



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**GUÍA PARA ANÁLISIS, DISEÑO Y DETALLAMIENTO DE
CONEXIONES DE MADERA EN EDIFICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: DARÍO JAVIER LANDÍN CALLE

**DIRECTOR: ING. FLORENCIO GEOVANNY GONZÁLEZ
RODRÍGUEZ, MCS.**

AZOGUES - ECUADOR

2021

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

GUÍA PARA ANÁLISIS, DISEÑO Y DETALLAMIENTO DE
CONEXIONES DE MADERA EN EDIFICACIONES.

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: DARÍO JAVIER LANDÍN CALLE

**DIRECTOR: ING. FLORENCIO GEOVANNY GONZÁLEZ
RODRÍGUEZ, MCS**

AZOGUES - ECUADOR

2021

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Darío Javier Landín Calle portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º **0302311345**. Declaro ser el autor de la obra: **“Guía para análisis, diseño y detallamiento de conexiones de madera en edificaciones”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **16 de noviembre de 2021**



Darío Javier Landín Calle

C.I. 0302311345

CERTIFICADO DEL TUTOR

Azogues, 10 de noviembre del 2021

Ingeniero

Rómulo Ricardo Romero González

**DIRECTOR DE CARRERA DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

Su despacho. –

De mi consideración:

Reciba un atento saludo y al mismo tiempo aprovecho para desearle éxitos en sus funciones. Por el medio del presente, tiene como objetivo indicar a usted y por su intermedio a quien corresponda, la nota del trabajo de titulación **“GUÍA PARA ANÁLISIS, DISEÑO Y DETALLAMIENTO DE CONEXIONES DE MADERA EN EDIFICACIONES”** elaborado por el Sr. Darío Javier Landín Calle, la misma que es de **42/50**.

Anticipando mis agradecimientos por la oportuna atención, me suscribo de usted.

Atentamente;
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Firmado electrónicamente por:
FLORENCIO GEOVANNY
GONZALEZ RODRIGUEZ

Ing. Florencio Geovanny González Rodríguez MSc.
DOCENTE TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES

Resumen

El objetivo principal de este trabajo de titulación es el desarrollo de un documento guía para conexiones de madera empleadas en edificaciones, con su proceso de análisis, diseño y su representación gráfica, mediante la revisión bibliográfica para presentar información actualizada, plasmada en una guía con la exposición de aplicaciones prácticas a nuestro medio.

Se ha realizado la clasificación de tipos de maderas estructurales existentes en el Ecuador, así como también el tipo de madera más empleado en viviendas patrimoniales y modernas en la ciudad de Azogues mediante una encuesta a diez casas construidas con este material. Por otro lado, también se realizó una descripción de viviendas en madera enfocado a sus conexiones y en cómo estas han sido construidas tradicionalmente y modernamente, dando a conocer si están empleando nuevas alternativas de diseño de uniones.

Para el análisis y diseño de conexión, se aplicó el levantamiento de información de la estructura de una vivienda de madera construida en la ciudad de Azogues sector Chavay Alto. En base a esta edificación se desarrolló la guía para análisis, diseño y detalle de la conexión, empleando la Norma Ecuatoriana de la construcción para madera y con ayuda del Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. La conexión empleada es de tipo placa de acero con tornillos. Es un tipo de unión de varias desarrolladas en el mundo.

Palabras claves: Conexión, coníferas, madera, resistencia

ABSTRAC

The main objective of this work is to develop of a guide document for wood connections which are used in buildings, with its process of analysis, design and graphic representation, through the bibliographic review to present updated information, embodied in a guide with the exposure of practical applications to our environment. It has been made a classification of the types of structural wood existing in Ecuador, as well as the type of most used in patrimonial and modern houses in Azogues city; it was applied a survey of ten houses built with this material. On the other hand, a description of wooden houses was also made focusing on their connections and how they have been built traditionally and modernly, showing if they are using new alternatives of joint design. For the analysis and connection design, information was collected from the structure of a wooden house built in Chavay Alto near Azogues city Based on this building, a guide was developed for the analysis, design and detailing of the connection, using the Ecuadorian Standard for wood construction and with the help of the Andean Group's Wood Design Manual. The connection used is steel plate with screws. It is one kind of connection, of some developed in the world.

Keywords: connection, conifers, wood, resistance

Índice

1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo principal	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación	3
1.4 Metodología	4
2. La madera como material estructural y sus propiedades	6
2.1 Definiciones	6
2.1.1 Madera	6
2.1.2 Madera estructural	6
2.1.3 Estructura	6
2.2 Histórica de la madera en estructura	7
2.2.1 Edad clásica (3.3000 a.C. - 476 d.C)	7
2.2.2 Edad media (476 - 1492)	8
2.2.3 Edad moderna (1492 - 1789)	9
2.2.4 Edad contemporánea (1789 - Actualidad)	10
2.3 Madera para la construcción	11
2.3.1 Recuso forestal del Ecuador	12
2.3.2 Especies de madera	13
2.4 Madera estructural	16
2.4.1 Requisitos generales	16
2.4.2 Características	17
2.4.3 Clasificación	17
2.5 Estructura de la madera	18
2.5.1 El tronco	18
2.5.2 Estructura anatómica	19
2.5.3 Contenido de Humedad	19
2.5.4 Peso específico y densidad	20
2.5.5 Conductividad térmica	20
2.5.6 Absorción de sonido y Transmisión	21
2.5.7 Conductividad eléctrica	21
2.6 Propiedades resistentes en madera	21
2.6.1 Resistente a la compresión	22
2.6.2 Resistente a la tracción	23
2.6.3 Resistente al cortante	23
2.6.4 Resistente a la flexión	23
2.6.5 Elasticidad y Deformidad	24
2.7 Factores que alteran el comportamiento de la madera	25
2.7.1 Defecto crecimiento	26
2.7.2 Nudos en los troncos	26
2.7.3 Inclinaciones del grano	26
2.7.4 Las perforaciones	27
2.7.5 Médula central	28
2.7.6 Contenido de humedad	28

2.7.7	Densidad	29
2.7.8	Temperatura	29
2.7.9	Duración de carga.....	30
2.7.10	Degeneración.....	30
2.7.11	Ataques de insectos.....	30
2.7.12	Ataques químicos.....	30
3.	Uniones y conexiones de madera.....	31
3.1	Conexiones de madera	31
3.2	Tipologías de Conexión	31
3.2.1	Conexión Simple	32
3.2.2	Conexión Rígida (FR)	33
3.2.3	Conexión Semi-Rígida (PR).....	34
3.3	Uniones tradicionales.....	35
3.3.1	Juntas a media madera.....	35
3.3.2	Ensamblés	35
3.3.3	Empalmes.....	38
3.4	Uniones con clavo y tornillo.....	38
3.5	Conectores metálicos	40
3.6	Métodos de conexiones	41
3.6.1	Sistema de Fijación CTBA-HILTI.....	42
3.6.2	Sistema GREIM	42
3.6.3	Sistema BSB (BLUMER-SYSTE-BINDER).....	43
3.6.4	Sistema JANEBO-BULLDOG	43
3.6.5	Sistema anclaje BERSCHTE VERPRESS DUBER (BVD).....	44
4.	Tipologías en edificaciones en la ciudad de Azogues con elementos de madera.....	45
4.1	Características generales de la vivienda.....	45
4.1.1	Vivienda Patrimonial Quinta San José	45
4.1.2	Villa contemporánea de madera.....	47
4.1.3	Vivienda Dúplex en madera.....	49
4.2	Descripción estructural.....	50
4.2.1	Vivienda Patrimonial Quinta San José	50
4.2.2	Villa contemporánea de madera.....	52
4.2.3	Vivienda Dúplex en madera.....	53
4.3	Características de las conexiones.....	55
4.3.1	Vivienda Patrimonial Quinta San José	55
4.3.2	Villa contemporánea de madera.....	58
4.3.3	Vivienda Dúplex de madera.....	61
5.	Análisis y diseño de conexión en madera.....	65
5.1	Normativa empleada para diseño de conexión	65
5.1.1	Requisitos de diseño	65
5.1.2	Diseño de vigas	66
5.1.3	Diseño de columnas.....	70
5.1.4	Uniones con tirafondos atornilladas para madera	75
5.1.5	Diseño de placa de acero para conexiones de madera.....	78
5.2	Guía y ejemplo de diseño	81
5.3	Diseño de conector tipo placa de acero.....	94

5.4	Grafica de la conexión	97
5.5	Resultados de comparación conexiones de vivienda	98
6.	Conclusiones y recomendaciones	103
6.1	Conclusiones.....	103
6.2	Recomendaciones	105
	Referencias	106
	ANEXOS	108

Índice de Figuras

Fig. 1. Árbol.....	6
Fig. 2. Estructura de una vivienda de madera.....	7
Fig. 3. Cubierta de los templos de Grecia en madera.....	8
Fig. 4. Templos japoneses de Horyu-ji.....	8
Fig. 5. Armadura de madera por Vasari para la cubierta de la galería Uffzi.....	9
Fig. 6. Puente degli Alpini en Bassano dil Grappa.....	10
Fig. 7. La Casa Bethlehem.....	10
Fig. 8. Vivienda con madera prefabricada o laminada.....	11
Fig. 9. Madera de construcción estructural.....	12
Fig. 10. Partes del tronco.....	19
Fig. 11. Direcciones ortogonales de la madera.....	21
Fig. 12. Curvas esfuerzo-deformación de la madera con dirección a la fibras.....	22
Fig. 13. Curva típica Carga-Deformación.....	24
Fig. 14. Deformación de una viga, flexión y corte.....	25
Fig. 15. Nudo Sano en Madera Aserrada.....	26
Fig. 16. Nudo muerto en madera.....	27
Fig. 17. Influencia del Contenido de Humedad en la resistencia.....	28
Fig. 18. Relación momento y rotación.....	31
Fig. 19. Conexión Simple.....	32
Fig. 20. Grafica de momento-rotación.....	32
Fig. 21. Conexión restringida.....	33
Fig. 22. Grafica de momento-rotación.....	33
Fig. 23. Conexión Semi-Rígida (PR).....	34
Fig. 24. Grafica de momento-rotación.....	34
Fig. 25. Junta.....	35
Fig. 26. Ensamble.....	36
Fig. 27. Embarbillado.....	37
Fig. 28. Ensamble de caja y espiga.....	37
Fig. 29. Empalmes.....	38
Fig. 30. Clavos y Tornillos.....	39
Fig. 31. Placas de acero para madera.....	40
Fig. 32. Conectores metálicos mixtos.....	41
Fig. 33. Perno de acero hexagonal.....	41
Fig. 34. Sistema de conexión CTBA-HILTI.....	42
Fig. 35. Sistema Greim.....	43
Fig. 36. Conexión de viga triangular desarrollada con BLUMER SYSTE BINDER.....	43
Fig. 37. Conexión de vigas/pilar.....	44
Fig. 38. Sistema de conexión BERSCHTE (BVD).....	44
Fig. 39. Ubicación de la Vivienda Quinta San José.....	45
Fig. 40. Vivienda Patrimonial Quinta San José.....	46
Fig. 41. Ubicación de vivienda tipo villa.....	47
Fig. 42. Vivienda tipo villa.....	48
Fig. 43. Ubicación de vivienda dúplex en madera.....	49
Fig. 44. Vivienda dúplex en madera.....	50
Fig. 45: Vigas de madera.....	51

Fig. 46. Columnas	51
Fig. 47. Armadura para cubierta en madera.....	52
Fig. 48. Vigas principales y secundarias	52
Fig. 49. Columnas de madera	53
Fig. 50. Armadura de cubierta de madera	53
Fig. 51. Elementos de madera.....	54
Fig. 52. Vigas principales y secundarias	54
Fig. 53. Columna.....	55
Fig. 54. Conexión tipo ensamble.....	55
Fig. 55. Junta a media madera	56
Fig. 56. Daños causados a la madera en la conexión por insectos.....	56
Fig. 57. Junta de empalme de espiga cuadrada.....	57
Fig. 58. Unión tipo ensamble de barbilla.....	58
Fig. 59. Unión de vigas a cimientos	58
Fig. 60. Junta simple de vigas secundarias	59
Fig. 61. Junta simple de viga columna con grietas.	59
Fig. 62. Conector tipo placa de madera en cubierta.....	60
Fig. 63. Grietas causadas por la penetración de los clavos.....	60
Fig. 64. Conexión con clavos.....	61
Fig. 65. Colocación de placas en forma triangular en viga-columna	62
Fig. 66. Conexión con placa de acero y pernos	62
Fig. 67. Conexión con diagonales en marcos de madera.....	63
Fig. 68. Cubierta a dos aguas.....	63
Fig. 69. (a) Sección de viga transversal, (b) distribución de esfuerzos por flexión.	67
Fig. 70. Repartición de esfuerzos cortantes en elementos rectangulares	69
Fig. 71. Longitud efectiva.....	70
Fig. 72. Tornillo y pija.....	76
Fig. 73. Tornillo a cortante	77
Fig. 74. Tornillo a Tensión	77
Fig. 75. Espacios mínimos de tornillos carga paralela	78
Fig. 76. Espaciamientos mínimos de tornillos carga perpendicular.....	78
Fig. 77. Placa de acero sección	79
Fig. 78. Espesor de placa de acero	81
Fig. 79. Ubicación de diseño de conexión 1-A.....	82
Fig. 80. Áreas tributarias	84
Fig. 81. Pórtico frontal de la vivienda	93
Fig. 82. Ubicación y conexión placa de acero nudo 1-A.....	95
Fig. 83. Detalle de conexión placa de acero, tornillos en la unión 1-A.	97
Fig. 84. Conexión con atiesador nudo 1-A.....	101
Fig. 85. Conexión placa de acero del nudo 1-A.....	102

Índice de tablas

TABLA I. Viviendas en madera	14
TABLA II. Esfuerzos Admisibles (Kg/cm ²)	65
TABLA III. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	66
TABLA IV. Deflexiones máximas admisibles	66
TABLA V. Esfuerzo Máximo Admisible en Flexión f_m /kg/cm ²)	67
TABLA VI. Esfuerzo Máximo Admisible para corte paralelo a las fibras, f_v (kg/cm ²)..	68
TABLA VII. Esfuerzo Máxima compresión perpendicular a las fibras f_c (kg/cm ²)	70
TABLA VIII. Esfuerzos máximos admisibles (kg/cm)	72
TABLA IX: Carga viva NEC	83
TABLA X. Carga muerta PAD-REFORT	83
TABLA XI. Resultados de Áreas tributarias	85
TABLA XII. Cargas Distribuidas en Vigas	85
TABLA XIII. Distribución de cargas en las columnas	86
TABLA XIV. Secciones de vigas diseñadas	89
TABLA XV. Secciones de columnas diseñadas	92
TABLA XVI. Sección de vigas	98
TABLA XVII. Sección de vigas	99
TABLA XVIII. Secciones de columnas	100
TABLA XIX. Secciones de columnas	100

GUÍA PARA ANÁLISIS, DISEÑO Y DETALLAMIENTO DE CONEXIONES DE MADERA EN EDIFICACIONES

1. Introducción

El hombre desde la antigüedad ha empleado distintos materiales disponibles en su medio para la fabricación de herramientas y construcción de edificaciones con la finalidad de satisfacer sus necesidades. Uno de los materiales que más uso se ha tenido es la madera. En la antigüedad este material ha sido empleado en los diseños de estructuras en todo el mundo, tanto por su asequibilidad y su cómodo manejo en la fabricación de elementos de diferentes dimensiones, presenta unas excelentes cualidades mecánicas, siempre que se las use adecuadamente y se disponga de un correcto mantenimiento.

La madera se ha constituido como parte fundamental de la cultura e identidad de las civilizaciones. En la cultura ecuatoriana, la madera como uso estructural, comienza antes de la época colonial y durante este tiempo ha formado parte de nuestra identidad cultural. Actualmente, en nuestro país, el uso de la madera sigue vigente no solo para construir nuevas edificaciones, sino para mantener y restaurar bienes inmuebles existentes, estando entre los más importantes los bienes patrimoniales.

El aspecto más relevante del diseño estructural en madera, es su adecuada elección de las diferentes conexiones estructurales, sabiendo que para ello es necesario realizar correctos análisis y dimensionamientos de cada uno de sus componentes.

El trabajo expondrá las principales metodologías para el análisis y diseño de conexiones y se indicará las recomendaciones para presentar el detallamiento gráfico dentro de un plano. Finalmente se presentarán ejemplos de aplicación que guíen al lector hacia una comprensión

eficiente y concreta de los temas tratados, que le permitan emplear dichos conceptos como base para la solución de otros casos particulares relacionados con conexiones en madera.

1.1 Antecedentes

El primer material utilizado por el ser humano para la construcción es madera, posee poca estructura celular, natural y orgánico, durante transcurso de años el ser humano ha fabricado herramientas para supervivencia y elementos estructurales para su hogar. Con el descubrimiento de nuevos materiales, técnicas para la construcción a partir del siglo XIV, como es el hormigón, el cristal, el hierro y otros materiales sustitutos de la madera, se ha visto una gran disminución del uso de la madera, hoy en día este material es utilizado en forma parcial o total en cubiertas y losas de entrepiso ya sea esta por estética o diseño arquitectónico. En los países el nuevo y antiguo continente el uso de este material estructural llega en un 90% de su construcción en viviendas de uno a tres pisos.

