1 - \frac{F_{cu3-3}}{F_{cEnx}}} \right) \cdot \frac{F_{bu3-3}}{F'_{bu3-3}} = 0,38 < 1$$

$$R_{3-4} = \left( \frac{F_{cu\ 3-4}}{F'_{cn\ 3-4}} \right)^2 + \left( \frac{1}{1 - \frac{F_{cu3-4}}{F_{cEnx}}} \right) \cdot \frac{F_{bu3-4}}{F'_{bu3-4}} = 0,37 < 1$$

Ya que los requerimientos solicitados se ven cumplidos en las ecuaciones anteriores, entonces se puede decir que el elemento es adecuado y resiste las sollicitaciones por flexocompresión.

Sin embargo, se puede recomendar realizar el procedimiento nuevamente con dimensiones menores o una madera de menor capacidad para ajustar más los valores y no caer en un sobre diseño.

### **3.11. Diseño de Conexiones y uniones.**

Uno de los mayores problemas al realizar un diseño de estructuras de madera es el poder solucionar de la manera adecuada los puntos que convergen en dos ó más piezas.

Estos puntos son comúnmente llamados (nudos), ya que lo que se pretende es que estas puedan llegar a ser capaces de soportar las cargas bajo las cuales estarán sometidas, si estas uniones logran ser lo suficientemente rígidas entonces la totalidad de la estructura no sufrirá daños significativos que pongan en riesgo la integridad de esta.

Aunque existen diversos tipos de uniones, en esta sección se mencionarán solamente dos de ellos, entre los cuales se encuentran los pernos y los clavos.

Las estructuras de madera están formadas por piezas las cuales se encuentran unidas entre sí. Tomando en consideración lo que menciona (Maderia, 2017), las uniones constituyen puntos singulares a las que es necesario prestar atención en su diseño, debido a que el agotamiento de una estructura se puede presentar simplemente por la falta de resistencia de cualquiera de estas uniones. Por lo tanto, las conexiones son de suma importancia en el diseño sismorresistente de las estructuras de madera. Los tipos de conectores a utilizar según el CSCR-2010/2014 deben cumplir con ANSI/ASM B18.6.1 y los valores de capacidad del NDS (2018).

Entre estos, se encuentran los clavos, tornillos tirafondos, pernos, anillos y placas. Los elementos mecánicos de unión son aquellos que, al quedar solicitados a esfuerzos cortantes, admiten desplazamientos relativos entre las piezas conectadas, que se originan por las deformaciones por aplastamiento que sufre la madera en la zona de contacto entre la madera y el medio de unión y, adicionalmente, como en el caso de medios cilíndricos, por las deformaciones por flexión de los medios cilíndricos.

Cabe mencionar, que, para el diseño de las diferentes conexiones, dentro de la normativa costarricense del CSCR-2010/2014 no se presenta un procedimiento a seguir, solo se destaca que se debe considerar la Metodología LRFD para el diseño de las conexiones que sean sismorresistentes. Sin embargo, se menciona que se debe cumplir además con los requisitos de los capítulos 10, 11, 12 y 13 del NDS (2018) para el diseño de conexiones. Junto a esto, se considerará el libro de Juan Tuk (2009) “Madera: Diseño y construcción” como una referencia para nacional para el diseño.

### 3.11.1. Conexiones con clavos.

Este tipo de uniones es particularmente utilizada en aquellas viviendas y edificaciones pequeñas construidas a base de entramados. Es considerada entre los tipos de uniones más económicas y son muy utilizadas.

En la actualidad los clavos se fabrican en diversos tamaños y formas según el uso que se le quiere dar, debido a que en el área de la construcción es muy común su uso, actualmente existen diversos dispositivos mecánicos empleados para clavar.

Normalmente cuando la madera se encuentra en condición verde, pueden clavarse fácilmente, entre las cuales se pueden mencionar aquellas especies del grupo estructural C y muchas del grupo B.

Mientras que las maderas más densas son por lo general más difíciles de clavar, en el caso particular de aquellas que se encuentran entre el grupo estructural A se recomienda hacer un pre-taladro o bien utilizar clavos de alta resistencia, los cuales sean colocados con dispositivos mecánicos especiales.

Los clavos presentan las siguientes características:

- Es uno de los elementos más simples de unión.
- Fabricado de alambre endurecido.
- Tipos: Vástago liso o estriado.
- Terminaciones en Galvanizado, barnizado o pulido.
- Herramienta: Martillo o pistola a presión

La capacidad de carga de los clavos involucra aspectos como la extracción y la resistencia lateral o cortante a la madera

#### 3.11.1.1.Resistencia lateral

Se conoce como como conexión a cortante o cizallamiento lateral al componente lateral de la capacidad de carga de los clavos, es decir es la condición en la que la fuerza es perpendicular al dispositivo. La capacidad de unión de este tipo se representa mediante la letra  $Z$  o  $P_L$ . Básicamente existen dos tipos de cortante, cizallamiento simple y cizallamiento doble.

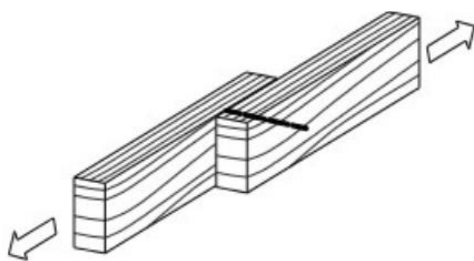


Figura 3.19 Cizallamiento simple, clavo perpendicular al grano.

Fuente: Tomada de (A.A. M. 2009).

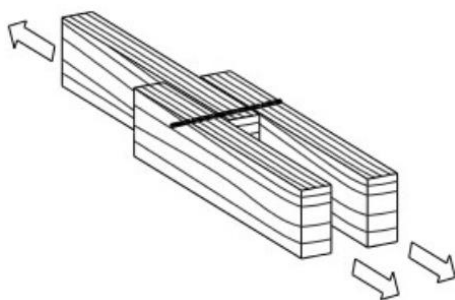


Figura 3.20 Cizallamiento doble para clavo perpendicular al grano.

Fuente: Tomada de (A.A. M. 2009).

Para poder verificar la resistencia lateral basados en la sección M12.3 de la NDS (2018) se debe de emplear la siguiente inecuación:

$$Z' \text{ ó } P_L' \geq R_z \quad \text{Ec (3-50)}$$

Donde:

$Z'$  ó  $P_L'$ : Resistencia lateral de diseño ajustado.

$R_z$ : Esfuerzo lateral.

### 3.11.1.2 Factores de modificación.

Para calcular la capacidad que tienen las uniones a cortante, se deben de tomar en cuenta ciertos factores para la corrección del valor de  $Z (P_L)$ , los cuales se muestran a continuación tomando como referencia la NDS-2018, Navarro (2021) y el CSCR-2010/2014.