En el Ecuador está vigente la NEC 2015, que posee un título enfocado en construcción de madera, también existe el PADT-REFORT, que se desarrolló por la Comunidad Andina, que tiene aportación muy importante sobre conexiones en madera. Por otro lado, países importantes donde existen construcciones de madera como Japón, USA, Canadá, Europa, Chile o Australia poseen diversas normas de cálculo sobre estructuras de madera, conexiones, aplicación y seguridad. El Ecuador por ser un país con mucha capacidad de producir recurso forestal, puede adoptar estas normativas y aplicar usando las 40 especies de madera estructural y así impulsar el uso de este material renovador.

Las uniones en el Ecuador son construidas en sus viviendas patrimoniales con sistema de conexión tipo clavos o diferentes tipos de juntas, empalmes y ensambles, ya que en su época solo se conocían este tipo de fijación, por otro parte en la actualidad con viviendas modernas se aplica

el conector tipo placa de acero con pernos del mismo material o tornillos que permite obtener una mayor resistencia en la estructura.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal

Desarrollar un documento guía de conexiones en madera empleadas a edificaciones, con requerimientos de su proceso de análisis, diseño y su representación gráfica, mediante la revisión del estado del arte mediante libros, artículos científicos, normativas, para presentar información actualizada, plasmada en una guía con la exposición de aplicaciones prácticas a nuestro medio.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir la madera como un material estructural, sus propiedades físicas y mecánicas.
- Identificar los principales tipos de conexiones en madera según su comportamiento estructural.
- Inspeccionar viviendas patrimoniales y contemporáneas para su descripción de sus conexiones.
- Establecer los principales requerimientos normativos que actualmente se exigen para las uniones de madera en edificaciones.
- Desarrollar una guía que presente el análisis, diseño y la representación gráfica de conexiones en madera en edificaciones.
- Realizar ejemplos aplicativos de la guía propuesta.

1.3 Justificación

Las edificaciones diseñadas y construidas en madera alcanzan un esplendor moderno con ingenieros civiles y arquitectos que utilizan este material para la aplicación de técnicas renovadoras

en el ámbito constructivo. En nuestro medio, existen edificaciones construidas en madera, siendo estas antiguas o contemporáneas. Sin embargo, la mayoría de estas construcciones no se basan en un diseño estructural adecuado, lo cual compromete la seguridad de la edificación y sus ocupantes. Es por ello que la presente investigación aportará con información relevante sobre el proceso de análisis, la forma de diseño y como representarla gráficamente las conexiones empleadas en madera.

El principal componente en una edificación de madera son las uniones, que permiten que la estructura transmita sus esfuerzos entre sus elementos, permitiendo que cumpla con su función. Si no se efectúa una correcta unión, las fuerzas transmitidas en las conexiones pueden llevar al colapso de la estructura

1.4 Metodología

Para llevar a cabo el presente trabajo, se iniciará con una investigación sobre el estado del arte, revisando conceptos sobre su análisis, diseño estructural, sus características y usos de la madera en edificaciones, así como de la normativa aplicable. Las principales normas que se revisarán referente a madera son: la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) del año 2015, la American Wood Council (AWC) del año 2018, la Canadian Wood Council (CWC) del año 2018, la Norma Chilena 1198.

Luego se continuará con la recolección de información de tres viviendas, entre estas patrimoniales y contemporáneas que se describirá los tipos de uniones en madera empleadas en nuestro medio, y se las clasificará según su comportamiento estructural.

En base a los procesos antes descritos, se propondrá un proceso organizado, que permitirá obtener una guía actualizada sobre el análisis, diseño y detallamiento de conexiones en madera

para edificaciones, aplicable a nuestro medio. Para el análisis y dimensionamiento se emplearán hojas de cálculo electrónicas, y para presentar los dibujos que contienen el detalle gráfico requerido, se utilizará un software que asistirá dicha tarea, tal como AutoCAD con licencia estudiantil, o alguna alternativa similar de licencia libre.

Como parte integrante de la guía se detallará los modelos a emplear, y las formulaciones necesarias para el análisis y diseño de conexiones; así como también se aportará con los formatos y recomendaciones que permitirán expresar gráficamente los dimensionamientos y detalles de la conexión.

Finalmente, para ejemplificar el uso de la guía propuesta, se aplicará a una tipología de edificación de la ciudad de Azogues que contiene elementos estructurales en madera.

2. La madera como material estructural y sus propiedades

2.1 Definiciones

2.1.1 Madera

Es un elemento natural, originario de un árbol que presenta flexibilidad y resistencia, es un material renovable y sumamente utilizado. (Fig.1)



Fig. 1. Árbol

Fuente: Autor

2.1.2 Madera estructural

Es toda aquella madera cortada naturalmente o procesada, para la implementación de sistemas estructurales de una vivienda, como cerchas, columnas y vigas. La condición más influyente de esta madera es su resistencia, ya que su trabajo es de soportar grandes cargas y esfuerzos producidos en ella.

2.1.3 Estructura

Es la parte resistente de una construcción, formada por elementos entrelazados encargados de transmitir las cargas, esfuerzos y fuerzas exteriores que va a estar sometido. (Fig.2)



Fig. 2. Estructura de una vivienda de madera

Fuente: Autor

2.2 Histórica de la madera en estructura

La madera es el material que está presente en su totalidad o a veces parcialmente en viviendas construidas por el hombre, el periodo mesolítico (6000 a.C), las viviendas han sido empleadas con palos de madera y paja. En el periodo neolítico (8500 a.C), también el material empleado para la fabricación de guaridas con la recolectaron árboles secos, mediante transcurrían los años, los materiales iban evolucionando como las hachas y cuchillos, los cuales permitían realizar cortes más grandes y poder cortar árboles más gruesos para conseguir un material de construcción, propio y fácil de usarlo. [1]

2.2.1 Edad clásica (3.300 a.C. - 476 d.C)

Es una de las evoluciones de material más grande, la piedra sobresale entre las más utilizadas, con la presencia de grandes templos romanos y griegos, por otro lado, los primeros indicios de viviendas en presentar son construidos en madera, esto se verifica en los elementos construidos como la columna y viga. [2]

En esta época siempre fue predominante la piedra, pero con ello la madera estuvo presente siempre, siendo utilizada como cubiertas en los edificios y viviendas, el ejemplo más representativo para la época es los templos de Grecia que tienen tipologías de madera en la cubierta (fig.3). [2]



Fig. 3. Cubierta de los templos de Grecia en madera.

Fuente: [3]

2.2.2 Edad media (476 - 1492)

Donde el uso de la madera se incrementó tanto en herramientas y material estructural, en esta edad se incrementó las viviendas en madera, la piedra ya no se utilizó mucho más que solo edificios monumentales y viviendas de personas adineradas, un claro ejemplo son los santuarios Horyu-ji localizado en Japón en la ciudad de Ikaruga, Nara, su primer templo construido fue el año 607, son los templos más antiguos del mundo hechos en madera. (fig.4) [2]



Fig. 4. Templos japoneses de Horyu-ji

Fuente: [4]

2.2.3 Edad moderna (1492 - 1789)

La construcción no ha variado mucho en las dos edades mencionadas, en viviendas grandes el uso de piedra fue predilecto, también permitió servir de muros para las cubiertas en madera, por otro lado, en esta época la madera sirvió mucho para cubrir grandes luces, aparte de construcciones de viviendas se emplearon los primeros puentes en madera. [2]

En la época unos arquitectos dieron un cambio para el uso de las maderas, Giorgio Vasari y Andrea Palladio emplearon la colocación de soportes de esfuerzos de tensión y tracción. Vasari en una estructura propuso elaborar la cubierta con una armadura tipo cercha (fig.5), esto sería uno de los ejemplos mejores empleados para reforzar una estructura en la época, porque con ello logro cubrir grandes luces.

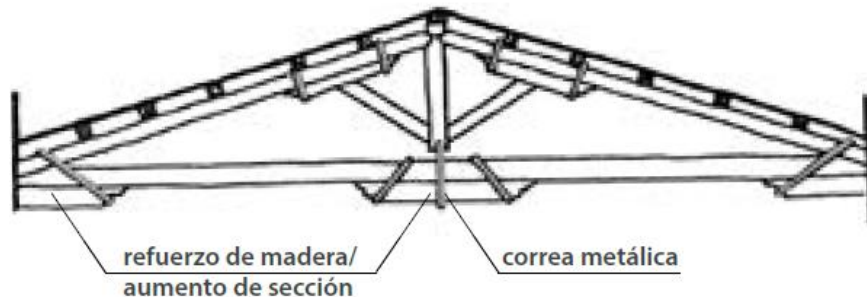


Fig. 5. Armadura de madera por Vasari para la cubierta de la galería Uffizi.

Fuente: [2]

Por otra parte, Andrea Palladio desarrollo ejemplos de diferentes armaduras, que permitieron ser empleadas en puentes y cubiertas. La obra relevante el puente Alpinistas, fue construido en Italia, en la ciudad de Vicenza. (fig.6)



Fig. 6. Puente degli Alpini en Bassano del Grappa

Fuente: [5]

2.2.4 Edad contemporánea (1789 - Actualidad)

El surgimiento de la industrialización, donde la madera se actualizó con diseños de estética y funcionalidad, con la producción de clavos para las conexiones, el reemplazo de herramientas antiguas, con modernas y más eficaces, ayudaron a crear piezas estructurales en madera gracias a esto se construyeron muchas viviendas en madera, como ejemplo se tiene la vivienda en madera más antigua de Europa construida en el año 1287, con más de 730 años aún sigue en pie. (Fig.7) [2]



Fig. 7. La Casa Bethlehem

Fuente: [6]

Con el transcurso de los años, la tecnología y la producción de elementos ha tenido un papel importante en la construcción de madera y también una disminución por el descubrimiento y surgimiento de materiales como el hormigón, acero y también materiales de mampostería como

el bloque y ladrillo. Por otra parte, el impulso de la industrialización maderera es reconocido a Bernanrd Forest un ingeniero estructural que emplea nuevo reglamento y criterios de dimensionamiento para elementos en madera, estos nuevos requisitos para la madera se han empleado en casi todo el mundo con el 90% de la construcción en países desarrollados.

En la actualidad se emplea la madera laminada o prefabricada que se obtienen fibras de madera, estas pasan por un proceso llegando a ser una ventaja en la construcción de viviendas en madera, ver (Fig.8)



Fig. 8. Vivienda con madera prefabricada o laminada

Fuente: [7]

2.3 Madera para la construcción

La madera es un elemento constructivo muy amplio y versátil, pues a diferencias de otros materiales esta se puede construir íntegramente. Al ser un material con diferentes resistencias de diferentes especies de árboles, presenta fibras ortotrópico que se encuentran paralelamente o perpendicularmente a la estructura.

La construcción de cualquier vivienda en madera se caracteriza en dos grupos, el primero destinadas a funciones de resistencia las que se encuentran, columnas, vigas, entramados, ver (Fig. 9), en el segundo destinada en los acabados arquitectónicos. [1]

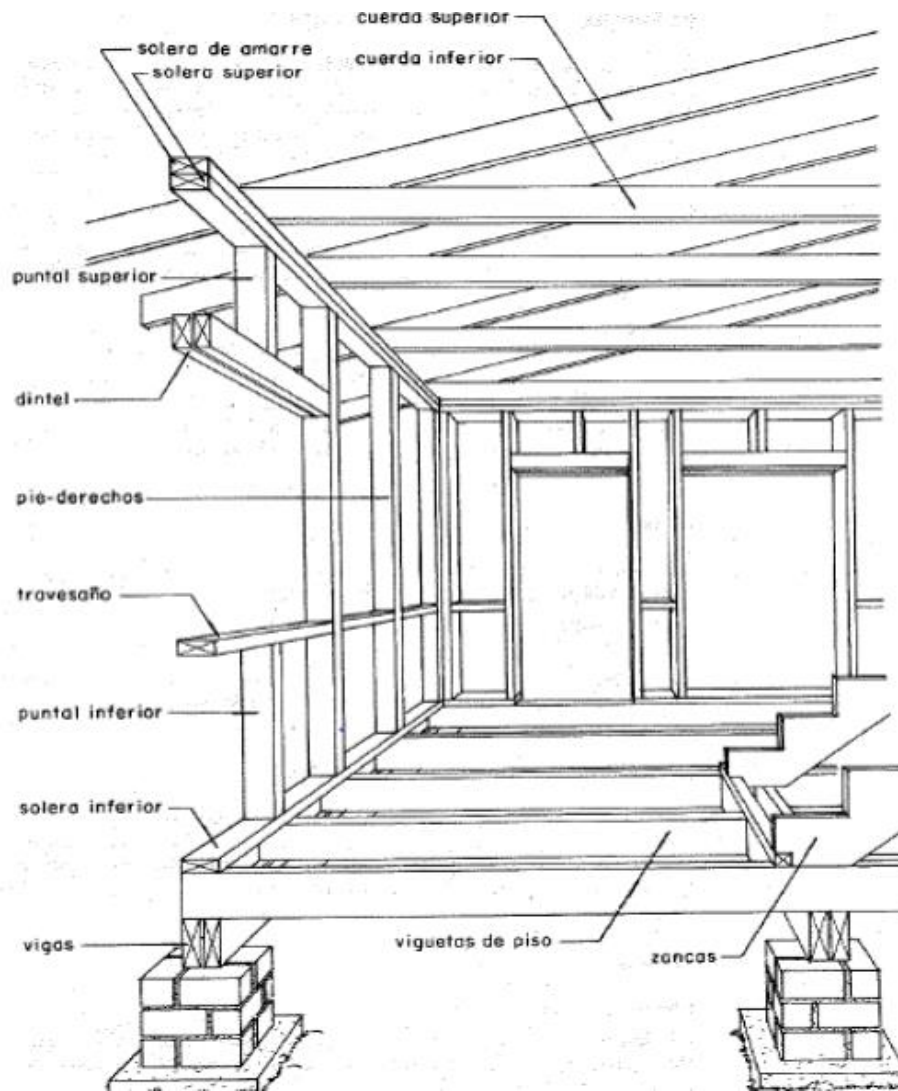


Fig. 9. Madera de construcción estructural

Fuente: [8]

2.3.1 Recuso forestal del Ecuador

Un grupo realizó un proyecto llamado Desarrollo Tecnológico de recursos forestales (PADT-REFORT), conformados por Venezuela, Bolivia, Ecuador, Colombia y Perú. El proyecto consiste en desarrollar un estudio de maderas que sirvan para el análisis y diseño de viviendas, que presenten técnicas y normativa de uso del material para la construcción, con estudios y ensayos realizados en laboratorios sofisticados del país chileno y peruano. [1]

El Ecuador en la actualidad consume 5 millones de metros cúbicos al año de madera en bruto para utilización de herramientas, mobiliario urbano y construcción de viviendas. El abastecimiento posee un setenta por ciento con unos 3.5 millones de m³ de bosques nativos y los restantes treinta por ciento de bosques renovables. El uso de la madera en construcción proviene de bosques nativos manejando sustentablemente en 20 a 25m³/ha, pero de preferencia la madera de plantaciones forestales, cuyos volúmenes como mínimo son 250m³/ha. [9]

2.3.2 Especies de madera

En el Ecuador existe diferentes especies de árboles, con características y resistencias diferentes. Según la normativa NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción del año 2015), y otras fuentes, la madera se divide según sus cualidades físicas en dos grupos. El número que se encuentra acompañado en la nomenclatura C y D es su característica de resistencia:

Maderas duras o frondosas: Son maderas resistentes, su nomenclatura es dada por su grupo Deciduos frondosas, su número varía según la características y resistencia en cual se clasifica, se dividen en:

- D₃₀,
- D₃₅,
- D₄₀,
- D₅₀,
- D₆₀,
- D₇₀.

Maderas blandas o coníferas: Son maderas de baja resistencia, su nomenclatura es dada por su grupo Coniferous Coníferas, su número varía según la características y resistencia en cual se clasifica, se dividen en:



- C₁₄,
- C₁₆,
- C₁₈,
- C₂₀,
- C₂₂,
- C₂₄,

- C₂₇,
- C₃₅,
- C₄₅,
- C₃₀,
- C₄₀,
- C₅₀.

En el Ecuador existen 40 tipos de maderas estructurales, algunas son nativas del país, otras especies son traídas del exterior, como es desde Australia el Eucalipto y desde California el Pino, estas dos especies han sido las más sembradas abundantemente en la sierra sur ecuatoriana y la que se ha empleado con frecuencia en construcciones de viviendas, en el **ANEXO 1, TABLA I** se presenta los tipos de madera tomados del libro Catalogo de madera estructural del ECUADOR.

Por otro lado, se realizó una encuesta a viviendas construidas en madera en la ciudad de Azogues para obtener información acerca del tipo de madera están realizadas y obtener un conocimiento de cuál es la más utilizada para dichos trabajos, entre esta información obtenida se observa en la **TABLA I** que cinco viviendas en la ciudad fueron construidas Eucalipto y 5 viviendas de Pino.

TABLA I. Viviendas en madera

Tipo de vivienda	Tipo de madera	Ilustración de la vivienda
Vivienda Patrimonial de 3 plantas.	Eucalipto	
Vivienda Patrimonial de 2 plantas.	Eucalipto	

Vivienda Patrimonial de 2 plantas Quinta San José.

Eucalipto



Vivienda patrimonial de 3 plantas.

Eucalipto



Vivienda patrimonial de 2 plantas.

Eucalipto



Vivienda patrimonial de 2 plantas

Pino



Vivienda tipo villa

Pino



Vivienda tipo villa

Pino



Vivienda tipo villa

Pino



Vivienda tipo villa

Pino



Fuente: Autor

Se muestra en el **ANEXO 2** información obtenido del libro de Catálogo de Madera Estructural del Ecuador, donde se observan sus características, propiedades arquitectónicas y físicas de las dos especies más utilizadas en la ciudad de Azogues como es la madera de Eucalipto y Pino.

2.4 Madera estructural

Es toda aquella madera capaz de resistir grandes cargas, esfuerzos y su propio peso. Este material es capaz de emplearse en una vivienda en su totalidad, en la elaboración de una casa se deben distinguir dos tipos de uso material, el primero con fines resistentes y el segundo con elementos para revestimientos. [8]

2.4.1 Requisitos generales

Los fundamentos que se deben considerar para que una madera sea para uso estructural se describe a continuación:

1. Un material de calidad y clasificado como estructural, por otro lado, que no posea defectos o imperfección y que tenga elementos con características garantizadas.

2. Una madera proveniente de los bosques nativos consideradas para construir viviendas.
3. Elementos de madera dimensionadas de acuerdo a la normativa vigente que obtenga secciones preferenciales y el material sea homogéneo.

2.4.2 Características

La madera estructural posee grandes propiedades, características y una de ellas que más sobresale es la capacidad portante, que se relaciona a su resistencia y funcionalidad, para comprender de mejor manera es necesario observar un árbol, la cual permite ver como el tronco y las ramas que sobresalen son capaces de resistir su peso propio y el viento. Es por ello que se comprende que ha servido como un elemento que soportar esfuerzos, flexión y compresión. [8]

Este tipo de madera posee la ventaja de que es ligera y la capacidad de tensión, flexión y compresión por unidad de peso, posee absorción de energía y la de resistir impactos, además de ser un material biodegradable no es contaminante como el acero y hormigón.

2.4.3 Clasificación

Su comportamiento estructural depende de sus características al ser aplicado en diferentes reacciones a esfuerzos admisibles, la madera posee dos fases que son de plasticidad y elasticidad. Dentro de esto hablamos de elasticidad al material que está sometido a un esfuerzo y produce una curvatura, al retirar el esfuerzo aplicado en el material, este regresa a su forma original. Asimismo, la fase de plasticidad es donde se ejerce un esfuerzo en el material, pero al retirar el esfuerzo este no tiende a ponerse en su forma original quedando deformado permanentemente. [8]

La Junta de Cartagena ha desarrollado numerosas investigaciones y estudios para establecer la relación de la densidad básica y sus resistencias a los esfuerzos, donde estos se encuentran fuertemente ligados, se ha considerado agrupar en tres grandes grupos a la madera

estructural según su densidad A, B y C, que llevan el nombre de alta, media y baja densidad donde:
[8]

A. Su Densidad comprendida en los valores de 0.71 a 0.90 g/cm³

B. Su Densidad comprendida en los valores de 0.56 a 0.70 g/cm³

C. Su Densidad comprendida en los valores de 0.40 a 0.55 g/cm³

2.5 Estructura de la madera

2.5.1 El tronco

Es una sección circular del árbol donde transcurre el agua hacia las ramas y hojas, presenta diferentes partes como (Fig.10):

- Corteza exterior, es la capa que protege de los agentes bióticos. [8]
- Corteza interior, es la parte que conduce el alimento y los minerales, está constituido por el tejido flemático. [8]
- Cambium, son células que permiten conservar el material, se encuentran en el interior de la corteza. [8]
- Albura, conduce los minerales absorbidos desde la raíz, a todo el árbol. [8]
- Duramen, posee la función de resistencia del árbol. [8]
- Médula, Es la columna vertebral del tronco con tejido parenquimático. [8]

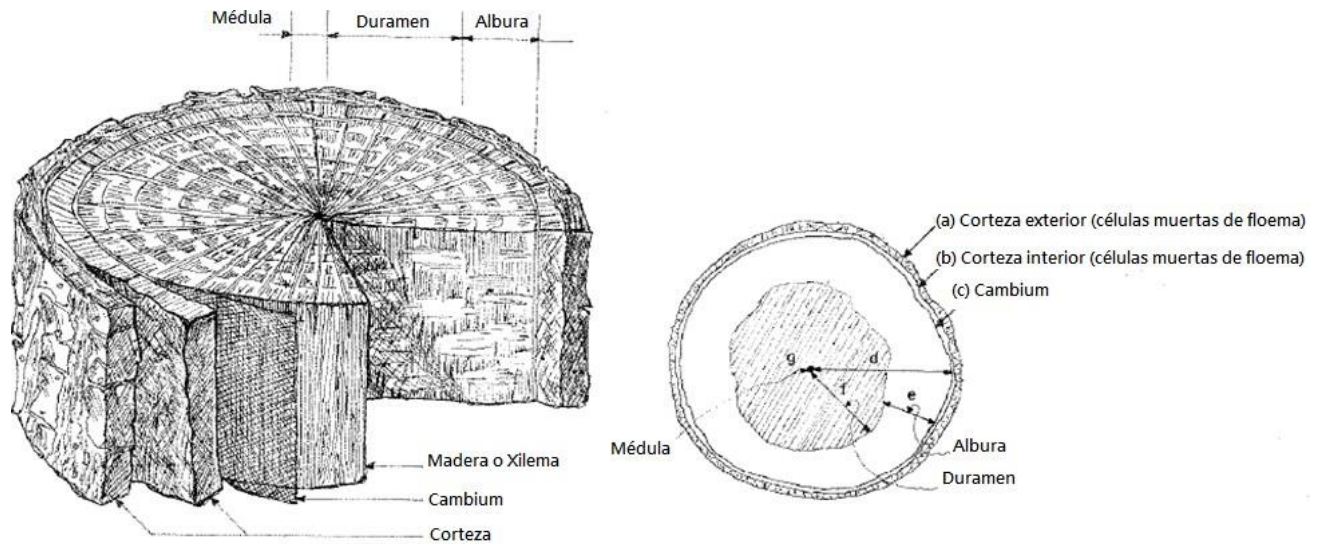


Fig. 10. Partes del tronco

Fuente: [8]

2.5.2 Estructura anatómica

La madera posee una estructura de organismos vivos, es orgánico, tiene propiedades y cualidades que otros materiales estructurales, la resistencia de los árboles depende de las condiciones en donde estos se encuentren como clima y suelo. Su comportamiento se basa en el tipo de estructura y su reacción frente a las distintas fuerzas que será sometido como material estructural, la composición y estructura están unificadas al desarrollo del proceso metabólico de los árboles que dependerá de la configuración celular que se encuentra constituida por cientos de microscópicas células cementadas entre sí, estas varían en forma y tamaño de cada especie de árbol. Las células son de formas rectangular y su tamaño depende su la madera es tardía o temprana. [8]

2.5.3 Contenido de Humedad

Es un material que posee agua, dentro de esto presenta agua libre que está en los huecos celulares del tronco, posee agua higroscópica de paredes celulares y por último el agua constitución

formado por la estructura molecular. Para la pérdida de agua de la madera en el medio ambiente inicia con la pérdida de agua libre e higroscópica, su nomenclatura es CH, se mide en porcentaje de agua libre más el agua higroscópica, para la obtención de contenido de humedad se representa con la siguiente ecuación (1). [8]

2.5.4 Peso específico y densidad

Se le llama densidad su relación entre su masa y volumen de un elemento. Existen cuatro densidades presentes dependiendo el contenido de humedad y saturación de las fibras donde: [8]

$$CH\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidrico}} \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

- **La densidad en estado verde**, relación ente el peso y volumen en estado verde.
- **La densidad en estado seco del aire**, relación del peso y el volumen en estado seco al aire.
- **La densidad en estado anhidrido**, relación del peso y el volumen en secado del horno.
- **La densidad en estado básico**, relación del peso en estado seco al horno y el volumen en estado verde.

El peso específico (Pe), su relación basa en el peso que produce la madera, para el contenido de humedad a un volumen desplazado de agua por el volumen sumergido de la madera en agua. [8]

2.5.5 Conductividad térmica

Es el calor que fluye por la madera sometida a temperatura, el valor es en Kcal/hora-m-°C. El libro PADT-REFORT [8], expone la tabla de la conductividad termina de la madera y otros materiales la cual se puede apreciar en el **ANEXO 1, TABLA II** se observa valores de algunos

materiales y se puede visualizar que la madera tiene una conductividad térmica de 0.03 a 0.12 Kcal/hora-m-°C, es un material aislante debido a su naturaleza porosa.

2.5.6 Absorción de sonido y Transmisión

Una de las ventajas que posee el material de madera es poder absorber las vibraciones causados por el sonido, en el **ANEXO I, TABLA III** expuesta en el libro PADT-REFORT [8], se puede observar la velocidad de propagación de ondas según el tipo de material y su densidad.

2.5.7 Conductividad eléctrica

La electricidad que transmite en las maderas es muy sensible, la conductividad varía según las tres dimensiones anatómicas, ya que estas modifican según su humedad, la resistencia más alta es 10,000 Megaohms por un contenido de humedad al 5%, mientras que la madera en estado seco al aire es un aislante eléctrico de 500 Megaohms. [8]

2.6 Propiedades resistentes en madera

Es un material que posee tres direcciones, tangencial, la radial y la longitud. La longitud tangencial y radial, como se ve en la (fig.11) es perpendicular al grano y a la longitud. El material es resistente a tracción, resistente a flexión, resistente a compresión y corte paralelo ver (Fig. I), **ANEXO 5** dirección de acuerdo a las fibras. [8]

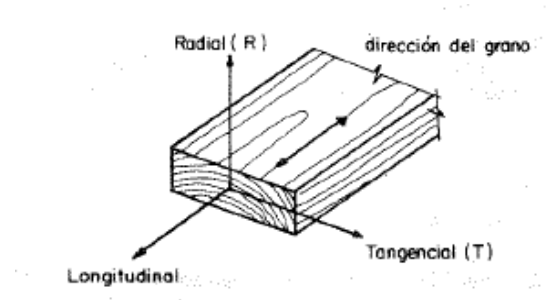


Fig. 11. Direcciones ortogonales de la madera

Fuente: [8]

2.6.1 Resistente a la compresión

La resistencia que presenta la madera a compresión va estar paralela a la dirección de su fibra, el ejemplo representativo en una columna en madera. (fig.12a). La resistencia que posee es en dirección de su fibra con respecto al eje longitudinal, la gran mayoría llega a coincidir las microfibras. Existe otro tipo de compresión y es perpendicular a su eje longitudinal, donde comprime más sus cavidades entra unas y otras. Esta ventaja existe al incrementar la carga sin que ocurra ningún fallo, porque al aumentar el elemento se comprime cada vez más, teniendo la capacidad para resistir mayor carga, ver (Fig.12b). [8]

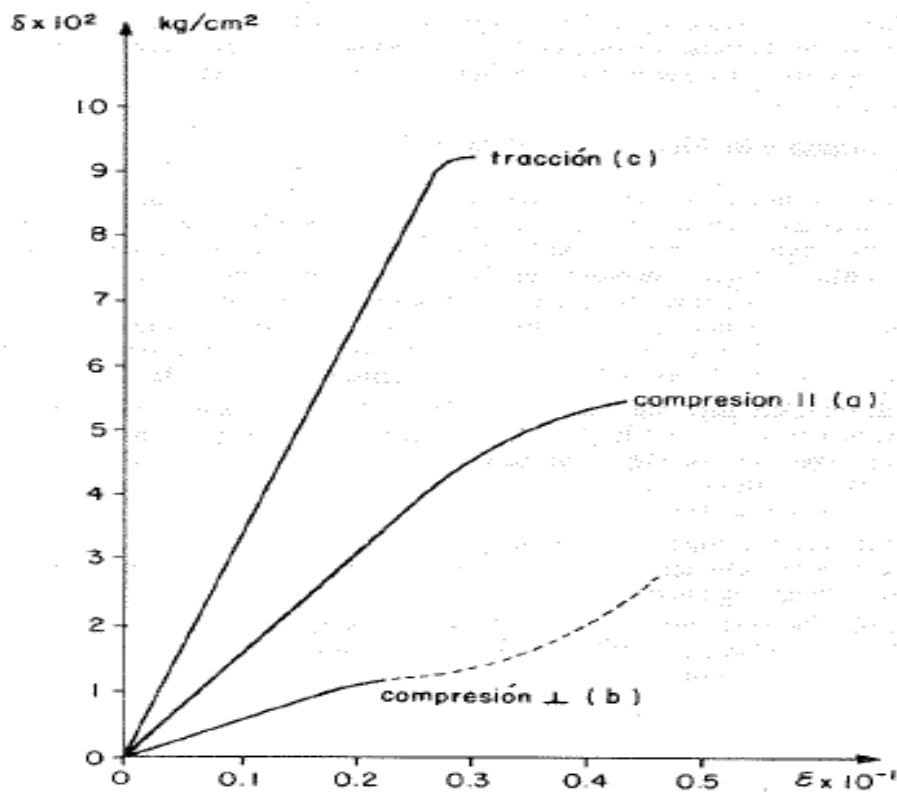


Fig. 12. Curvas esfuerzo-deformación de la madera con dirección a las fibras

Fuente: [8]

2.6.2 Resistente a la tracción

Su resistencia se basa en dirección paralela a la fibra. La (Fig.12c), se observa su conducta elástica, lineal de la curva de esfuerzo deformación, donde se visualiza lo rápido que falla un elemento en estos esfuerzos. La resistencia de tracción paralela en la madera es afectada por la inclinación en grados al grano, los defectos que resiste a tracción llegan a un quince por ciento de resistencia a rotura. [8]

2.6.3 Resistente al cortante

Los elementos constructivos por corte se presentan cuando los elementos están sometidos a flexión (corte por flexión), para la obtención es complicada por la presencia de la fuerza a tracción perpendicular a su dirección de la fibra. Estima su resistencia a cortante con un diez por ciento a quince por ciento del esfuerzo a tracción paralela a su fibra, mientras el esfuerzo al corte perpendicular a su fibra llega de tres a cuatro veces mayor en la dirección paralela. [8]

2.6.4 Resistente a la flexión

Presentes en vigas de madera, su flexión es perpendicular a la fibra, en la Fig.13 de Carga-Deformación, se observa los diferentes estados que tiene que soportar hasta su fracaso. Como primer indicio el rango elástico, se define por la recta que inicia en la gráfica, seguido por límite, el cual presenta un mayor esfuerzo admisible, la línea realiza un cambio de pendiente y su curva se deforma llegando al primer punto de inflexión. Cuando sobrepasa el límite proporcional, la madera llega a un estado flexible, cada alteración que se va produciendo se va deformando permanentemente, por último, su comportamiento a la flexión el material se encuentra en su punto máximo de rotura donde se observa la capacidad máxima de carga del elemento de madera. [8]

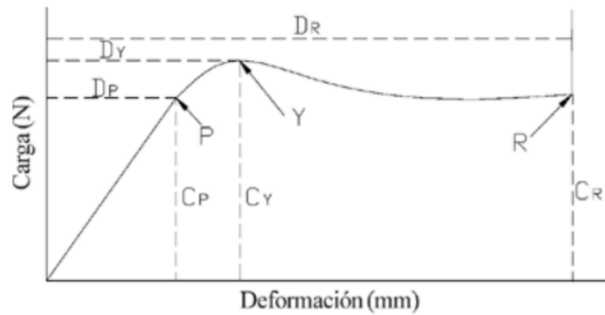


Fig. 13. Curva típica Carga-Deformación

Fuente: [8]

La falla a flexión comienza con aplastamiento a las fibras extremas sometidas a compresión y donde deriva al fracaso de las fibras a tensión. [1]

2.6.5 Elasticidad y Deformidad

Existen diferentes tipos de módulos que son de elasticidad, corte y Poisson poseen peculiaridades elásticas para un material. La madera como un elemento para estructuras tiene la característica ortotrópicas, posee 3 ejes ortogonales, principales y 3 módulos de elasticidad, cortes y 6 módulos de Poisson. La ingeniería se supone que su material sea homogéneo, considerar tres módulos. [8]

- Módulo a Elasticidad (MOE)

La elasticidad de la madera se obtiene del esfuerzo-deformación de un ensayo realizado a compresión paralela en dirección a su fibra, este es uno de los parámetros que tiene la madera para resistir deformaciones, por otro lado, para encontrar de manera indirecta la curva son en ensayos a flexión. La deflexión que presenta la viga en la (Fig.14) suma sus deflexiones que son la flexión y corte. [8]

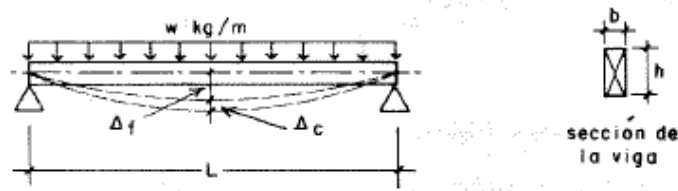


Fig. 14. Deformación de una viga, flexión y corte.