**Tabla 3.36** Factores de ajuste sugeridos para capacidad cortante en clavos.

<b>Factor</b>	<b>Referencia</b>	<b>Nombre</b>
$C_{CH}$	NDS-2018 Tabla 11.3.3	Factor de Humedad
$C_t$	NDS-2018 Tabla 11.3.4	Factor de temperatura de servicio
$C_g$	NDS (2018) Tabla 11.3.6A y B	Factor de acción de grupo
$C_p$	Navarro,2021	Factor de placa metálica
$C_{pen}$	Navarro,2021	Factor de penetración
$C_{dob}$	Navarro,2021	Factor de doblado
$K_F$	NDS-2018 Tabla 11.3.1	Factor conversión LRFD
$\Phi_Z$	CSCR-2010/2014 Tabla 11.1	Factor de resistencia
$\lambda$	CSCR-2010/2014 Tabla 11.2.2	Factor de tiempo

### 3.11.1.3.Cálculo de $Z (P_L)$ .

Los factores de ajuste descritos en la sección anterior son aplicados al valor de resistencia de la carga lateral. El valor de resistencia lateral dependerá de la condición de la pieza para lo cual será clasificado según corresponda:

- Carga lateral-hincado perpendicular a las fibras:

$$Z(P_L) = k \cdot \Phi^{1.5} \quad \text{Ec (3-51)}$$

Donde:

k: Factor (en función de la dureza de la madera).

$\Phi$ : Diámetro del clavo o tornillo.

**Tabla 3.37** Valores de k según el PEB.

Grupo	$\Upsilon$ (PEB)	k	Penetración total
I	$0,6 \leq \Upsilon$	228	10 $\Phi$
II	$0,5 \leq \Upsilon < 0,6$	185	11 $\Phi$
III	$0,4 \leq \Upsilon < 0,5$	151	13 $\Phi$
IV	$0,4 < \Upsilon$	121	14 $\Phi$

Fuente: Adaptado de Navarro, 2021a.

- Carga lateral-hincado paralelo a las fibras:

$$Z'(P_L') = \frac{2}{3} \cdot P_L \quad \text{Ec (3-52)}$$

Donde:

$P_L$ : Carga lateral-hincado perpendicular a las fibras.

#### 3.11.1.4. Cálculo de $Z'$ ( $P_L'$ ) ajustado.

Tomando en consideración a Navarro (2021) al proceder a realizar el cálculo de la capacidad lateral ajustada se deben de tomar en consideración los factores de corrección mencionados anteriormente en el apartado de factores de modificación y ser aplicados al valor de carga lateral, la cual se obtiene mediante la fórmula en la sección anterior.

Para hallar la capacidad lateral corregida se debe de aplicar la siguiente fórmula:

$$Z'(P_L') = Z'(P_L')_{fórmula} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_g \cdot C_P \cdot C_{pen} \cdot C_{dob} \cdot K_F \cdot \Phi_{con} \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-53)}$$

#### 3.11.1.5. Resistencia a la extracción.

El conocer cuál es la capacidad de resistencia a la extracción que tiene un clavo es un factor de gran importancia en casos de diseño de encofrados o en condiciones ambientales en donde el factor viento genera una fuerza de empuje considerable pudiendo provocar que los clavos se

desprendan de la tabla. Según Canón (2016) la fuerza de extracción  $W$  ó  $P_E$ , que pueda desarrollar un clavo depende de la densidad de la madera, del contenido de humedad CH%, del diámetro ( $d$ ) y longitud del clavo y de la distancia de penetración del clavo que tiene la punta.

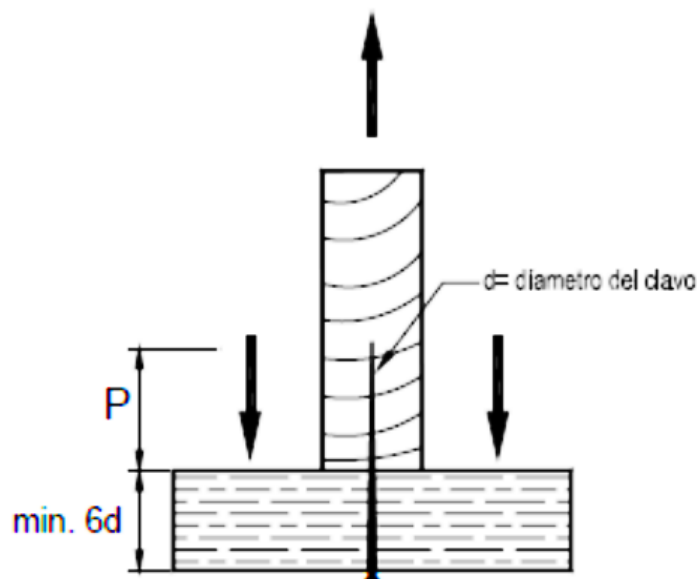


Figura 3.21 Carga de extracción directa sobre el elemento.

Fuente: Tomada de (NSR10, Título G.)

La resistencia a la extracción según el NDS (2018) en la sección M12.2 se verifica mediante la siguiente inecuación:

$$(W' \text{ o } P_E')P_t \geq R_w \quad \text{Ec (3-54)}$$

Donde:

$W'$  o  $P_E'$ : Resistencia a la extracción de diseño ajustado.

$P_t$ : Profundidad de la penetración del clavo o tornillo en la madera.

$R_w$ : Esfuerzo axial (extracción).

### 3.11.1.6. Factores de modificación.

Para el cálculo de capacidad de las uniones por extracción, se debe considerar un listado de factores para la corrección del valor de  $W (P_E)$ .

**Tabla 3.38** Factores de ajuste para la capacidad de extracción para clavos.

<b>Factor</b>	<b>Referencia</b>	<b>Nombre</b>
$C_{CH}$	NDS (2018) Tabla 11.3.3	Factor de Humedad
$C_t$	NDS (2018) Tabla 11.3.4	Factor de temperatura de servicio
$C_g$	NDS (2018) Tabla 11.3.6A y B	Factor de acción de grupo
$C_{pen}$	Navarro, 2021	Factor de penetración
$K_F$	NDS (2018) Tabla 11.3.1	Factor conversión LRFD
$\Phi_w$	CSCR-2010/2014 Tabla 11.1	Factor de resistencia
$\lambda$	CSCR-2010/2014 Tabla 11.2.2	Factor de tiempo

### 3.11.1.7. Cálculo de $W (P_E)$ .

La resistencia a la extracción según el NDS (2018) en la sección 12.2.3 en  $\left(\frac{kg}{cm}\right)$  se considera que la carga de extracción obtenida es por cm de penetración en la pieza que presenta la puna del clavo y se precede a calcular mediante la siguiente ecuación:

$$W (P_E) = 100 \cdot \gamma^{\frac{5}{2}} \cdot \emptyset \quad \text{Ec (3-55)}$$

Donde:

$\gamma$ : Gravedad específica de la madera.

$\emptyset$ : Diámetro del clavo o tornillo.

Esta fórmula es aplicable en ambos casos: madera seca o verde.