Fuente: [8]

- Módulo a Corte

Los esfuerzos de corte relacionan a las deformaciones o distorsiones, un cuerpo elástico posee una constante elástica al aplicar fuerzas cortantes, existe valores para cada una de las direcciones a la fibra, los datos obtenidos van desde 1/16 y 1/25 de elasticidad lineal. [8]

- Módulo de Poisson

Manifiesta una relación de alteración lateral y una alteración longitudinal del material, existen seis tipos de módulos de poisson con alteraciones en dirección, radial, tangencial y longitudinal. En caso de existir tracción longitudinal de fibras, esta produce un sentido transversal a su contracción, la madera posee valores desemejantes según la dirección a considerar, las maderas coníferas tienen valores de 0.33 a 0.4 en densidad a 0.50 gr/cm^3 . [8]

2.7 Factores que alteran el comportamiento de la madera

Existen alteraciones que afecta al material que es la madera, puesto que está en la intemperie y más propenso a recibir muchos factores, donde está sometido a los eventos climáticos según la región y a insectos propios de madera, que ayudan a debilitar al material. [8]

2.7.1 Defecto crecimiento

Son defectos que posee la madera cuando un árbol va desarrollándose con el tiempo, modificando su comportamiento estructural y el material, los defectos de crecimiento son:

2.7.2 Nudos en los troncos

Nacen de la parte del tronco del árbol, donde nacen vástagos, es su alteración más frecuente e irrevocable en madera, provocando homogeneidad de su estructura. La presencia de estos nudos altera el comportamiento estructural, dependiendo de la ubicación con respecto a la distribución de efectos. [8].(Fig.15)



Fig. 15. Nudo Sano en Madera Aserrada

Fuente: Autor

2.7.3 Inclinaciones del grano

Representa una alteración en los comportamientos estructurales con respecto a la orientación longitudinal que tiene el tronco donde muestra dos causas, una de ellas es la inclinación de la forma de la espiral, con dirección a las fibras y la otra por troncos aserrados en los extremos mal aplicadas. [8]

En el libro PADT-REFORT [8], menciona que la resistencia en madera estructural es perjudicada por la inclinación del grano, se recomienda una estimación de la resistencia que se

calcula por Hankinson, donde la función de la resistencia perpendicular, resistencia paralela y ángulo de inclinación del grano.

$$N = \frac{PQ}{P \operatorname{sen}^n \theta + Q \operatorname{cos}^n \theta} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

P= Carga Axial horizontal

Q= Carga vertical

θ = Ángulo que forma el elemento que es la inclinación al grano

n= Valores de tensión, compresión, flexión y módulo de elasticidad.

Según Junta del Acuerdo de Cartagena [8], expone valores de n y Q/P, se puede observar en el **ANEXO I, TABLA V**.

2.7.4 Las perforaciones

Las perforaciones en el tronco del árbol se basan atreves de nudos muertos que generan discontinuidad, en el material suele desprenderse por este tipo de deformación. Según PADT-REFORT para diámetros admisibles y para uso estructural, se recomienda una limpieza del orificio y se procede a sellar con masilla plástica para madera que evita la contaminación de agentes externos. [8]. (Fig.16)



Fig. 16. Nudo muerto en madera.

Fuente: Autor

2.7.5 Médula central

El corazón del árbol se tiende a desplazar por consecuencia de vientos fuertes, si el árbol se encuentra en pendientes, este defecto provoca que el árbol cree anillos más gruesos en un lado y el otro lado más delgado, produciendo graves tensiones internas al rato del secado. [8]

2.7.6 Contenido de humedad

Es un factor predominante en el material ya que está sometido en todo ámbito exterior e interior de una vivienda y esto varía de especie que sea elaborado una vivienda. La (Fig. 17), se observa la curva de resistencia con respecto al porcentaje de humedad, se evidencia que mientras más humedad posee la madera esta va reduciendo su resistencia. [8]

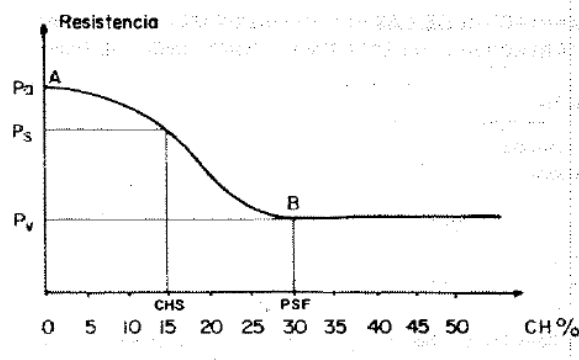


Fig. 17. Influencia del Contenido de Humedad en la resistencia

Fuente: [8]

Donde:

P_d = Dato en porcentaje de CH

P_s = Dato en porcentaje de CHs

P_v = Dato de madera en estado verde

CH = valor en porcentaje húmedo

CHs = valor en porcentaje (seco)

PSF = intersección saturada a su fibra

Es necesario detallar que la madera en estado verde posee un porcentaje de humedad que bordea el 30%, y la madera seca al aire libre está en el 12%. Entonces con este indicio, se puede decir que el contenido de humedad tiene influencia sobre la durabilidad de la madera, puesto que ambas están directamente ligadas, por eso el material puede llegar a tener un alto nivel de resistencia bajo condiciones buenas sin presencia de humedad, pero sufre un acelerado deterioro en condiciones adversas. En general, la mala respuesta de la madera está relacionada con el aumento del grado de humedad. La resistencia de la madera frente a la humedad depende del tipo de especie, o simplemente de la tala directa del tronco. [1]

2.7.7 Densidad

Se expresa con la relación de masa y volumen, como el material es poroso se debe considerar como volumen de espacio vacíos. La densidad cuenta la cantidad de madera sólida que tiene, donde influirá su resistencia mecánica, en cuando la madera en la ignición mientras más densidad posea la cantidad de combustión es menor y lenta, pero eso varía de acuerdo a la especie. Además, la densidad en la madera sirve para estimar la cantidad de material leñoso. [8]

2.7.8 Temperatura

Es un factor que más altera a la estructura de madera, ya que este factor reduce las propiedades mecánicas, los efectos producidos en altas temperaturas en tiempo prolongado serán inmediatos y producirá cambios irreversibles. Dicho proceso de combustión dependerá de cuán rápido o lento se produzca la ignición, ya que, si es rápido, los desprendimientos de gases son mayores a la formación de carbón que presenta, por lo contrario, si la combustión es lenta la formación de carbón incrementa más que la expulsión de gases. Para que la madera comience a quemar necesita una temperatura de 400°C, por lo tanto, la madera reúne características de aislamiento de temperatura lo cual es una ventaja en caso de incendio, la capa que presenta carbón,

posee un aislante con seis veces más que la propia madera, aunque en la parte interior de un elemento se conserve frío y con sus propiedades mecánicas y físicas sin alterarse. [8]

2.7.9 Duración de carga

La carga presentada dentro de una viga de madera en un tiempo no se prolongará, se tiende a deformar elásticamente y regresará a su forma normal, pero si dicha carga aún sigue ejerciendo va a tender a deformarse en el material este hecho es conocido como flujo plástico. En maderas duras estructurales el aumento alcanza de dos a cuatro veces su deformación y su firmeza cuando la carga efectuada es constante y está a un sesenta por ciento a cargas de corta duración. [8]

2.7.10 Degeneración

Siendo material tanto orgánico y natural que posee lignina y células al estar sometida a temperaturas, oxígeno y humedad, esta presenta deterioro. Cuando un árbol muere comienza su degradación y para que esto se lleve a cabo los agentes patógenos son los encargados de su destrucción. Los elementos estructurales, al no ser identificados a tiempo estos agentes, se comen las células que tienen llegando afectar el material y disminuyendo su resistencia estructural. [8]

2.7.11 Ataques de insectos

Los insectos son los agentes más destructores de la madera ya que ellos pueden atacar a la madera antes de su servicio y después como son los escarabajos, las hormigas carpinteras. [8]

2.7.12 Ataques químicos

Los ataques químicos en la madera pueden favorecerla como también no, puesto que algunos a la madera le hinchan perdiendo propiedades en ella, llegando a destruirlas y otros no alteran permitiendo ayudar con el cuidado de la misma favoreciendo contra de insectos, fuego y humedad. [8]

3. Uniones y conexiones de madera

3.1 Conexiones de madera

Dentro de un diseño estructural es primordial la unión de elementos de madera, ya que constituyen la resistencia de la misma y por eso es necesario saber sus limitaciones y alcances. Al diseñar una estructura en madera, los elementos constituyentes pueden ser fijadas de algunas maneras, el método que se emplee de conexión responderá a situaciones adversas y presentara sistemas económicos o muy altos precios.

Por otro lado, en las uniones pueden darse limitaciones con las características anisotrópicas del material. Por lo tanto, las juntas entre elementos de madera deberán ser en su gran mayoría, articuladas o semirrígida porque es muy dificultoso obtener una unión perfectamente rígida.

3.2 Tipologías de Conexión

El código AISC-360 [10], clasifica las conexiones dependiendo de su relación momento-rotación ver la Fig.(18), presentando una tabla de clasificación de conexiones en el **ANEXO 1**, **TABLA VI**.

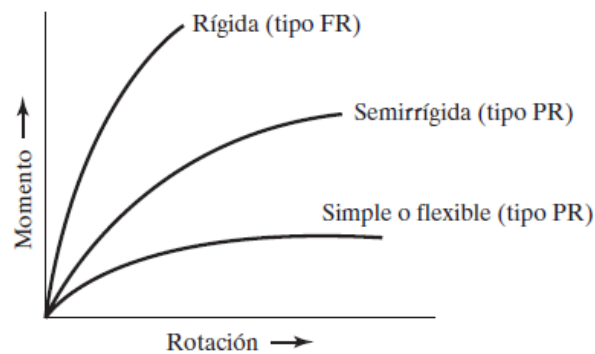


Fig. 18. Relación momento y rotación

Fuente: [12]

3.2.1 Conexión Simple

Su diseño es articulado y permite diseñarlas para reacciones a corte o que indiquen lo opuesto en sus hojas de cálculo, con uniones de vigas flexibles pueden adaptar rotación en sus extremos, la viga diseñada es simplemente apoyadas o no restringidas, ver la Fig.19.



Fig. 19. Conexión Simple

Fuente: [12]

Por otro lado, las conexiones simples tienen poca restricción en su rotación, como se observa en la (Fig. 20) conexión A, su magnitud es despreciada y su unión es completamente flexible.

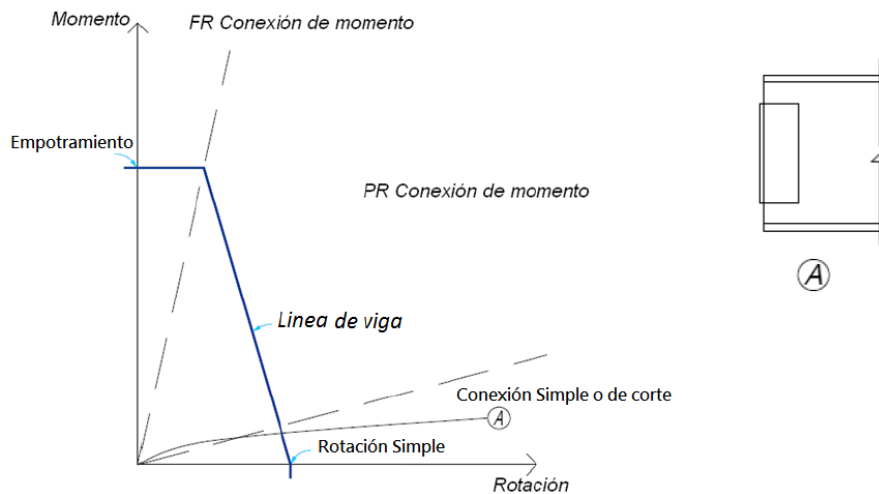


Fig. 20. Grafica de momento-rotación

Fuente: [13]

3.2.2 Conexión Rígida (FR)

Es una conexión de momentos que restringe en sus extremos empotrados, estas son diseñadas en combinación de momentos de fuerza y corte incluidos por la presencia de rigidez en sus conexiones, como se ve en la (Fig.21).



Fig. 21. Conexión restringida

Fuente: [13]

Mientras que las conexiones rígidas que presentan en su totalidad, ocasionalmente tienen cero de rotación entre sus segmentos, su flexión es simplemente incierta, su unión se diseñada para evitar rotación relativa. Se observa en la (Fig. 22) conexiones A, B y C.

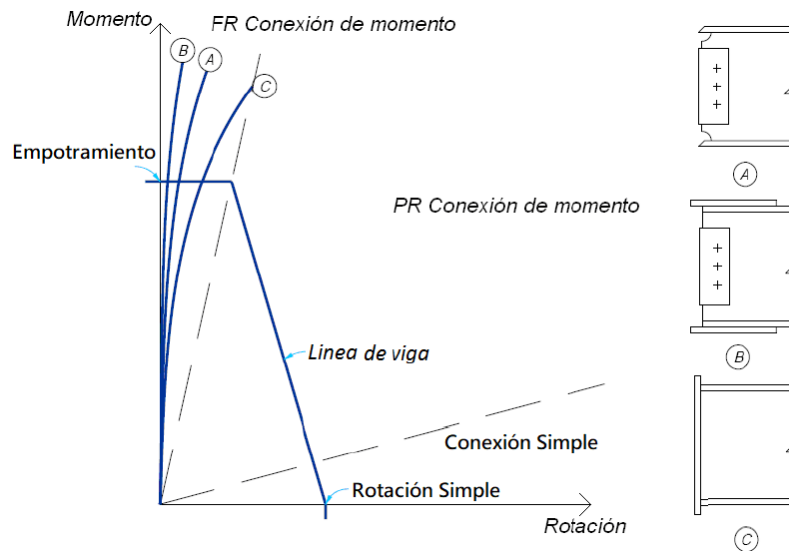


Fig. 22. Grafica de momento-rotación

Fuente: [13]

3.2.3 Conexión Semi-Rígida (PR)

Estas conexiones tienen ángulo entre la flexión de unión y momento de rigidez FR. El momento de unión PR son permitidas en conexiones capacitadas de efectuar un pequeño porcentaje de empotramiento, ver (Fig. 23)

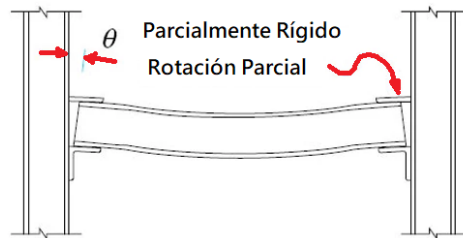


Fig. 23. Conexión Semi-Rígida (PR)

Fuente: [13]

Para la línea A y B del punto que unen la gráfica momento-rotación en su línea de viga precisa el momento y esfuerzo en la viga solicitada un enlace PR logre ser bosquejada, ver (Fig.24).

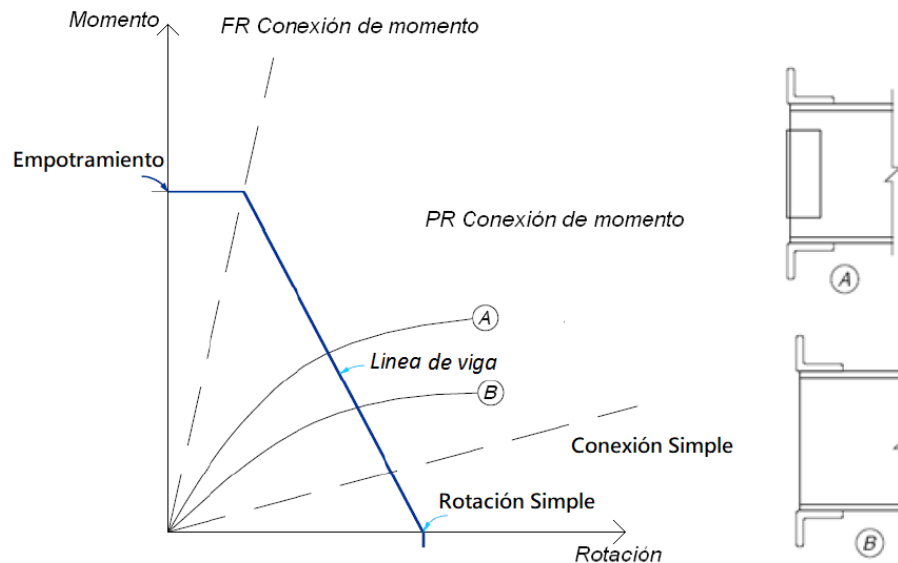


Fig. 24. Gráfica de momento-rotación

Fuente: [13]

3.3 Uniones tradicionales

Su procedencia es de maestros ancestrales y empíricos, su tipo de unión se realiza por carpinteros o maestros especializados en el ámbito maderero. Actualmente su uso no es frecuente, ya que existen otros métodos. Las uniones tradicionales responden a una conexión articulada, ya que permite una buena respuesta de cambios de dimensiones de la madera, a continuación, se distinguen los siguientes tipos:

3.3.1 Juntas a media madera

Son también conocidas como acoplamientos, es la unión de dos o más elementos estructurales, para realizarlo se necesita ampliar la madera para obtener secciones a una pieza única. El acoplamiento se utilizan distintos accesorios como piezas cepilladas, pega o cola, tornillos, conectores metálicos y se debe considerar el tipo de especie, ya que logrará variar su junta por la acción del material ver (Fig.25).