### 3.11.1.8. Cálculo de W' (PE') ajustado.

De acuerdo con Navarro (2021) para realizar el cálculo de la capacidad por extracción ajustada se deben contemplar los factores de corrección enlistados en la Tabla 3.31 y ser aplicados al valor de carga de extracción determinada por fórmula en la sección anterior. A continuación, se presenta la fórmula para la obtención de la capacidad de extracción corregida:

$$W' (P_E') = (W' \text{ o } P_E')_{fórmula} \cdot C_{CH} \cdot C_t \cdot C_g \cdot C_g \cdot C_{pen} \cdot C_{dob} \cdot K_F \cdot \Phi_{con} \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-56)}$$

### 3.11.1.9. Espaciamiento mínimo

Las separaciones entre clavos deben ser mayor en maderas con densidades altas (debido a posibles agrietamientos) y en maderas con bajas densidades puede ser menor. Sin embargo, para la determinación de la capacidad de la conexión, se debe asumir que los elementos están lo suficientemente espaciados y por lo tanto no se van a presentar grietas en la madera. A continuación, se presentan las tablas de espaciamientos mínimos de los clavos en madera, esta tabla es aplicable tanto para el caso de carga lateral (cortante) Z ( $P_L$ ) como para el caso de carga paralela (Extracción) W( $P_E$ ).

**Tabla 3.39** Espaciamientos mínimos de clavos en madera.

<b>Hincados→</b>	<b>Sin perforación previa</b>	<b>Con perforación previa</b>
Distancia al extremo	20	10
Distancia al borde	5	5
Espaciamiento ⊥ a las fibras	10	3
Espaciamiento ∥ a las fibras	20	10

Fuente: Adaptado de Navarro,2021b.

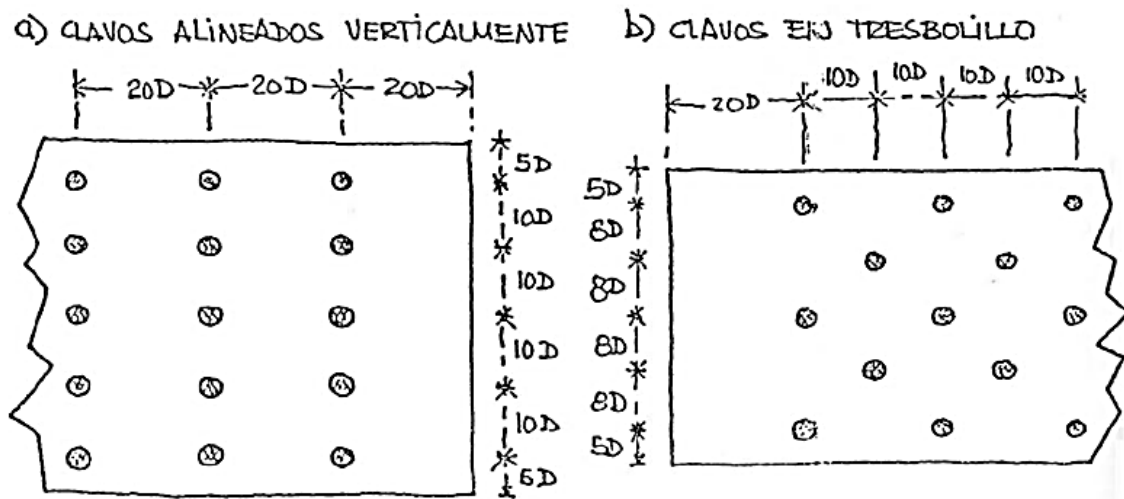


Figura 3.22 Espaciamiento en condición hincados sin perforación previa.

Fuente: Navarro, 2021b.

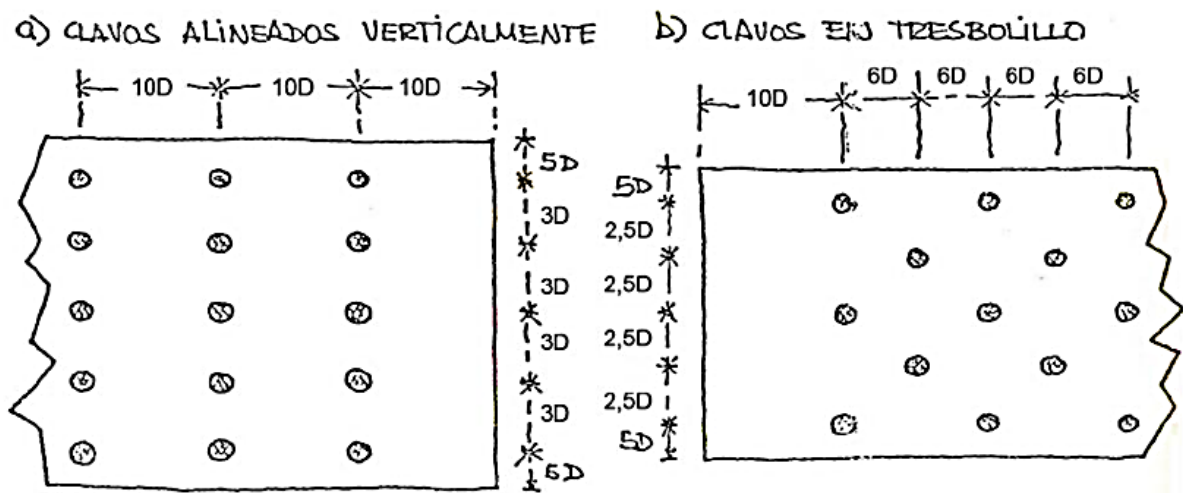


Figura 3.23 Espaciamiento en condición hincados con perforación previa.

Fuente: Navarro, 2021b.

Además, para el caso particular de uniones clavadas en extracción lateral cuya unión presente cierta angulación, la distribución de clavado se debe definir respetando los espaciamientos mínimos especificados en la siguiente tabla:

**Tabla 3.40** Espaciamientos mínimos de clavos de diámetro, D, en mm en uniones clavadas en extracción lateral.

Separación mínima		Clavado sin perforación guía				Clavado con perforación guía
		$0^\circ \leq a < 30^\circ$		$30^\circ \leq a \leq 90^\circ$		Para cualquier a
		$D \leq 4,2$	$D > 4,2$	$D \leq 4,2$	$D > 4,2$	Para cualquier D
Entre clavos	∥ a fibra (Sp)	10·D	12·D	10·D	12·D	5·D
	⊥ a fibra (Sn)	5·D	5·D	5·D	5·D	5·D
Desde el borde	∥ a fibra (Sbcp)	15·D	15·D	15·D	15·D	10·D
	⊥ a fibra (Sbcn)	5·D	7·D	7·D	10·D	5·D
	∥ a fibra (Sbdp)	7·D	10·D	7·D	10·D	5·D
	⊥ a fibra (Sbdn)	5·D	5·D	5·D	5·D	3·D

Fuente: Adaptado de (NCh 1198, 2006.)

### 3.11.2 Conexiones con pernos

Las uniones apernadas se utilizan generalmente cuando las solicitudes sobre una conexión se consideran como relativamente grandes, requiriendo por lo tanto el uso de pernos, normalmente acompañados de platinas de acero. Se recomienda que las perforaciones para los pernos se ejecuten con un diámetro que permita una fácil colocación, sin desgarrar las paredes de la perforación y sin producir astillamientos en el extremo.