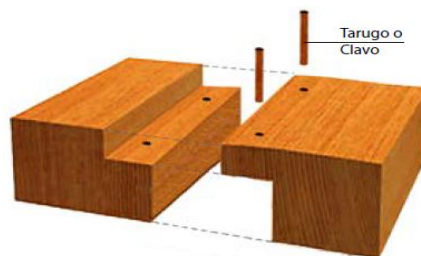


Fig. 25. Junta

Fuente: [1]

3.3.2 Ensamblés

Permite formar conjuntos estructurales, donde su función complementaria es de aguantar cargas empleadas en su estructura, conseguir el cambio de dirección entre dichos elementos. Los más utilizados:

3.3.2.1 *Ensamble a media madera*

Posee una versatilidad y simpleza en su forma, que permite efectuar un corte en ambos elementos a unir, se realiza hasta el centro de la madera, donde estas puedan quedar acopladas, estas se pueden visualizar en viviendas antiguas en la unión viga-solera ver (Fig.26). Este tipo ensamble puede ser acompañado por conectores metálicos y pernos que ayudan a obtener una mejor resistencia en el nudo. [14]

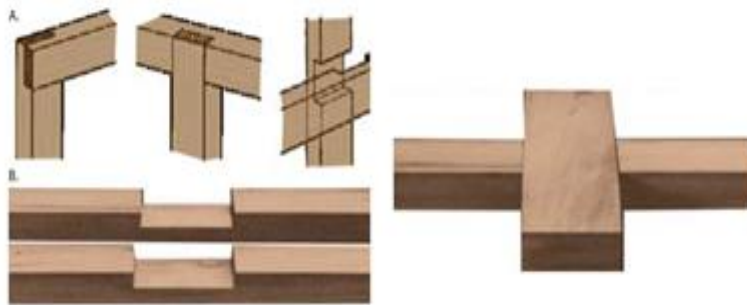


Fig. 26. Ensamble

Fuente: [1]

3.3.2.2 *Ensamble Barbilla*

Son uniones de dos elementos que forma un ángulo menor a 90° , estos pertenecen a la conexión de par y tirante o también de pendolón y tornapunta entre otras. Se apoya en una pieza de rebaje que recibe y es indispensable tornillos, pernos o placas metálicas para reforzar la junta, ver la (Fig.27).

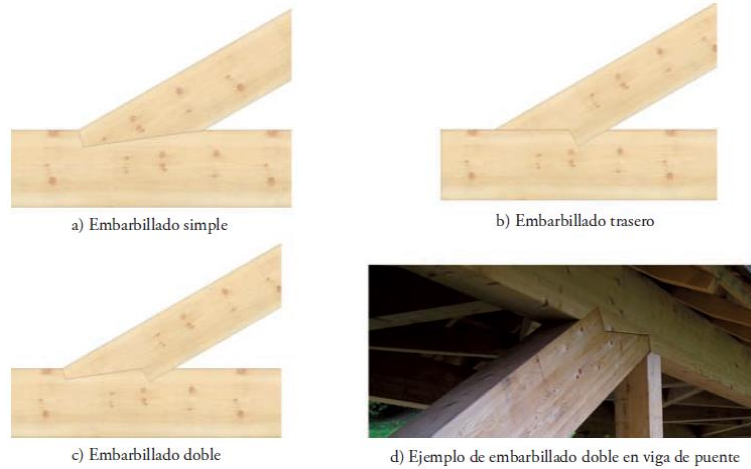


Fig. 27.Embarbillado

Fuente: [14]

3.3.2.3 *Ensamble de caja y espiga*

Uno de los elementos posee en su extremo una cuña que encaja en una pieza denominada caja o mortaja ver (Fig.28). [14]

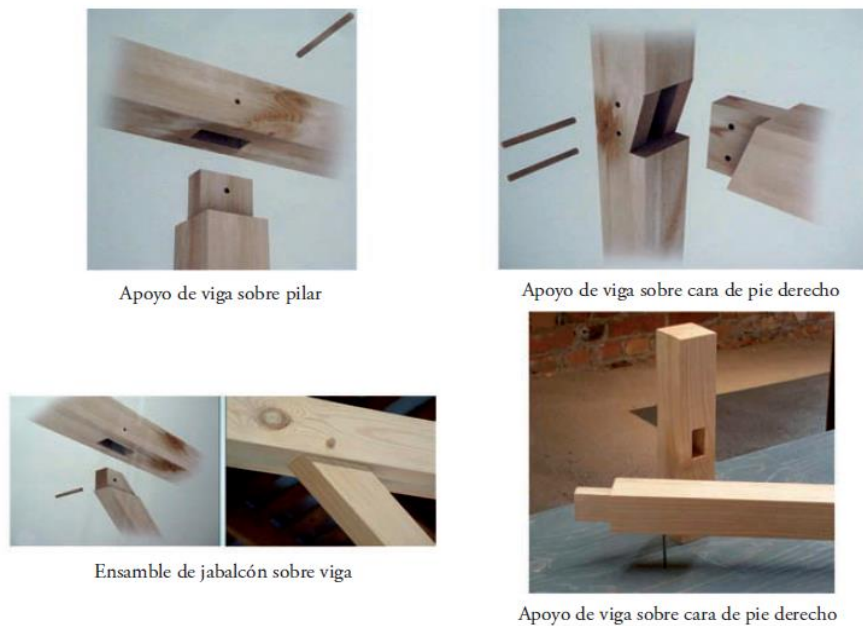


Fig. 28. Ensamble de caja y espiga

Fuente: [14]

3.3.3 *Empalmes*

Son uniones que ayudan a prolongar las dimensiones de un elemento tanto en sentido longitudinal y transversal, mientras el ensamble cambia de dirección. Se utilizan con frecuencia en la construcción para cubrir pórticos de madera, la idea así también como grandes luces, ver (Fig.29). Este tipo de unión de empalme se puede visualizar en las viviendas patrimoniales de la Ciudad de Azogues.

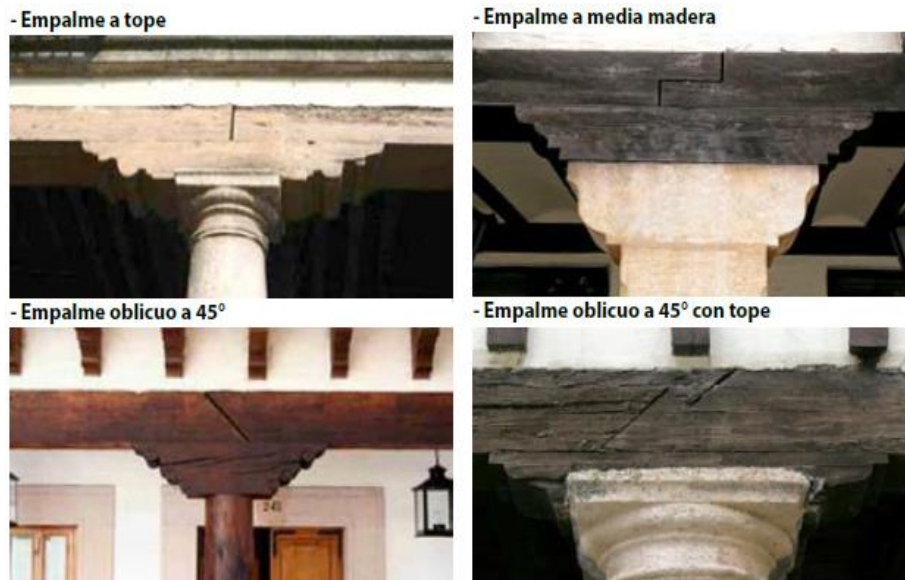


Fig. 29.Empalmes

Fuente: [1]

3.4 Uniones con clavo y tornillo

Las uniones de cada elemento antiguamente se realizaban con clavos, ver (Fig.30) de diferentes resistencias y diámetro dependiendo el tipo de vivienda que se construía y el tamaño de cada viga y columna, los clavos pueden presentar con o sin cabeza y aprovechan una resistencia a fuerzas laterales así también como a extracción. Un claro ejemplo donde se puede visualizar este tipo es en las viviendas patrimoniales. [2]

Las uniones atornilladas poseen diferentes características como su variación de longitud, diferentes diámetros, diferentes tipos de cabezas, ver (Fig.30). Se penetran en la madera con ayuda de una guía con agujero taladrado previamente, los tornillos logran uniones más rígidas que con los clavos, por el motivo que emplea rosca y esto al penetrar en el material se adhiere con más dureza. [2]



Fig. 30. Clavos y Tornillos

Fuente: [15]

3.5 Conectores metálicos

Son las más utilizadas actualmente, poseen una fijación mayor de superficie, que transmiten los esfuerzos de una mejor manera, tienen forma circular, rectangular y algunos casos poseen en su superficie dientes para una mayor fijación, ver (Fig.31), son colocadas en las superficies de madera. El sistema de conexión óptimo para este tipo de placas de acero no dentadas son los pernos o tornillos.



Fig. 31. Placas de acero para madera

Fuente: [15]

- **Conectores metálicos mixtos**

Existen una gran diversidad de conectores disponibles en el mercado, existen conectores para fijar columnas a zapatas, fijar vigas principales o secundaria y para cerchas. Estos son empleados en uniones estructurales para optimizar la resistencia a esfuerzos accidentales, el modelo de conector depende del diseño de la vivienda, los conectores con mayor variedad poseen la empresa SIMPSON STRONG TIE, ver (Fig.32)



Fig. 32. Conectores metálicos mixtos

Fuente: [15]

Los conectores de placa de acero trabajan en conjunto con pernos de acero, ver (Fig.33), capaces de resistir grandes tensiones, cortes y compresiones que generan los elementos de las estructuras de madera por las cargas, esto permite que la estructura sea estable y fuerte en la conexión de sus elementos.



Fig. 33. Perno de acero hexagonal

Fuente: [16]

3.6 Métodos de conexiones

La evolución de la ingeniería en estructuras de madera es muy relacionada con los progresos de las uniones. Los Ingenieros civiles Paul Metzger del país de Alemania y Komrad Sattler del país de Austria emplearon conocimientos para potenciar la capacidad de las uniones, estos ingenieros crearon una clavija de acero que se incrusta en la madera y transmita los esfuerzos

perpendicularmente en su eje. Para optimizar su eficiencia de conexión se opta la sustitución de sección de madera por dos o más secciones de un menor tamaño, se pretende decir que al insertar muchos conectores de acero que obtengan la misma sección, dos o más superficies de corte. Existen muchos sistemas de ellos se presentan los más conocidos. [14]

3.6.1 Sistema de Fijación CTBA-HILTI

Este sistema posee placas metálicas que son ubicadas en el interior de los elementos estructurales en madera ver (Fig.33), la fijación que se utilizan son clavos de acero. [14]

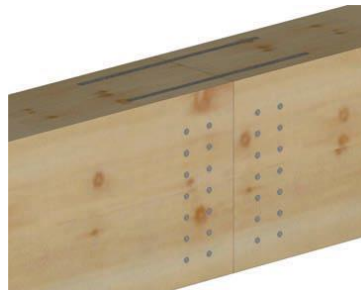


Fig. 34. Sistema de conexión CTBA-HILTI

Fuente: [14]

3.6.2 Sistema GREIM

Este sistema lo desarrollo el Ingeniero Walter Greim que ayuda a conseguir la mejor eficiencia de las uniones clavadas. Se usa principalmente en vigas triangulares de luces de 25m o más que responden a la eficiencia del sistema., como el otro sistema antes mencionado posee placas de acero dentro de la madera para una mayor fijación ver (Fig.35). [14]

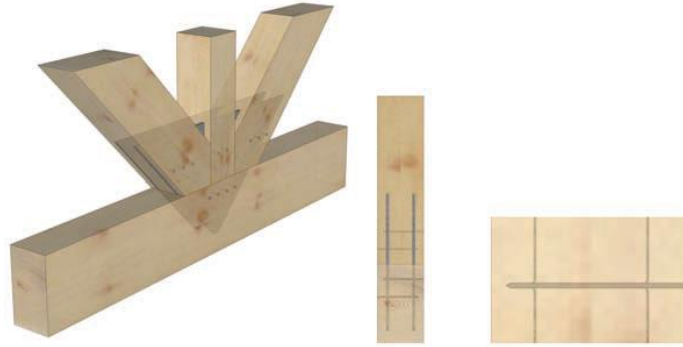


Fig. 35. Sistema Greim

Fuente: [14]

3.6.3 Sistema BSB (BLUMER-SYSTE-BINDER)

Utiliza placas intercaladas de los elementos en madera fusionadas por pasadores. Permite desarrollar uniones en los nudos de vigas trianguladas, emparrillados, pórticos y estructuras espaciales. Este sistema posee conectores metálicos ocultos, ver (Fig.36). [14]

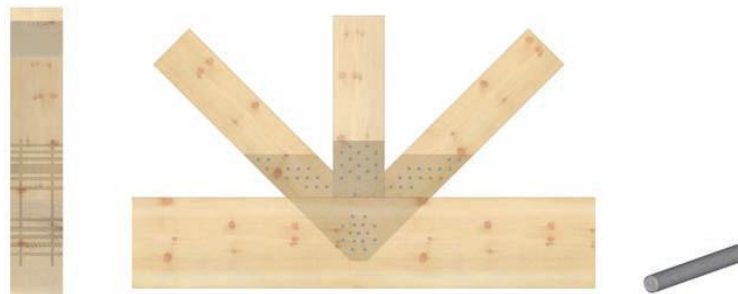


Fig. 36. Conexión de viga triangular desarrollada con BLUMER SYSTE BINDER

Fuente: [14]

3.6.4 Sistema JANEBO-BULLDOG

Es un sistema que permite unir vigas y columnas en edificación, posee placas de acero insertadas en el alma de la viga, el borde extremo forma de gancho se enlaza a un conector metálico insertada en el alma de la columna. El contacto de ambas placas tiene un comportamiento de rótula, los conectores quedan fijas con vástagos de metal ver (Fig.37). [14]

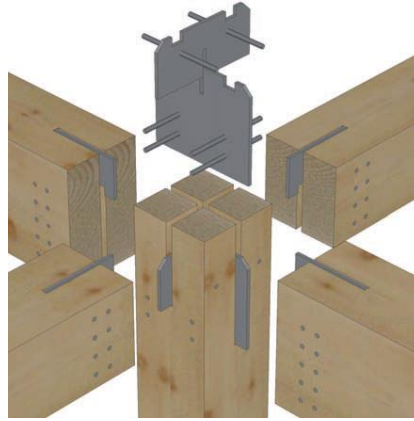


Fig. 37. Conexión de vigas/pilar

Fuente: [14]

3.6.5 Sistema anclaje *BERSCHTE VERPRESS DUBER (BVD)*

Se comporta igual como un tallo roscado y pegado en la madera. Su anclaje está compuesto por un tubo de fundición cilíndrico, que es perforado para incrustar vástagos atreves de la madera. Tiene en su extremo una rosca que le permite enroscarse con otro material, para que sea sólido se le inyecta mortero de resina, ver (Fig.38). Este soportar esfuerzos de compresión, tracción, de corte y flexión. [14]

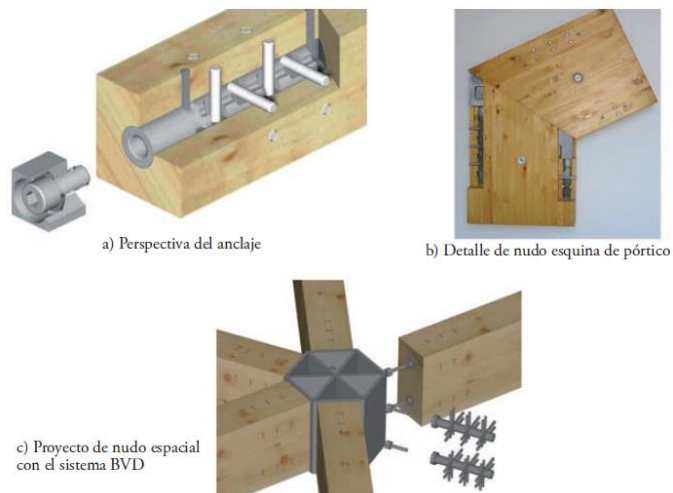


Fig. 38. Sistema de conexión BERSCHTE (BVD)

Fuente: [14]

4. Tipologías en edificaciones en la ciudad de Azogues con elementos de madera

4.1 Características generales de la vivienda

4.1.1 Vivienda Patrimonial Quinta San José

4.1.1.1 Ubicación de la vivienda

La vivienda se encuentra en el cantón Azogues provincia del Cañar ubicado en las calles Cacique Tenemaza y José Joaquín de Olmedo ver (Fig.39).

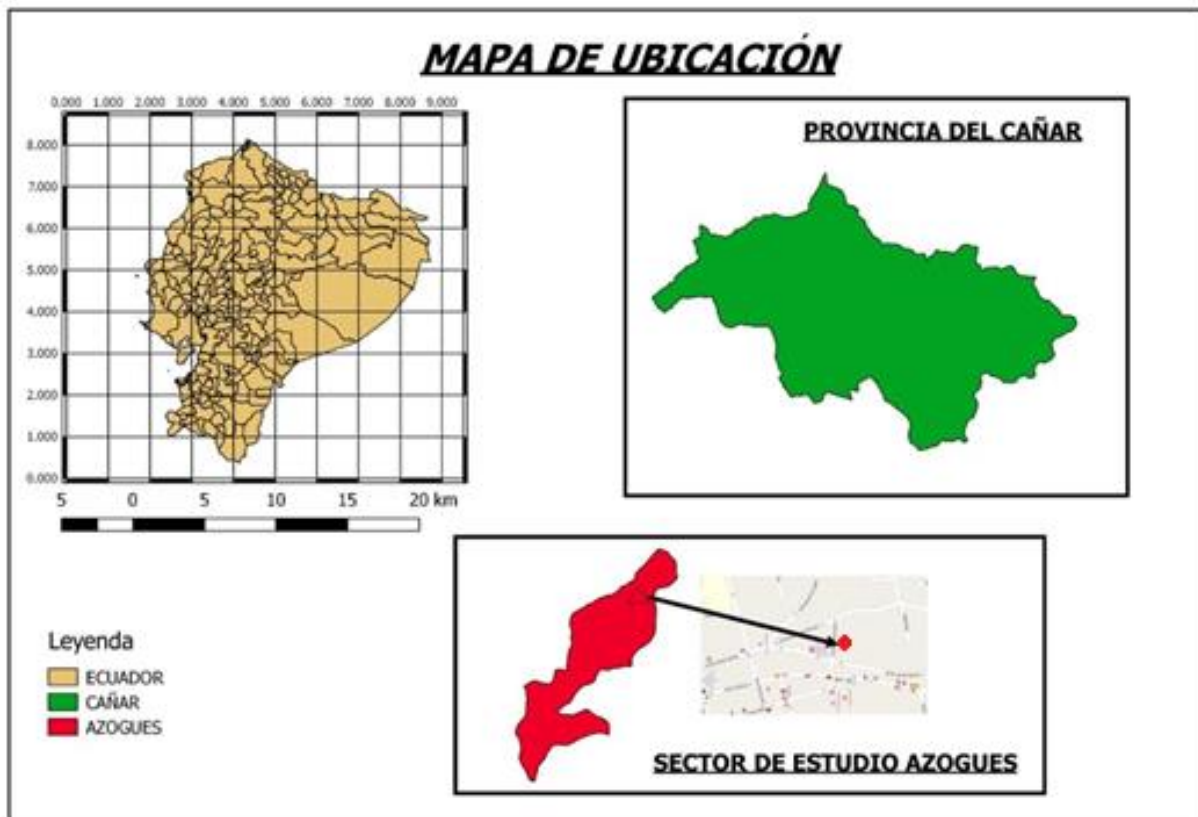


Fig. 39. Ubicación de la Vivienda Quinta San José

Fuente: Autor

Esta vivienda patrimonial de la ciudad de Azogues presenta un diseño arquitectónico de estructura de madera, la vivienda tiene cerca de 100 años, pero como es una vivienda de madera

en el transcurso de los años se ha degenerado en su material, al no realizar un mantenimiento óptimo de sus elementos estructurales, así como también de sus paredes en madera, en la actualidad está en estudio para su restauración total, ver (Fig.40).



Fig. 40. Vivienda Patrimonial Quinta San José

Fuente: Autor

4.1.1.2 Descripción de la vivienda

La vivienda inicia su construcción por los años 1915 a 1917, por iniciativa de su propietario Luis Antonio Calle Ortega que lo fue realizando en diferentes etapas hasta su finalización en el año 1931. El material predominante en la época fue la madera, por ese motivo toda la estructura, piso, cubierta tipo cercha, paredes fue construido con madera de eucalipto, su cimientos fue realizado en piedra y sobre ella se encuentra su estructura.

La vivienda se compone de dos cuerpos sólidos concebidos bajos principios de construcción vernáculos con características distintas. Bloques escalonados se asienta siguiendo la topografía del terreno mientras la configuración del volumen se adapta a la condición de esquina con un chaflán. Los bloques fueron construidos en épocas distintas por lo cual se evidencia dos soluciones estéticas. La más antigua es una construcción modesta, carente de ornamentos, de fuerte muros portantes en la planta baja mientras se complementa con ligereza a través de un paneado de madera que resuelve la planta alta.

La solución final busca coincidencias entre los vanos de ambos niveles, el segundo bloque por su parte, es rectangular y tendencialmente simétrico, pero no completamente, resaltando su eje central con una torreta de planta hexagonal. La vivienda no es construida con normativa aplicable, si no es solo realizada por maestro y el dueño de la vivienda.

4.1.2 Villa contemporánea de madera

4.1.2.1 Ubicación de la vivienda

La vivienda se encuentra en el cantón Azogues provincia del Cañar en el sector Macas en la Avenida Luis Monsalve Pozo ver (Fig.41).

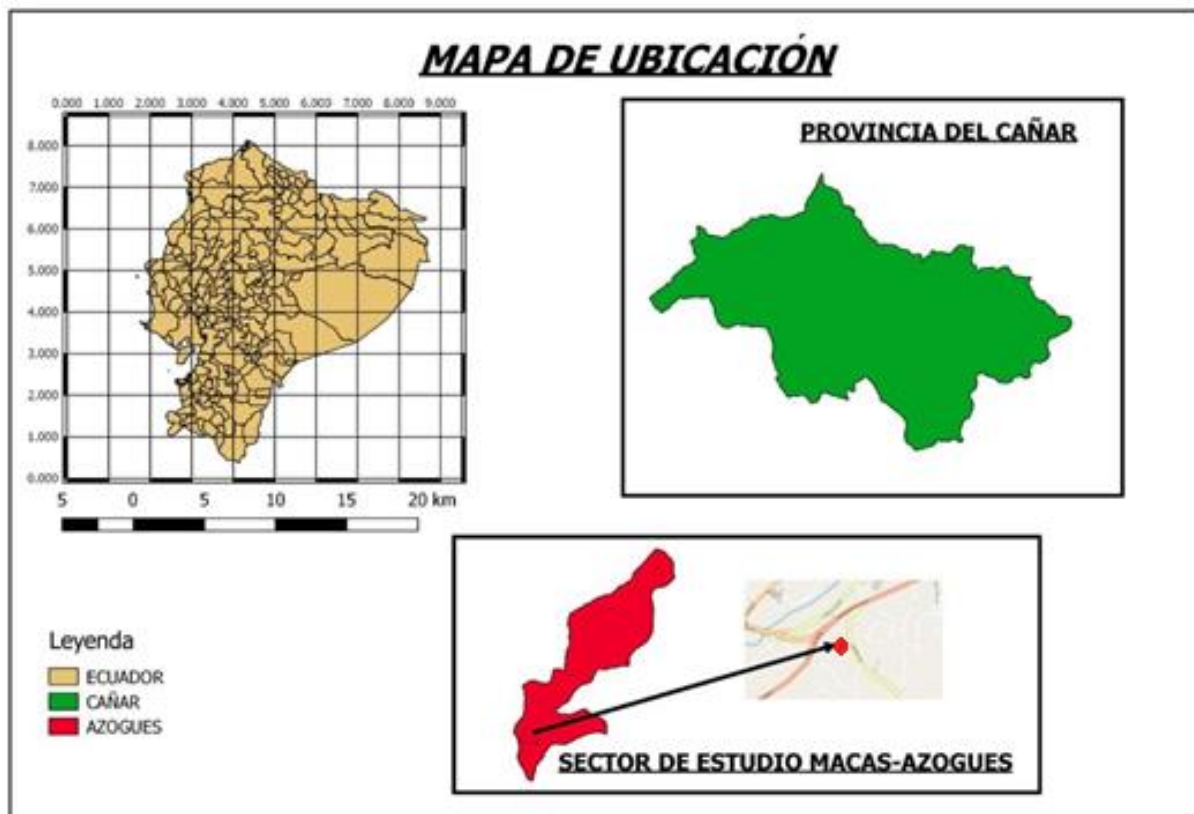


Fig. 41. Ubicación de villa contemporánea de madera

Fuente: Autor

Es una vivienda de madera tipo villa que se ha construido en una colina, se ha cimentado en el año 2020. Una de las pocas viviendas tipo villa en madera edificadas en la ciudad de Azogues en la actualidad, ver (Fig.42).



Fig. 42. Vivienda tipo villa

Fuente: Autor

4.1.2.2 Descripción de la vivienda

Esta vivienda inicia su construcción en el año 2020 y finaliza en el año 2021, la iniciativa e idea arquitectónica de esta construcción llega con las viviendas de E.E.U.U, la propietaria Señora Digna Gualpa. El material de cual está realizada la vivienda es de pino y sus cimientos de hormigón.

La vivienda se compone de un solo cuerpo de 7x8 metros dividido en dos habitaciones de 3x3 metros con baño compartido, sala, comedor y cocina., su cubierta es de tipo cercha a dos aguas, sus paredes de madera prefabricada, el material consta de perseverantes químicos en todos sus elementos estructurales, así como su mampostería para la protección de agentes patógenos que puedan causar daños en la madera y estos puedan debilitar causando el fracaso de la estructura.

Este tipo de vivienda pueden durar muchos años, siempre y cuando se realice un adecuado mantenimiento de toda su estructura.

4.1.3 Vivienda Dúplex en madera

4.1.3.1 Ubicación de la vivienda

La vivienda se encuentra en el cantón Azogues provincia del Cañar en el sector Chavay Alto a 30 metros de la Avenida Luis Monsalve Pozo ver (Fig.43).

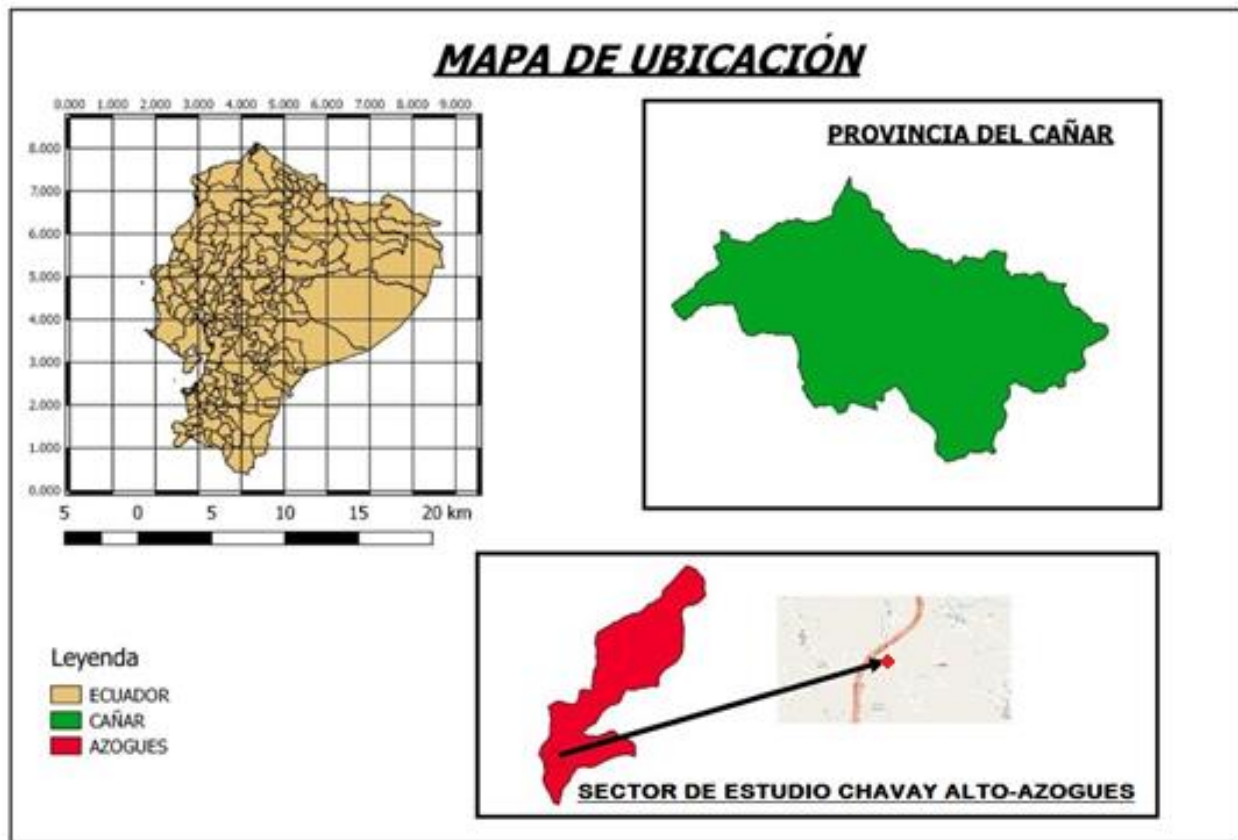


Fig. 43. Ubicación de vivienda dúplex en madera

Fuente: Autor

Es una vivienda que se encuentra en construcción desde el mes de abril del año 2021, es una de las pocas casas de dos pisos en la ciudad de Azogues que se encuentra construyendo, ver (Fig.44).



Fig. 44. Vivienda dúplex en madera

Fuente: Autor

4.1.3.2 Descripción de la vivienda

La vivienda inicia su construcción en abril del 2021, aún sigue construyéndose con un avance del 60%, el propietario Señor Braulio Landi manifestó que la vivienda es enfocada a la arquitectura que tiene las viviendas de madera en Europa que se encuentran en el campo. El material constitutivo de la fachada es de pino, su cimientos, plintos y piso de hormigón armado.

Está compuesta por dos pisos de 8x6,40 metros dividido en la planta baja comedor, sala, baño y cocina; en su planta alta posee dos cuartos con baño y una sala de estar con balcón. Por otra parte, cada entrepiso es de 2,40m de altura, posee una cubierta a dos aguas con teja. Sus paredes en madera de la parte de la corteza del árbol, esa será puesta en el exterior de la vivienda. En su interior se implementará tablas para dar forma al segundo piso y a las paredes del interior.

4.2 Descripción estructural

4.2.1 Vivienda Patrimonial Quinta San José

La vivienda, al ser una estructura de madera posee grandes longitudes de vigas y columnas, esto es gracias a los árboles nativos de la época que eran enormes y gruesos por ese motivo se ha podido construir la vivienda. Con respecto a sus vigas la vivienda posee de diferentes dimensiones

que va desde los 1,95 metros hasta los 4,00 metros en su mayor extensión. Su sección transversal de vigas fluctúa en diferentes medidas desde los 7x14 cm a 10x14cm, ver (Fig.45).



Fig. 45: Vigas de madera

Fuente: Autor

Sus columnas alcanzan dimensiones que van desde 1,70 metros hasta los 3,15 metros de altura, con sección transversal de 14x14 cm y 20x20 cm ver (Fig.46).



Fig. 46. Columnas

Fuente: Autor

Su cubierta es de tipo cuatro aguas, posee cuerdas superiores en sentido transversal y horizontal formando como una especie de malla de madera, en lo que respecta su base, se asienta en las vigas principales obteniendo conexiones con las columnas dando así su cuerpo estructural para formar los cuatro lados, para su cobertor es de tipo teja de material de arcilla, ver (Fig. 47)



Fig. 47. Armadura para cubierta en madera

Fuente: Autor

4.2.2 Villa contemporánea de madera

Esta vivienda posee pequeñas luces en vigas, presentan dimensiones desde los dos metros hasta los tres metros, su sección transversal de las vigas principales es de 15x15cm, secundarias de 5x15cm y las vigas donde va asentado la cubierta de 10x10cm, ver (Fig.48).



Fig. 48. Vigas principales y secundarias

Fuente: Autor

Por otra parte, en lo que respecta sus columnas que se encuentran ocultas por sus paredes y otras visibles, su longitud es de dos metros de alto con sección transversal de 10x10 cm, ver (Fig.49).



Fig. 49. Columnas de madera

Fuente: Autor

Su cubierta es de tipo 2 aguas, consta con 14 viguetas separadas aproximadamente 45 cm y se asienta en las vigas principales, su cobertor es de madera prefabricada de pino cubierto de una membrana impermeabilizante de poliéster que impide que el agua tenga contacto con la madera ver (Fig.50).



Fig. 50. Armadura de cubierta de madera

Fuente: Autor

4.2.3 Vivienda Dúplex en madera

Esta vivienda posee dos pisos, las características de esta construcción son sus elementos que tienen la misma dimensión transversal de 10x10cm tanto en su columnas y vigas principales, secundarias, como se ve (Fig. 51).



Fig. 51. Elementos de madera

Fuente: Autor

Por otro lado, sus vigas principales tienen desde 3.20 metros en la parte frontal, posterior y sus lados desde 3.50 hasta los 4.50 metros, sus vigas secundarias poseen desde los 3.50 metros hasta los 4,50 metros. Las secciones transversales son de 10x10 cm en sus elementos, como se ve en la (Fig.52).



Fig. 52. Vigas principales y secundarias

Fuente: Autor

Continuando con sus columnas poseen una altura en la primera planta de 2.40cm y en la segunda de 2.50cm de altura con secciones transversales de 10x10cm, ver en la (Fig.53).



Fig. 53. Columna

Fuente: Autor

4.3 Características de las conexiones.

4.3.1 Vivienda Patrimonial Quinta San José

La vivienda posee conexiones simples en su estructura ya que data de los años 1915, donde solo se conocía este método constructivo, al juntar elementos en madera solo se necesitaron clavos que son propios de la época en el Ecuador, entre sus juntas se puede observar, en la (Fig. 54) el típico ensamble que permite juntar dos vigas para obtener grandes luces.



Fig. 54. Conexión tipo ensamble

Fuente: Autor

Por otro lado, también existe la junta a media madera donde solo se corta la mitad de una viga así también como la otra que al unir se forma un solo cuerpo, como se ve en (Fig.55).



Fig. 55. Junta a media madera

Fuente: Autor

También se puede observar que la vivienda en algunas uniones no se ha utilizado clavos, sino que simplemente por gravedad y peso del elemento ha sido colocado, algunas de las conexiones en la vivienda son utilizados los clavos, otras placa de acero con pernos , por los años que tiene algunas juntas han cedido por el motivo que no se realizaron mantenimiento de la madera y han ingresado agentes patógenos que destruyen, el más conocido el gorgojo y la polilla, en la siguiente (Fig.56) se puede apreciar cómo ha sufrido daños por los insectos.