**Tabla 3.41** Mayoración de los diámetros de las perforaciones respecto al diámetro del perno, en mm

Diámetro del perno d mm	Contenido de humedad de las maderas en condiciones de servicio			
	CH=6%	CH=12%	CH=15%	CH ≥ 20%
$d \leq 20$	1,6	0,8	0,8	0,8
$20 < d \leq 24$	2,5	1,6	0,8	0,8
$24 < d \leq 30$	2,5	1,6	1,6	0,8

Fuente: Adaptada de (NSR10, Título G).

Un perno es un cilindro de acero o hierro que tiene cabeza, generalmente hexagonal, una parte de vástago lisa y el resto roscado según sea el sistema dimensionado: métrico en milímetros o inglés en pulgadas

Los pernos presentan las siguientes características:

- Es un elemento cilíndrico que atraviesa perpendicularmente los planos de unión.
- Fabricado de acero y hierro.
- Tipos: Cabeza hexagonal o cuadrada.
- Son utilizados en uniones de cargas muy altas.
- Herramienta: Llaves manuales principalmente.

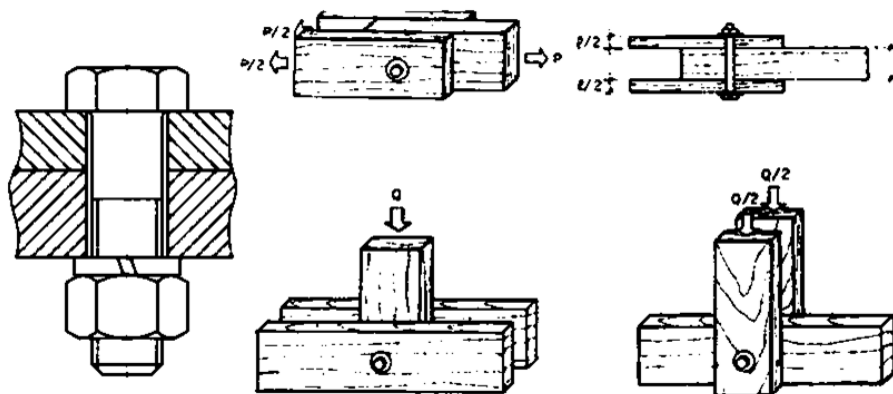


Figura 3.24 Uniones con pernos.

Fuente: CORMA (2015).

Para el diseño de pernos, se debe tomar en cuenta que se hace una diferenciación entre la resistencia que va a tener en dirección paralela al grano (P) y dirección perpendicular al grano (Q).

### 3.11.2.1 Consideraciones generales.

La NDS (2018) establece algunas consideraciones generales que se deben de tener en cuenta para poder realizar el diseño correcto de las uniones con pernos de una manera adecuada.

Tal y como lo menciona Navarro (2021) entre las consideraciones importantes se encuentran las siguientes; a mayor densidad y resistencia de la madera, más resistente es la unión, la resistencia del perno no afecta el límite de proporcionalidad de la unión (a menos que el perno sea tan débil que se deforme antes que las fibras de la madera se aplasten), si el miembro central o los laterales son muy delgados la conexión falla a baja carga, si el perno está muy cerca de los extremos la conexión fallará por grietas (rajaduras) longitudinales en la madera, se pueden unir sólo dos miembros con pernos, pero la capacidad de la unión es reducida, el perno está sometido a esfuerzos de flexión altos, solo se presenta un plano de cortante y la madera empieza a aplastarse bajo cargas relativamente bajas, si alguno de los miembros se une de forma que el perno actúe perpendicular a las fibras, la capacidad de la unión es menor, a mayor diámetro del perno, más resistente es la unión, si los miembros a unir forman un ángulo entre 0 y 90° la resistencia ( $P_{\theta}$ ) se puede calcular empleando la fórmula de Hankinson:

$$P_{\theta} = \frac{P_0}{1 + \left(\frac{P_0}{P_{90}} - 1\right) \cdot \text{sen}^2(\theta)} \quad \text{Ec (3-57)}$$

Donde:

$P_{\theta}$  = Capacidad para el ángulo  $\theta$ .

$P_0$  = Capacidad para ejes colineales.

$P_{90}$  = Capacidad para piezas perpendiculares.

3.11.2.2. Resistencia lateral.

El componente lateral de la capacidad de carga de los pernos se conoce como cortante o cizallamiento lateral. Para el caso de los pernos solo se deben diseñar por cizallamiento lateral. Estos deben de ser diseñados capaces de resistir el cortante que se va a producir en la conexión debido a las fuerzas laterales que actúan en los elementos. La capacidad de unión de este tipo se representa mediante la letra  $Z$  o  $P_p$ .

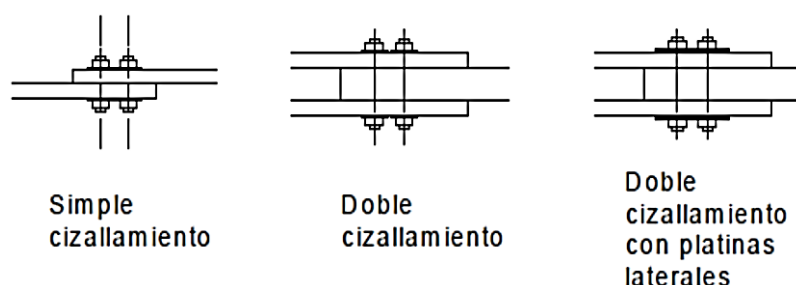


Figura 3.25 Distintos tipos de uniones con pernos.

Fuente: Tomada de (NSR10, Título G).

Para poder verificar la resistencia lateral basados en la sección M12.3 de la NDS (2018) se debe de emplear la siguiente ecuación:

$$Z' \text{ o } P_L' \geq R_z \quad \text{Ec (3-58)}$$

Donde:

$Z'$  o  $P_L'$ : Resistencia lateral de diseño ajustado.

$R_z$ : Esfuerzo lateral.

### 3.11.2.3. Factores de modificación.

Para el cálculo de capacidad de las uniones a cortante con pernos, se debe considerar un listado de factores para la corrección del valor de  $Z$  ( $P_p$ ).

**Tabla 3.42** Factores de modificación.

Factor	Referencia	Nombre
$C_{CH}$	NDS-2018 Tabla 11.3.3	Factor de Humedad de servicio
$C_P$	Navarro, 2021b	Factor de placa metálica
$K_F$	NDS-2018 Tabla 11.3.1	Factor conversión LRFD
$\Phi_Z$	CSCR-2010/2014 Tabla 11.1	Factor de resistencia

Fuente: Adaptado de Navarro, 2021b.

Nota: El factor ( $C_p$ ) solo se utiliza en el caso de que se unan elementos de madera con una placa metálica. En el caso de utilizar la metodología del NDS (2018), este factor no se utiliza. Este factor tiene un valor teórico de 1,25.