Fig. 56. Daños causados a la madera en la conexión por insectos

Fuente: Autor

Posee juntas de empalme de espiga cuadrada en algunas columnas con unión de vigas, se efectúa una caja ya sea esta rectangular o circular en una cara de los elementos y en la otra se corta una espiga cuadrada o circular que se mortaja en el otro elemento, este tipo de junta son sometidas a esfuerzos de compresión.(Fig.57)



Fig. 57. Junta de empalme de espiga cuadrada

Fuente: Autor

Finalizando, la cubierta posee uniones tipo ensamble a barbilla para su fácil conexión con clavos, ver (Fig.58), la cubierta es una estructura que debe estar sumamente protegida ya que es el principal en recibir los factores de clima como el calor, la lluvia, granizo y sus elementos siempre están expuestos a la humedad, por lo tanto, debe recibir un adecuado mantenimiento.

Esta vivienda está en un proceso de estudio para su restauración, ha sido abandonada muchos años sin realizarle un mantenimiento adecuado, por ese motivo algunos elementos estructurales están en malas condiciones, así como sus paredes, pisos y cubierta. La dirección de planificación sección Patrimonio del GAD MUNICIPAL de Azogues desea salvar la vivienda y restaurarla a su forma original con los materiales que la vivienda estuvo construida.



Fig. 58. Unión tipo ensamble de barbilla

Fuente: Autor

4.3.2 Villa contemporánea de madera

La vivienda a pesar de haber sido construida en el año 2020 posee conexiones simples, esto es porque la vivienda es pequeña y no posee cargas altas, pero eso no es un factor que impida realizar una conexión diferente, ya que en la actualidad existen otro tipos de uniones con mejores rendimientos estructurales, se observa también que su sistema de conexión en toda su estructura, mampostería y piso es conectado con clavos. Así mismo en la unión con sus cimientos las vigas principales son puestos al peso propio y gravedad, ver (Fig.59).



Fig. 59. Unión de vigas a cimientos

Fuente: Autor

Por otra parte, sus vigas secundarias son conectadas a las vigas principales por encima para dar soporte al piso, este tipo de unión es de ensamble con fijador con clavos para dar soporte, como se ve en la (Fig.60).



Fig. 60. Junta simple de vigas secundarias

Fuente: Autor

Con respecto a la conexión que se da entre columna y viga es de junta simple como se puede ver en la (Fig.61), también se observa cuando insertaron el clavo en la madera se ha producido pequeñas grietas y eso se da por la mala perforación que realiza el maestro con martillo. Para que no ocurra esto se necesita realizar la perforación con taladro permitiendo no dañar a los elementos estructurales y realizar una adecuada unión.



Fig. 61. Junta simple de viga columna con grietas.

Fuente: Autor

Finalizando con su cubierta posee juntas a media madera en sus extremos, en total son 14 viguetas que van desde el frente de la vivienda hasta la parte posterior, se observa también que se utilizaron conectores de placas en madera para la unión central con clavos ver en la (Fig.62).



Fig. 62. Conector tipo placa de madera en cubierta

Fuente: Autor

En esta vivienda se podría haber implementado otro tipo de unión como los conectores metálicos y tornillos para una mayor resistencia, por otro lado, con este tipo de conectores se pudieron evitar muchos errores por grietas en los elementos estructurales por penetración de clavos como se ve en la (Fig.63). La vivienda fue construida sin ninguna normativa y lo realizo un carpintero sin ninguna guía, solo en base a experiencia obtenida a lo largo de su vida.



Fig. 63. Grietas causadas por la penetración de los clavos.

Fuente: Autor

Es importante tener en cuenta que la madera es un material muy complicado para su construcción ya que posee muchos factores que pueden llegar a dañar sus elementos estructurales, al perforar el material con clavos, tornillo y también al realizar orificios para los pernos, esto es por la dirección de las fibras presentes en el elemento, que ocurre este tipo de fracaso en las maderas.

En el mercado existen muchos componentes químicos que permiten la protección de la madera para que sea más duradera, resistente a los agentes patógenos como insectos y también a la humedad que es un factor muy peligroso para el material, la vivienda está protegida en su totalidad por estos componentes y debe tener un mantenimiento óptimo para que en un futuro no tenga envejecimiento de sus materiales.

4.3.3 Vivienda Dúplex de madera

La vivienda está en ejecución y las conexiones que se están realizando son variadas desde simples y semirrígidas, el mismo propietario de la casa está realizando la construcción sin conocimiento claro acerca de cómo realizar una adecuada unión entre elementos de la madera. Se pudo observar también que su sistema de conexión en toda su estructura es conectado con clavos de 10mm, así como también tornillos de 10mm y 12mm, ver la (Fig.64).



Fig. 64. Conexión con clavos

Fuente: Autor

Por otro lado, se observa la (Fig.65),una colocación de un conector de acero en forma triangular de 60x60cm con 3mm de espesor, esto para el reforzamiento en la junta viga-columna ya que ha presentado problemas de estabilización en la estructura.



Fig. 65. Colocación de placas en forma triangular en viga-columna

Fuente: Autor

Se observa que la vivienda presenta en las uniones de entre viga principal y secundaria la colocación de placa de acero de 3mm con perno de 10mm como se ve en (Fig.66).



Fig. 66. Conexión con placa de acero y pernos

Fuente: Autor

Por la inestabilidad que presentaba la estructura, el propietario implemento las diagonales para que el marco sea más estable, ver (Fig.67), estas diagonales se incorporaron en toda su estructura.



Fig. 67. Conexión con diagonales en marcos de madera.

Fuente: Autor

En su cubierta tipo a dos aguas posee 14 cuerdas superiores a una distancia de 70 cm, su junta es simple conectado con clavos de 10mm en toda su estructura, la cubierta posee teja para evitar el contacto del agua con la madera y esta sufra de humedad que es grave para la misma ver (Fig. 68).



Fig. 68. Cubierta a dos aguas

Fuente: Autor

La vivienda está en proceso de construcción y como se pudo observar tiene muchos errores, comenzando desde que no posee un conocimiento de cómo realizar las conexiones en la madera, es una de las muchas personas, competente que realizan a base de experiencia y otra que no usan normativa que puede ayudar a la construcción de una vivienda en madera, puesto que en este material es un reto y es de mucha paciencia trabajar con él para que no sufra fisuras, grietas o fallas del elemento al aplicar en la unión sea clavos, tornillos o pernos.

5. Análisis y diseño de conexión en madera

5.1 Normativa empleada para diseño de conexión

Para realizar un diseño adecuado de conexión en madera se inicia con un análisis, diseño estructural, en base a esto se obtienen las cargas en el nudo y se procede a diseñar el sistema de conexión, sea este perno, tornillos, placa pernos, placa clavos o tornillos.

5.1.1 Requisitos de diseño

5.1.1.1 Cargas

Toda estructura deberá ser diseñada, construida y empleada para resistir todos los esfuerzos en sus elementos producidos por las cargas presentadas en la misma, La NEC 2015 plantea cargas que son permanentes y vivas . La combinación para diseño es 1.2D+1.6L, D: Carga Muerta, L: Carga viva. En este análisis se emplea solo cargas gravitacionales.

5.1.1.2 Esfuerzos admisibles

De acuerdo a diferentes ensayos de resistencia. la Junta del Acuerdo de Cartagena [8], desarrolló tres grupos estructurales según su tipo de especie, resistencia, humedad, expresados en la **TABLA II.**

TABLA II. Esfuerzos Admisibles (Kg/cm²)

Grupo	Flexión	Tracción Paralela	Compresión Paralela	Compresión Perpendicular	Corte Paralelo
	fm	ft	fc	fc	fv
A	210	145	145	40	15
B	150	105	110	28	12
C	100	75	80	15	8

Nota: Estos esfuerzos son para madera húmeda y pueden ser usados para madera seca.

Fuente:[8]

5.1.1.3 Módulo de elasticidad

Es un parámetro que presenta el comportamiento elástico de los materiales, es aplicado para columnas y vigas en compresión o tensión en sentido paralelo a la fibras y flexión. el E_{promedio} se utiliza cuando hay presencia de un conjunto como es el caso de entablados, viguetas y el E_{min} debe usarse como el indicado, en la **TABLA III** del libro PADT-REFORT [8], se expresa los valores de módulo de elasticidad.

TABLA III. Módulo de Elasticidad (kg/cm²)

Grupo	E_{min}	E_{promedio}
A	95,000	120,000
B	75,000	100,000
C	55,000	90,000

Nota: Estos esfuerzos son para madera húmeda y pueden ser usados para madera seca.

Fuente: [8]

5.1.2 Diseño de vigas

5.1.2.1 Deflexiones Admisibles

En el libro PADT-REFORT [8], manifiesta que las deflexiones máximas admisibles se expresan en la **TABLA IV**, las cuales evitan que sus acabados y estructura sufra daños.

TABLA IV. Deflexiones máximas admisibles

Carga actuante	a) con cielo raso de yeso	b) sin cielo raso de yeso
Cargas permanentes + sobrecargas	L/300	L/250
Sobrecarga	L/350	L/350

Fuente: [8]

5.1.2.2 Esfuerzo a su flexión

Son deformaciones que presenta la viga en flexión y compresión, esto no exceda su esfuerzo f_m , al diseñar viguetas consiguen un incremento en su esfuerzos de un diez por ciento, en la **TABLA V** del libro PADT-REFORT [8], se expresa los valores de esfuerzos de flexión.

TABLA V. Esfuerzo Máximo Admisible en Flexión f_m /kg/cm²)

Esfuerzos admisibles	
Grupo A	210
Grupo B	150
Grupo C	100

Fuente: [8]

El esfuerzo origina en su fibra lejana del eje neutro, piezas cargadas en dirección a ejes importantes como se observa en (Fig.69) , donde momento (M) e Inercia (I) de Sección del elemento con respecto al eje se produce una flexión, una distancia (c) del eje neutro a su fibra más alejada y por último modulo (Z) de la sección, base y altura son valores de sección transversal. [8]

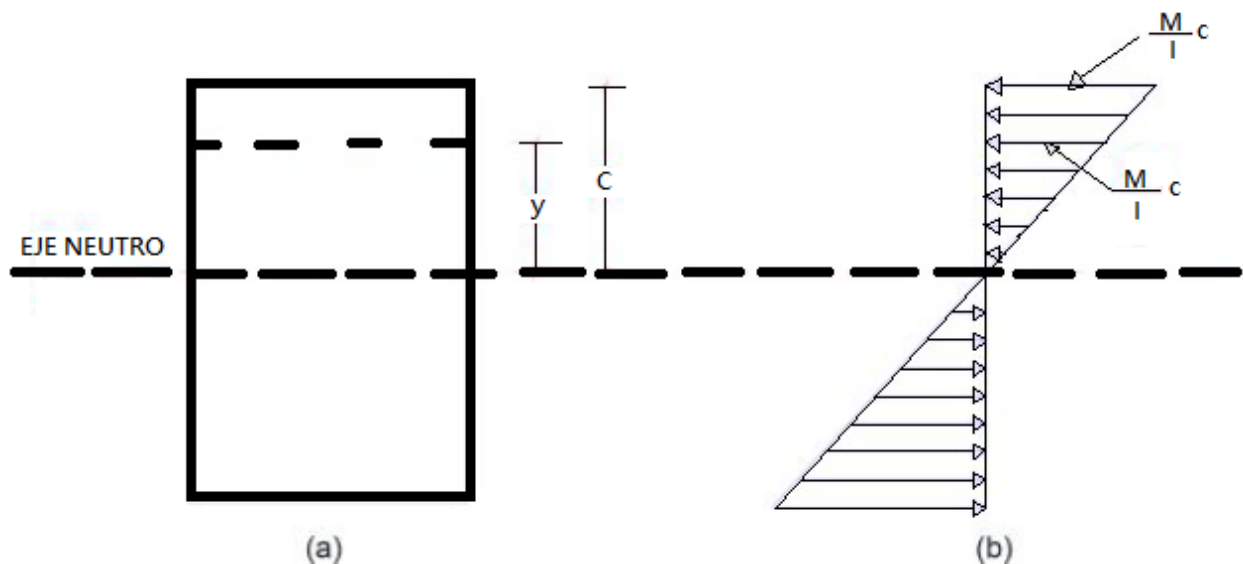


Fig. 69. (a) Sección de viga transversal, (b) distribución de esfuerzos por flexión.

Fuente: [8]

Para secciones rectangulares es ,

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$c = \frac{h}{2} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Luego,

$$\sigma_m = \frac{6M}{bh^2} < f_m \quad \text{Ecuación (6)}$$

5.1.2.3 Esfuerzo al cortante

Son los esfuerzos que soportan una estructura, estos no deben exceder a los esfuerzos de corte paralelo en la dirección de la fibra, los valores son expresados en la **TABLA VI** del libro PADT-REFORT [8].

TABLA VI. Esfuerzo Máximo Admisible para corte paralelo a las fibras, f_v (kg/cm²)

Esfuerzos admisibles Corte Paralelo	
Grupo A	15
Grupo B	12
Grupo C	8

Fuente: [8]

Se incrementan sus esfuerzos a diez por ciento al diseñar viguetas, entablados, si la resistencia es mayor en dirección perpendicular a la fibra no es necesario su verificación, existe un corte para la sección transversal que se encuentra trabajando en flexión con distancia al plano neutro se obtiene con la siguiente (Fig.70) [8]:

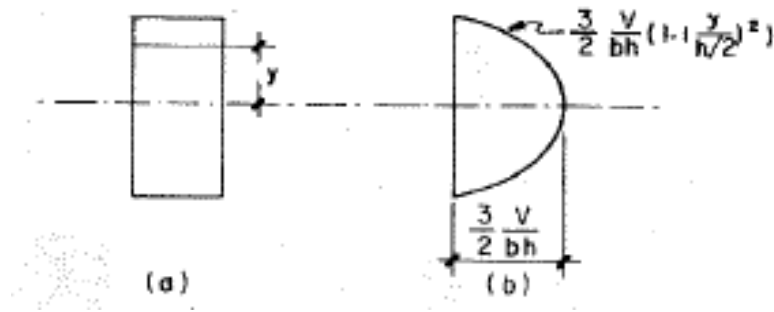


Fig. 70. Repartición de esfuerzos cortantes en elementos rectangulares

Fuente: [8]

$$|\tau| = \frac{3}{2} \frac{|V|}{b \cdot h} < f_v$$

Donde

V = La madera a esfuerzo de cortante en (kg).

τ = La madera a esfuerzo de cortante en (MPa).

b = Base en (cm).

h = Altura en (cm).

5.1.2.4 Aplastamiento perpendicular a las fibras

Es la compresión de un esfuerzo medio en el sentido perpendicular de las fibras, esta se verifica en sus soportes y lugares donde exista carga puntual en áreas diminutas, los valores son expresados en la **TABLA VII** del libro PADT-REFORT [8] y se obtiene por:

$$\sigma_{CL} = \frac{R}{b \cdot d} < f_m \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

R = Reacción de su fuerza

b.d = Contacto del área, no debe excederse los límites de f_c

TABLA VII. Esfuerzo Máxima compresión perpendicular a las fibras f_c (kg/cm²)

Esfuerzos admisibles Corte Perpendicular	
Grupo A	15
Grupo B	12
Grupo C	8

Fuente: [8]

5.1.3 Diseño de columnas

5.1.3.1 Longitud efectiva

Son diseños realizados a flexo compresión y compresión, donde se toma consideración su longitud efectiva que es equivalente a sus articulaciones externas, no considera una longitud efectiva menor a su longitud real no arriostrada, ver (Fig.71), información obtenido del libro de PADT-REFORT, donde se observa su longitud efectiva y condición apoyo para columnas de madera. [8]

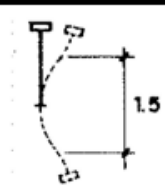
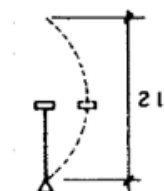
CONDICIÓN DE APOYO	k	lef	
Empotrado en un extremo y el otro parcialmente impedido de rotar pero libre de desplazarse.	1.5	1.5L	
Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar, pero libre de desplazarse	2.0	2L	

Fig. 71. Longitud efectiva.

Fuente: [8]

5.1.3.2 Esbeltez

Es la función de la relación que presenta las condiciones de apoyo que están diseñadas las columnas se representa por:

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{d} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

λ = Esbeltez.

L_{ef} = Longitud efectiva dependiendo su apoyo

d = Sección transversal en dirección considerada.

5.1.3.3 Clasificación de columnas

Las columnas se clasifican de acuerdo con la esbeltez :

- Columna corta $\lambda < 10$
- Columna intermedia $10 < \lambda < C_k$

$$C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación (9)}$$

- Columna larga $C_k < \lambda < 50$

Nota: No utilizar columnas con esbeltez mayor a cincuenta.

5.1.3.4 Esfuerzos máximos

El libro PADT-REFORT [8], expresa valores de esfuerzos admisibles para diseñar columna a flexo compresión y a compresión, ver **TABLA VIII**.