#### 3.11.2.4. Factores por alineamiento de pernos.

Cuando sea necesario se deberá de considerar el factor por alineamiento de pernos cuando sea necesario utilizar más de dos pernos para realizar la unión, al mismo tiempo se tendrá que llevar a cabo el respectivo ajuste de la capacidad calculada del perno. Según indica Navarro (2021e) debido a que la capacidad del grupo de pernos es un poco menor que la capacidad unitaria multiplicada por el número de pernos. Este valor se puede obtener a partir de las siguientes

tablas:

**Tabla 3.43** Factores de reducción de cargas por pérdidas de eficiencia en pernos alineados. Elementos laterales en madera.

A1/A2 (3)	A1 (cm2)	Cantidad de pernos en fila							
		2	3	4	5	6	7	8	9
0,5 (1) (2)	< 77	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,61	0,55	0,49
	77 a 123	1,00	0,95	0,88	0,82	0,75	0,68	0,62	0,57
	123 a 181		0,97	0,93	0,88	0,82	0,77	0,71	0,67
	181 a 258	1,00	0,98	0,96	0,92	0,87	0,83	0,79	0,75
	258 a 413	1,00	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,83	0,79
	> 413	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	0,88	0,85	0,82
1 (1) (2)	< 77	1,00	0,97	0,92	0,85	0,78	0,71	0,65	0,59
	77 a 123	1,00	0,98	0,94	0,89	0,84	0,78	0,72	0,66
	123 a 181	1,00	1,00	0,97	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76
	181 a 258	1,00	1,00	0,99	0,96	0,92	0,89	0,86	0,83
	258 a 413	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
	> 413	1,00	1,00	1,00	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88

1. Si  $A1/A2 > 1$ , use  $A2/A1$ .
2. Si  $A1/A2$  está entre 0 y 1, puede interpolar otros valores linealmente.
3. El valor de  $A1$  es el área de la pieza central y el  $A2$ , el correspondiente a la suma de las áreas de las piezas laterales.

Fuente: Adaptada de Tuk (2009)

**Tabla 3.44** Factor de reducción de carga por pérdidas de eficiencia en pernos alineados. Elementos laterales de acero.

A1/A2 (3)	A1 (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de pernos en fila							
		2	3	4	5	6	7	8	9
2-12	161 a 252	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73	0,67	0,61	0,56
	252 a 412	1,00	0,96	0,92	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66
	412 a 767	1,00	0,98	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,75
	767 a 1285	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84
12-18 (1) (2)	252 a 412	1,00	0,98	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
	412 a 767	1,00	0,99	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,79
	767 a 1285	1,00	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86
	>1285	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91
18-24	252 a 412	1,00	1,00	0,96	0,93	0,89	0,84	0,79	0,74
	412 a 767	1,00	1,00	0,97	0,94	0,92	0,89	0,86	0,83
	767 a 1285	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90
	>1285	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93
24-30	252 a 412	1,00	0,94	0,94	0,90	0,85	0,80	0,74	0,69
	412 a 767	1,00	0,97	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,79
	767 a 1285	1,00	0,98	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,87
	>1285	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92
30-35	252 a 412	1,00	0,92	0,92	0,86	0,80	0,74	0,68	0,64
	412 a 767	1,00	0,95	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
	767 a 1285	1,00	0,97	0,97	0,95	0,92	0,88	0,85	0,82
	>1285	1,00	0,98	0,98	0,97	0,95	0,93	0,90	0,89
30-35	252 a 412	1,00	0,89	0,89	0,82	0,75	0,890,69	0,63	0,58
	412 a 767	1,00	0,93	0,93	0,88	0,82	0,77	0,71	0,67
	767 a 1285	1,00	0,96	0,96	0,93	0,89	0,85	0,81	0,78
	>1285	1,00	0,98	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84

1. Si  $A1/A2 > 1$ , use  $A2/A1$ .
2. Si  $A1/A2$  está entre 0 y 1, puede interpolar otros valores linealmente.
3. El valor de  $A1$  es el área de la pieza central y el  $A2$ , el correspondiente a la suma de las áreas de las piezas laterales.

Fuente: Adaptada de Tuk (2009)

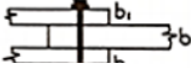

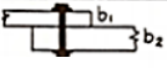



En la estimación de la capacidad de las uniones con pernos se pueden utilizar tres métodos diferentes, estos son mediante:

- Tablas de capacidades
- Factores de ajuste de esfuerzo
- Fórmulas propuestas en códigos o reglamentos (Como las indicadas en el NDS-2018)

Como se mencionó anteriormente las uniones con pernos se diseñan solamente por cortante lateral y se pueden obtener diferentes capacidades dependiendo de si la dirección de la carga es paralela al grano (P) o perpendicular al grano (Q). Por lo tanto, si existe la información suficiente para poder obtener estas dos capacidades de los pernos por medio del uso de tablas se debe tener en cuenta algunas consideraciones en relación con los datos de entrada que se utilizan para obtener los valores de dichas tablas.

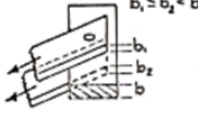
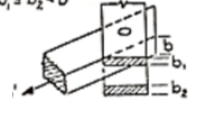
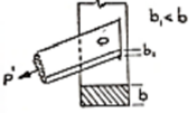
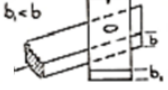
Para obtener los valores de P y Q de la tabla, la longitud del perno (L) es uno de los valores que se debe utilizar y este puede verse afectado por algunas condiciones que se establecen en el NDS-2018. Estas condiciones van a depender si se tienen los elementos en posición normal (coincidir con la carga paralela o perpendicular al grano) o si tienen elementos inclinados con un ángulo entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ . Por ende, las siguientes tablas muestran cómo obtener dichos valores de entrada de acuerdo con cada condición. En el caso que de no se cumplan, se utilizará el valor de la longitud sin corregir, esto quiere decir, el valor de la longitud del perno a obtener en el mercado.

**Tabla 3.45** Consideraciones para tener el valor de L en elementos normales.

	Carga paralela al grano	Carga perpendicular al grano
Carga admisible por perno para carga (normal) en cortante doble	 <p>Cuando <math>b_1</math> y <math>b_2 \geq b/2</math>                      Obtener P por <math>L=b_1</math>                      Cuando <math>b_1 \leq b_2 &lt; b/2</math>                      Obtener P por <math>L=2b_1</math>.</p>	 <p>Obtener Q por <math>L=b</math>                      Obtener P por <math>L=2b_1</math>; <math>b_1 \leq b_2</math>                      Use el que sea más pequeño de estos, P o Q.</p>
Carga admisible por perno para carga (normal) en cortante simple	 <p>Cuando <math>b_1 \leq b/2</math>                      Use <math>L=2b_1</math> y Obtener P/2 por diseño</p>	 <p>Obtener Q/2 por <math>L=2b_1</math>                      Obtener P/2 por <math>L=2b_1</math>; <math>b_1 \leq b_2</math>                      Use el que sea más pequeño de estos, P/2 o Q/2.</p>
Carga admisible por perno por plano de corte para carga (normal)	 <p>Si <math>b_1 = b_2 = b_3 = b_4</math> :                      Use <math>L=2b_1</math> y Obtener P/2 por diseño de cada plano de corte                      Si <math>b_1, b_2, b_3</math> y <math>b_4</math> no son iguales use <math>L=</math> El doble del menor b para obtener P/2 por diseño para cada plano de corte.</p>	 <p>Obtener Q/2 por <math>L=2b_1</math>                      Obtener P/2 por <math>L=2b_1</math>                      Use el que sea más pequeño de estos, P/2 o Q/2.</p>

Fuente: Navarro, 2021b.

**Tabla 3.46** Consideraciones para obtener el valor de L en elementos inclinados.

	Carga de $0^\circ$ a $90^\circ$ en Miembro principal.	En miembro lateral.
Carga admisible por perno para carga "normal" en doble cortante.	 <p>Obtener P por <math>L=b</math>                      Obtener Q por <math>L=b</math>                      Use Hankinson fórmula para obtener N.                      Obtener P' por <math>L=2b_1</math>                      Use P' o N, el que sea más pequeño, para el diseño.</p>	 <p>Obtener Q por <math>L=2b_1</math>                      Obtener P por <math>L=2b_1</math>                      Use Hankinson fórmula para obtener N.                      Obtener P' por <math>L=b</math>                      Use P' o N, el que sea más pequeño, para el diseño.</p>
Carga admisible por perno para carga "normal" en cortante simple.	 <p>Obtener Q/2 por <math>L=2b</math>                      Obtener P/2 por <math>L=2b</math>                      Obtener N/2 mediante Hankinson.                      Obtener P'/2 por <math>L=2b_1</math>                      Use N/2 o P'/2, el que sea menor.</p>	 <p>Obtener P/2 por <math>L=2b_1</math>                      Obtener Q/2 por <math>L=2b_1</math>                      Obtener N/2 mediante Hankinson.                      Obtener P'/2 por <math>L=2b</math>                      Use N/2 o P'/2, el que sea menor.</p>

Fuente: Navarro, 2021b.

Después de conocer cómo obtener el valor de la longitud del perno (L), existen otros parámetros de entrada, como el diámetro del perno a utilizar para así se obtiene la relación  $\frac{L}{d}$  y el valor del PEB para obtener la clasificación de la madera.

Cuando se tengan elementos normales, estos coinciden con las cargas paralelas o perpendiculares al grano, caso en el que se puede tomar el valor que indica la tabla. En el caso de que se tengan elementos inclinados con ángulos entre 0° y 90° se debe tomar los valores de P y Q de la tabla, y mediante la ecuación de Hankinson; Ec (3-57) se puede obtener la carga resultante en el ángulo  $\theta$  de interés.

A continuación, se muestra la Tabla de las cargas admisibles:

**Tabla 3.47** Cargas admisibles.

L Elemento central		b elementos laterales		Diámetro perno		L/Φ	Maderas duras g=0,55		Semi duras g = 0,44		Suaves g=0,35	
Pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm		P kg	Q kg	P kg	Q kg	P kg	Q kg
1 1/2	38	1 1/2	38	1/2	12,5	3,0	518	360	437	306	437	306
				5/8	15,6	2,4	648	509	545	509	545	423
				3/4	18,8	2,0	779	599	653	599	653	468
				7/8	21,9	1,7	909	648	761	648	761	495
				1	25,0	1,5	1040	689	869	689	869	540
1 3/4	44	1 3/4	44	1/2	12,5	3,56	608	383	509	320	410	266
				5/8	15,6	2,84	756	522	635	450	509	365
				3/4	18,8	2,37	909	698	761	545	612	392
				7/8	21,9	2,03	1058	756	887	581	716	428
				1	25,0	1,78	1211	806	1013	630	819	459
2 1/2	63	1 1/2	38	1/2	12,5	5,00	594	360	522	306	446	261
				5/8	15,6	4,00	842	509	747	423	653	311
				3/4	18,8	3,33	1148	509	1026	468	878	333
				7/8	21,9	2,86	1512	648	1269	495	1022	365
				1	25,0	2,50	1728	689	1449	540	1166	392
3 1/2	89	1 1/2	38	1/2	12,5	7,11	594	360	522	306	446	261
				5/8	15,6	5,69	842	509	747	423	653	311
				3/4	18,8	4,74	1148	599	1026	468	905	333
				7/8	21,9	4,06	1512	648	1364	540	1211	365
				1	25,0	3,56	1940	689	1737	320	1400	392
		1 3/4	44	1/2	12,5	7,11	644	383	563	320	477	266
				5/8	15,6	5,69	896	522	792	450	680	365
				3/4	18,8	4,74	1202	698	1067	545	932	392
				7/8	21,9	4,06	1562	756	1400	581	1233	428
				1	25,0	3,56	1980	806	1697	630	1584	459
		3 1/2	89	1/2	12,5	7,11	675	513	617	410	554	360
				5/8	15,6	5,69	1053	702	968	581	869	464
				3/4	18,8	4,74	1521	860	1391	725	1224	581
				7/8	21,9	4,06	2070	1049	1773	882	1431	738
				1	25,0	3,56	2421	1251	2030	1085	1634	914
5 1/4	133	1 1/2	38	5/8	15,6	8,53	842	509	747	423	653	311
				3/4	18,8	7,11	1148	599	1026	468	905	333
				7/8	21,9	6,10	1512	648	1364	495	1211	365
				1	25,0	5,33	1940	689	1737	540	1400	392
				5/8	15,6	8,53	896	522	792	450	680	365
		1 3/4	44	3/4	18,8	7,11	1202	698	1067	545	932	392
				7/8	21,9	6,10	1562	756	1400	581	1233	428
				1	25,0	5,33	1980	806	1787	630	1616	459
				5/8	15,6	8,53	1053	702	968	581	869	464
				3/4	18,8	7,11	1521	860	1391	725	1247	581
		3 1/2	89	7/8	21,9	6,10	2270	1049	1859	882	1566	738
				1	25,0	5,33	2583	1251	2246	1085	1908	914

5 1/2	138	1 1/2	38	5/8	15,6	8,80	842	509	747	423	653	311
				3/4	18,8	7,33	1148	599	1026	468	905	333
				7/8	21,9	6,29	1512	648	1364	495	1211	365
				1	25,0	5,50	1940	689	1737	540	1400	392
				5/8	15,6	8,80	1053	702	968	581	869	464
				3/4	18,8	7,33	1521	860	1391	725	1247	5081
		3 1/2	89	7/8	21,9	6,29	2070	1049	1859	882	1566	738
				1	25,0	5,50	2583	1251	2246	1085	1908	914
				5/8	15,6	12,00	842	509	747	423	653	311
				3/4	18,8	10,00	1148	599	1026	468	905	333
				7/8	21,9	8,57	1512	648	1364	495	1211	365
				1	25,0	7,50	1940	689	1737	540	1400	392
7 1/2	188	3 1/2	89	5/8	15,6	12,00	1053	702	967,5	580,5	868,5	464
				3/4	18,8	10,00	1521	860	1390,5	724,5	1246,5	581
				7/8	21,9	8,57	2070	1049	1858,5	882	1566	738
				1	25,0	7,50	2583	1251	2245,5	1084,5	1908	914

Fuente: Adaptada de Tuk (2009).

### 3.11.2.5. Cálculo del valor corregido.

Al obtener los valores de cargas admisibles de P y Q para el perno, se debe escoger la condición más crítica donde se toma el valor menor de los resultados obtenidos. A partir de este valor, se debe corregir con los factores de corrección enlistados anteriormente. A continuación, se presenta la fórmula para la obtención de la capacidad lateral corregida:

$$P_p' = (P, Q \text{ o } P_\theta)_{\text{tabla}} \cdot C_{CH} \cdot C_p \cdot C_{\text{alineamiento}} \cdot \Phi_{\text{con}} \cdot K_F \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-59)}$$

### 3.11.2.6. Espaciamiento mínimo.

La NDS (2018) establece que el espaciamiento entre pernos y la distancia entre estos y los bordes de los elementos de madera deben ser suficientes para permitir que cada perno desarrolle toda su capacidad resistente. En aquellos casos en donde las uniones estén constituidas por elementos de madera, cuyas orientaciones sean en distintas direcciones se

recomienda realizar la verificación correspondiente para cada uno de ellos, tomando en consideración para la unión aquellos cuyo valor sea más elevado para cada dirección. Es por esto, que se presenta la Tabla de espaciamientos mínimos de los pernos en madera, esta Tabla depende si la fuerza es aplicada en paralelo o perpendicular al grano, como se muestra a continuación:

**Tabla 3.48** Espaciamientos mínimos de pernos en madera.

	<b>Carga</b>	<b>Paralela al grano</b>	<b>Perpendicular al grano</b>
<b>A</b>	Distancia al extremo cargado		4 $\Phi$
	½ tensión	7 $\Phi$	
	Compresión	4 $\Phi$	
<b>B</b>	Distancia al extremo sin carga		1 1/2 $\Phi$
<b>C</b>	Distancia entre pernos alineados	4 $\Phi$	4 $\Phi$
<b>D</b>	Distancia entre filas de pernos	1 1/2 $\Phi$	
	Para $l/d = 2$		2 1/2 $\Phi$
	Para $l/d \geq 6$		5 $\Phi$
	Para $2 \leq l/d \leq 6$		Interpolar
<b>E</b>	Distancia al borde		
	$l/d \leq 6$	1 1/2 $\Phi$	
	$l/d \geq 6$	½ (Sep.Fila)(1)	

La separación mínima al borde es de 1 1/2 $\Phi$ . La mitad de la separación entre filas de pernos rige solo si es mayor. Por lo que, en estos casos rige la distancia al borde de 2,82 cm.

Fuente: Adaptada de Navarro, A.(2021b).

### 3.12. Conexión viga – columna con pernos.

Para el diseño de la conexión se utiliza un elemento que sigue la dirección paralela al grano.

Se debe seleccionar la situación más crítica, como se muestra a continuación:

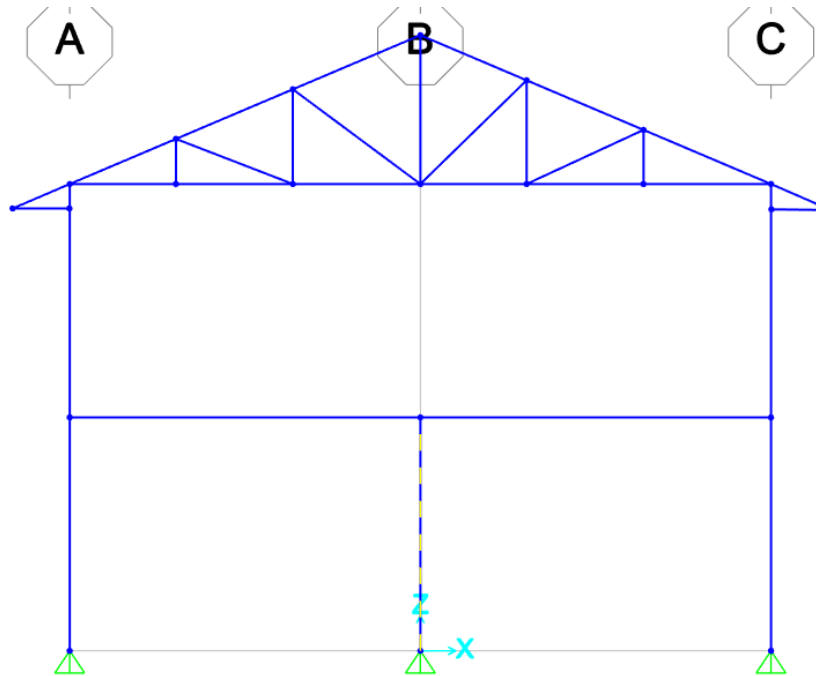


Figura 3.26 Conexión a diseñar.

Para el diseño de la conexión se utiliza un elemento que sigue la dirección paralela al grano. Se debe seleccionar la situación más crítica, como se muestra a continuación:

### 3.12.1. Cálculo del número de pernos

En el proyecto se utilizó madera Pilón, la cual se clasifica como una especie semidura, por lo tanto, para un  $L=138$  mm y para un diámetro de perno de 18,8 cm y un  $b=89$  mm, se obtienen los valores de cargas admisibles de:

$$P_{perno} = 1.391 \text{ kgf}$$

$$Q_{perno} = 725 \text{ kgf}$$

Para este caso, solo se considerará el valor de P ya que solo se va a diseñar la unión para una carga paralela.

$$P_{calculado} = 1.3056,89 \text{ kgf}$$

$$\# \text{ pernos} = \frac{P_{calculado}}{P_{perno}} \quad \text{Ec (3-60)}$$

$$\# \text{ pernos} = \frac{13.056,89 \text{ kgf}}{1.391 \text{ kgf}} = 9,39 \text{ pernos} \cong 10 \text{ pernos}$$

### 3.12.2. Factores de corrección.

Se aplican los siguientes factores de ajuste para la carga  $P_{perno}$ .

**Tabla 3.49** Factores de ajuste para capacidad a cortante del perno a diseñar.

Factor	Valor	Nombre
$C_{CH}$	1	Humedad < 18%
$C_P$	1	No se utilizan placas metálicas.
$K_F$	3,32	Factor conversión para conexiones
$\Phi_Z$	0,65	Factor de resistencia para conexiones
$\lambda$	0,80	Combinación 3-2 (ocupación)

Posteriormente, se debe calcular el coeficiente por alineamiento de pernos para elementos de madera, de la siguiente manera:

$$\text{Área}_1 = 25 \cdot 15 = 375 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área}_2 = 30 \cdot 20 = 600 \text{ cm}^2$$

$$\frac{\text{Área}_1}{\text{Área}_2} = 0,625 < 1$$

Utilizando la tabla 3.37 se obtiene que por la cantidad de pernos iniciales y el valor del Área1, se obtiene un  $C_{alineamiento} = 0,83$ .

Y así se puede determinar el valor de  $P_{perno}$  ajustado:

$$(P_p') = (P \text{ o } Q \text{ o } P_\theta)_{Tabla} \cdot C_{CH} \cdot C_P \cdot C_{alineamiento} \cdot K_F \cdot \Phi_{con} \cdot \lambda \quad \text{Ec (3-61)}$$

$$P_{perno}' = 1.391 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 3,32 \cdot 0,65 \cdot 0,8$$

$$P_{perno}' = 1.993,18 \text{ kgf}$$

### 3.12.3. Verificación del número de pernos.

A partir del valor corregido de  $P_{perno}$ , se vuelve a calcular la cantidad de pernos a utilizar en la conexión.

$$P_{calculado} = 13.056,89 \text{ kgf}$$

$$\# \text{ pernos} = \frac{P_{calculado}}{P_{perno}} \quad \text{Ec (3-62)}$$

$$\# \text{ pernos} = \frac{13.056,89 \text{ kgf}}{1993,18 \text{ kgf}} = 6,55 \text{ pernos} \cong 7 \text{ pernos}$$

Por lo tanto, se asume una cantidad final de 8 pernos para la conexión viga columna crítica.

#### 3.12.4. Espaciamiento mínimo.

Por último, se realiza el cálculo de los espaciamentos mínimos que se debe considerar para cumplir con el diseño de la conexión para la carga en paralelo al grano, a compresión. A continuación, se presentan los cálculos realizados

- Distancia al extremo cargado.

$$4 * \Phi = 4 \cdot 1,88 \text{ cm} = 7,52 \text{ cm}$$

- Distancia al extremo sin cargar.

N/A.

- Distancia entre filas de pernos.

$$1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \Phi = 1,5 \cdot 1,88 \text{ cm} = 2,82 \text{ cm}.$$

- Distancia al borde para  $L/\Phi > 6$

$$1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \Phi = 0,5 \cdot 2,82 \text{ cm} = 1,41 \text{ cm}$$

Cabe mencionar, que estas son distancias mínimas, por lo que, para lograr una simetría de la posición de los pernos, se utilizaran dimensiones mayores a las mínimas.

### 3.13. Requerimientos e información general para planos constructivos.

Los planos estructurales de cualquier edificación diseñada según lo indica el Código sísmico de Costa Rica (CSCR-2010/2014), deben contener cierta información con el objetivo de que se puedan cumplir los requisitos mínimos necesarios para asegurar que, al construirse la edificación, se contemplen todos los aspectos considerados por el profesional responsable del diseño.

En el caso de construcciones con madera estos requisitos son:

- a. Identificación de la especie o especies de la madera a utilizar.
- b. Contenido de humedad de diseño.
- c. Clasificación estructural o propiedades especificadas de la madera.
- d. Tipo de preservante cuando sea requerido según su uso (interior o exterior): penetración en mm y retención en  $\frac{kg}{m^3}$ .
- e. Tipo de retardante para fuego cuando sea requerido: retención en  $\frac{kg}{m^3}$  y tiempo mínimo.
- f. Especificaciones de los conectores mecánicos.
- g. Especificaciones de los adhesivos, si se utilizan.

Además de lo anterior para edificaciones en general se deben de cumplir los siguientes requisitos en planos:

- a. Propiedades mecánicas de los materiales considerados en el diseño estructural.
- b. Clasificación del sitio de cimentación y capacidad de soporte del suelo considerada en el diseño.
- c. Clasificación del edificio según su importancia.
- d. Clasificación del edificio según el sistema estructural.

- e. Indicación de si el edificio es regular o irregular, con irregularidad moderada o grave en planta y en altura.
- f. Ductilidad global asignada.
- g. Aceleración pico efectiva de diseño.
- h. Método de análisis utilizado según el capítulo.
- i. Estimación de los períodos fundamentales y coeficientes sísmicos correspondientes para cada una de las direcciones de análisis.
- j. Estimación de los desplazamientos inelásticos relativos entre pisos.

### **3.14 Recomendaciones del diseño.**

Al utilizar este capítulo del documento, se recomienda consultar códigos y normas locales en cuanto a la determinación del cortante basal y fuerza sísmica por nivel, ya que este ejemplo abarca el caso específico de una vivienda ubicada en la provincia de Alajuela, Costa Rica.

Además, es importante conocer con certeza cuales son las cargas a las que se verá sometida la estructura, en caso de no contar con dicha información se pueden considerar valores típicos sin embargo no es lo ideal.

Cuando se presente un incumplimiento por diseño LRFD de algún elemento, se puede considerar el cambio de madera cuyos esfuerzos básicos sean mayores o bien se pueden aumentar las dimensiones de la sección transversal de la pieza y en caso de cumplimiento se recomienda realizar una correcta verificación para no incurrir en sobrediseños disminuyendo costos referentes a materiales y mano de obra sin dejar de velar por la seguridad del diseño.

### 3.15 Referencias Bibliográficas

- A., A. M. (2009). Diseño en madera.  
File:///D:/Omar/Downloads/Diseno%20en%20madera%20universidad%20de%20valparaiso.pdf.
- American Forest & Paper Association (2018). National Design Specification (NDS) for Wood Construction. ASD / LRFD with Commentary and NDS Supplement. American Wood Council Estados Unidos.
- Borge Poso Emily Fallas Barboza Rónald González González Wilser Robinson León Jennifer Torres Hernández Leonardo. (2020). Guía Práctica para el Diseño de Estructuras de Madera.
- Cañón, D. F. T. (2016). DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MADERA SEGÚN LA NSR10. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2291/tiquedanie12016.pdf?Sequence=1>.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos. Código Sísmico de Costa Rica 2010/14.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2010). Código Sísmico de Costa Rica 2010. Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA. Uniones en la madera, centro de transferencia tecnológica. Primera Actualización. Santiago. CORMA, 2015
- DUO - Viga de madera laminada encolada de Theurl Holz .(s / f). Archiexpo.es. Recuperado el 4 de noviembre de 2021, de <https://www.archiexpo.es/prod/theurl-holz/product-60497-458107.html>.
- Maderia. (2017). Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera. [https://egoin.com/wpcontent/uploads/2017/04/Guia-calculo\\_union.es](https://egoin.com/wpcontent/uploads/2017/04/Guia-calculo_union.es)
- MIDUVI: Guía práctica para el diseño de estructuras de madera de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. Editorial Imprenta Activa, Quito, Ecuador.

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, “Estructuras de Madera”, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Código NEC-SE-MD, Quito, Ecuador, 2015.
- Navarro, A. (2021a). Diseño Deflexión. [Diapositiva de Power Point]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción, CO-5023 Estructuras Temporales, tecDigital.
- Navarro, A. (2021b). Conexiones. [Diapositiva de Power Point]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción, CO-5023 Estructuras Temporales, tecDigital.
- Nch 1198 Of.2006. Construcciones en Madera – Cálculo”, Santiago, Chile, año 2006.
- REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10).Titulo G, Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá. NSR 10, 2010.
- Tuk, J 2007 Madera diseño y construcción 2 da ed) San José, CFIA.
- Tablones de madera en Monterrey - La Continental. (s/f). Com.mx. Recuperado el 24 de noviembre de 2021,de<http://lacontinental.com.mx/tablones-madera-monterrey>