TABLA VIII. Esfuerzos máximos admisibles (kg/cm)

Grupo	Compresión Paralela f_c	Tracción Paralela f_t	Flexión f_m
A	145	145	210
B	105	105	150
C	80	75	100

Nota: En entramados puede considerarse un incremento del 10%

Fuente: [8]

5.1.3.5 *Módulo de elasticidad*

Se obtiene los valores presentados en la **TABLA III sección 5.1.1.3.**

5.1.3.6 *Columnas cortas*

Se calcula con la ecuación:

$$N_{adm} = f_c * A \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

A = Su área de sección transversal

f_c = Esfuerzo máximo de compresión paralela con dirección a las fibras.

N_{adm} = Carga axial

5.1.3.7 *Columna Intermedia*

La columna cuando no está debidamente diseñada presenta fallas de aplastamiento y pandeo (inestabilidad lateral). La carga se calcula con la ecuación:

$$N_{adm} = f_c * A \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k}\right)^4\right) \quad \text{Ecuación (11)}$$

- Considerar: $C_k < \lambda < C_k$

Dónde:

A = Su Área de sección transversal.

λ = Esbeltez.

f_c = Esfuerzo compresión paralelo en dirección a sus fibras

N_{adm} = Carga axial

5.1.3.8 Columna larga

Se calcula para estabilidad de la columna se determina con la ecuación:

$$N_{adm} = 0.329 \frac{E \cdot A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación (12)}$$

- Considerar: $ck < \lambda < 50$

Dónde:

E = Elasticidad

λ = Esbeltez

N_{adm} = Carga axial

A = Su Área de sección transversal

5.1.3.9 Diseño de columnas a esfuerzos admisibles por flexo compresión

Los elementos en madera considerar su diseño a cumplir la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m |M|}{Z f_m} < 1 \quad \text{Ecuación (13)}$$

Dónde:

E = Modulo de elasticidad.

K_m = Un factor de aumento de momentos con presencia de carga axial.

A = Su Área de sección transversal

N_{adm} = Carga axial

f_m = Esfuerzo admisible a flexión.

$|M|$ = Valor absoluto de momento flector máximo del elemento

Z = Módulo de la sección transversal que se produce la flexión con respecto al eje se calcula por:

$$Z_x = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \text{o} \quad Z_y = \frac{h \cdot b^2}{6} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Se emplea una carga crítica para Euler de pandeo con dirección de aplicación de momentos de flexión N_{cr} , de expresa mediante la ecuación:

$$N_{cr} = \frac{EI\pi^2}{l_{ef}^2} \quad \text{Ecuación (15)}$$

5.1.3.10 Cálculo de carga crítica de Euler

Un factor de aumento de momentos con presencia de carga axial se expresa la ecuación:

$$K_m = \frac{1}{1 - \frac{1.5N}{N_{cr}}} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

N_{cr} = Carga crítica de Euler

N = Carga axial aplicada.

K_m = Factor de aumento de momentos con presencia de carga axial

5.1.3.11 Comprobación de esfuerzos admisibles por flexo compresión

Se satisfacer la ecuación siguiente y su respuesta debe ser menor a uno:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m |M|}{Z f_m} < 1 \quad \text{Ecuación (17)}$$

5.1.3.12 Chequeo de esfuerzos por flexo-tracción

La columna debe satisfacer la ecuación siguiente y su respuesta debe ser menor a uno:

$$\frac{N}{Af_t} + \frac{|M|}{Zf_m} < 1 \quad \text{Ecuación (18)}$$

Dónde:

f_m = Esfuerzo a flexión.

Z = Módulo de la sección transversal que se produce la flexión con respecto al eje.

N_{cr} = Carga Euler crítica

$|M|$ = Valor absoluto de momento flector máximo del elemento

f_t = Carga axial máxima.

N = Carga axial aplicada.

A = Su Área de sección transversal.

5.1.4 Uniones con tirafondos atornilladas para madera

Las uniones atornilladas estructurales deben trabajar en simple cizallamiento y por lo mínimo cuatro tornillos cuando el Diámetro es menor a 10mm y de dos tornillos cuando el Diámetro es mayor o igual a 10mm. Para este tipo de tornillos es necesario la implementación de arandelas. En la (Fig.72) se observa las diferentes formas de cabeza junto a sus características geométricas más relevantes. Con esto se desarrollan conexiones más rígidas que con los clavos.

[2]

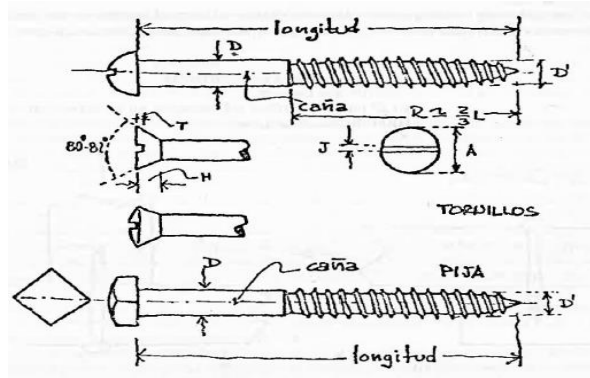


Fig. 72. Tornillo y pija

Fuente: [2]

Los pernos necesitan agujeros guías para su fijación, que se efectúa con llave de tuerca. Para maderas duras se suelen utilizar tornillos y pijas de rosca fina y para madera blandas son preferibles rosca gruesa.

- **Capacidad el cortante**

En uniones mostrada en la (Fig.73), donde el perno es insertado perpendicular a las fibras, la capacidad de carga en kilogramos está dada por la ecuación:

$$P = 3.75\gamma D^2(Kg)$$

Ecuación (19)

Donde:

P= Capacidad de carga

Y= 0.40 en su conservación para todas las maderas.

D= Diámetro del tornillo en mm

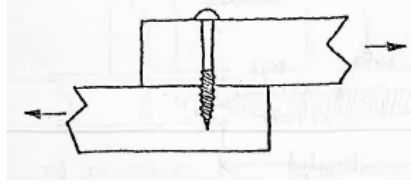


Fig. 73. Tornillo a cortante

Fuente: [2]

- **Capacidad a la tensión**

Su capacidad de carga admisible en kilogramos de tornillos sometidos a fuerzas de extracción,

$$P = 15\gamma^2 D(Kg)$$

Ecuación (20)

como se ve en la (Fig.74) está dada por la ecuación:

Donde:

P= Capacidad de carga (Kg)

$\gamma = 0.40$ en su conservación para todas las maderas.

D= Diámetro del tornillo en (mm)

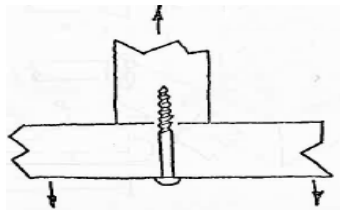


Fig. 74. Tornillo a Tensión

Fuente: [2]

- **Espaciamiento mínimo de tornillos.**

Los espaciamientos mínimos en tornillo cuando las cargas están paralelas a la dirección al grano se observan en la siguiente (Fig.75).

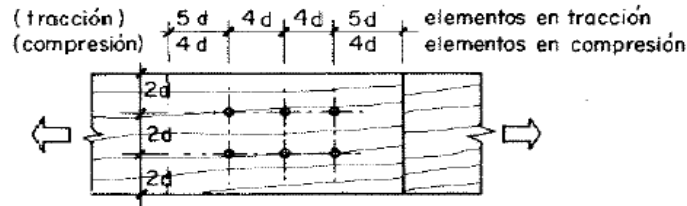


Fig. 75. Espacios mínimos de tornillos carga paralela

Fuente: [8]

Los espaciamientos mínimos en tornillos cuando las cargas están perpendicular a la dirección al grano se observa en la siguiente (Fig.76)

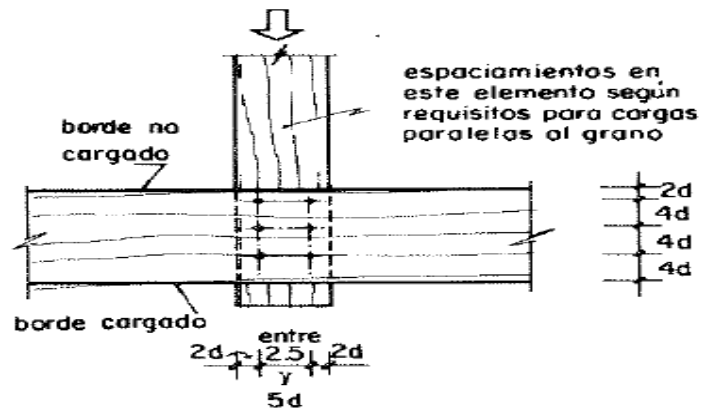


Fig. 76. Espaciamientos mínimos de tornillos carga perpendicular

Fuente: [8]

5.1.5 Diseño de placa de acero para conexiones de madera

Hay casos donde se forma una combinación de uniones clavos, tornillos o pernos con placas de acero, La NEC-2015 de Estructuras en Madera permite el diseño y construcción de la misma utilizando el acero A36 con una fluencia de 2530kg/cm^2 . Es necesario que las placas de acero tengan como un mínimo de 6mm de espesor.

- **Diseño A flexión**

Se diseñará la sección $b \times h$ de la placa para la conexión de elementos de madera ver (Fig.77), se diseña mediante las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación (21)}$$

$$A = b \cdot h \quad \text{Ecuación (22)}$$

Donde:

σ : Esfuerzo del acero A36 2530 kg/cm²

M: Momento flector

I: Inercia

c: Centroide de la sección

A: Su área de sección de la placa en cm²

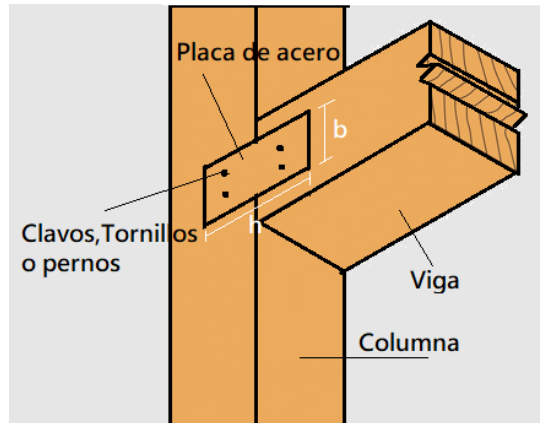


Fig. 77. Placa de acero sección

Fuente: Autor

- **Diseño a cortante**

Se diseñará el espesor de la placa ver (Fig. 78), que soporta la fuerza cortante en la conexión de elementos de madera mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_{cortante} = A \cdot \sigma \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$A = b \cdot e \quad \text{Ecuación (24)}$$

Por lo tanto:

$$e = \frac{V_{cortante}}{b \cdot \sigma} \quad \text{Ecuación (25)}$$

También por la ecuación:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

$V_{cortante}$ = Cortante que actúa en el nudo por la viga

A = Área

b= Base

e= Espesor de la placa debe ser mínimo 6mm

M= momento flector

I:Inercia

c:centroide de la sección del espesor

σ :Esfuerzo del acero 2530kg/cm²

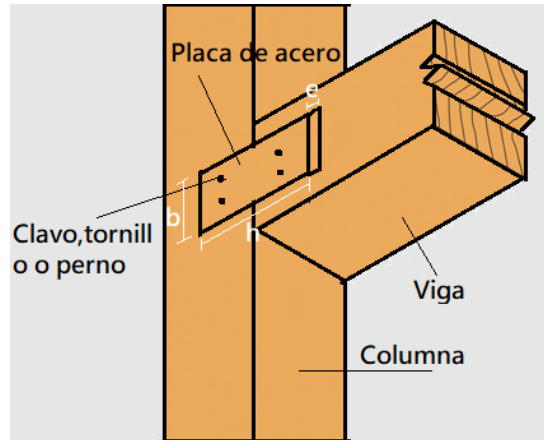


Fig. 78. Espesor de placa de acero

Fuente: Autor

Nota: En caso que el diseño no necesite incorporar una placa de acero en la conexión, esta se puede diseñar con los criterios mínimos de sección mediante número de pernos, clavos o tornillos y separación del mismo, así como también su espesor.

5.2 Guía y ejemplo de diseño

Para la realización del diseño de una conexión de madera con placa de acero y tornillos, inicia con las cargas que plantea la vivienda y a su vez un plano arquitectónico y estructural de la misma, se toma como ejemplo a la vivienda de madera antes mencionada ubicada en Chavay alto del propietario Braulio Landi, se levantó información de la vivienda comenzando desde las secciones de vigas principales, vigas secundarias, columnas, también longitudes.

Por otra parte, la vivienda tiene 51.2m^2 de construcción de dos pisos, el material empleado es madera de la especie *Pinus radiata* (Pino), se evaluará si las secciones transversales que presenta la vivienda de vigas, columnas son capaces de soportar las cargas, ya que la vivienda no posee ningún diseño y no se basa en alguna normativa, así también una comparación del diseño de conexión que presenta ahora, a un diseño que se realiza con placa de acero y tornillos en el nudo 1-A de entre piso, ver (Fig.79), a continuación se presenta los pasos de aplicación que se realiza para llegar al diseño de conexiones mediante normativas vigentes:

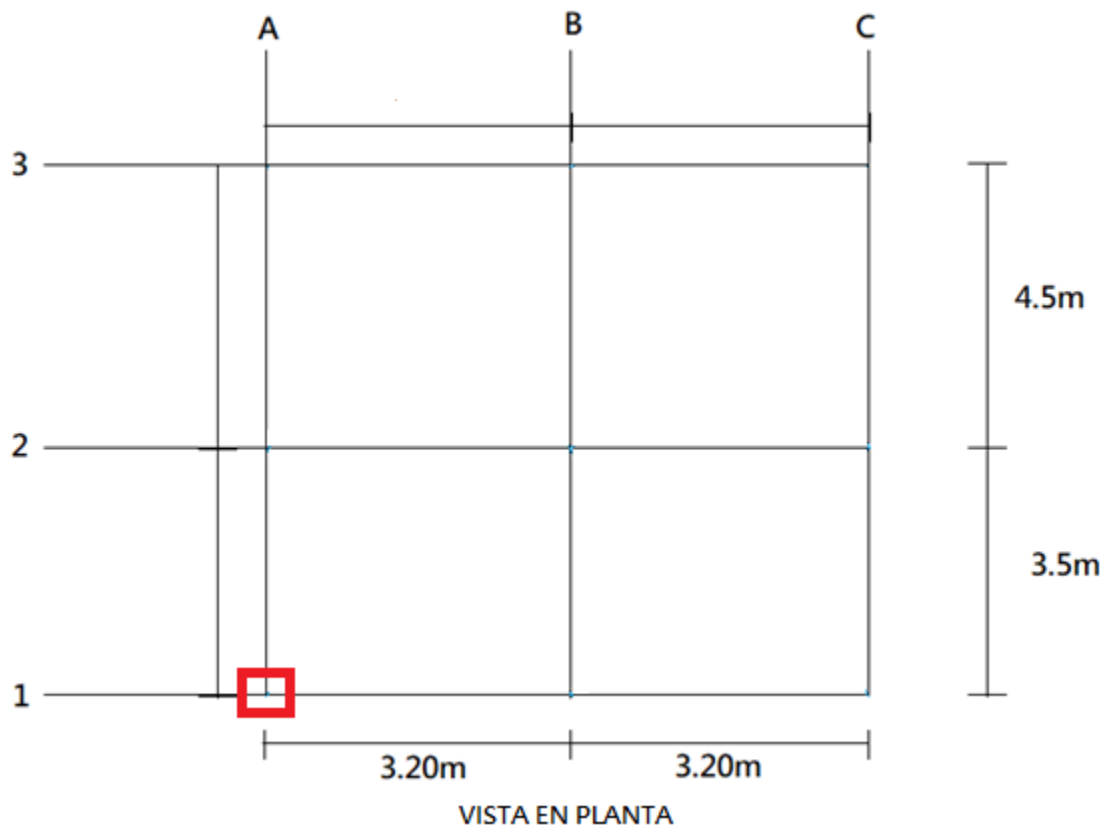


Fig. 79. Ubicación de diseño de conexión 1-A

Fuente: Autor

Cargas que componen la vivienda

Las cargas presentes en la vivienda están basadas en la carga viva **TABLA IX** y carga muerta **TABLA X**, se puede obtener estas cargas en La NEC 2015, otras cargas de PADT-REFORT. Las cargas son:

TABLA IX: Carga viva NEC

Carga viva		
Cubierta	70 kg/m ²	NEC15
Vivienda	200 kg/m ²	NEC15

Fuente: Autor

TABLA X. Carga muerta PAD-REFORT

Carga muerta		
Teja	0.21 kg/m ²	
Entablado cubierta	18 kg/m ²	PADT-REFORT
Entablado entrepiso	18 kg/m ²	PADT-REFORT
Viguetas	11 kg/m ²	PADT-REFORT
Madera	25 kg/m ²	PADT-REFORT

Fuente: Autor

La NEC brinda la combinación para diseño ultimo de carga para la vivienda es 1.2D+1.6L, realizando esta operación la vivienda posee una carga de 519kg/m².

Cálculo de áreas tributarias

Se realiza por el método de área tributarias que las cargas van a ser transmitidas a las vigas, el método se realiza por áreas rectangulares por ser un entablado unidireccional como se observa en la (Fig.80).Para calcular se aplican estas ecuaciones geométricas:

$$A_{\text{rectangulo}} = b_2 * b_1$$

Ecuación (27)

$$A_{\text{rectangulo}} = b2 * \frac{b1}{2}$$

Ecuación (28)

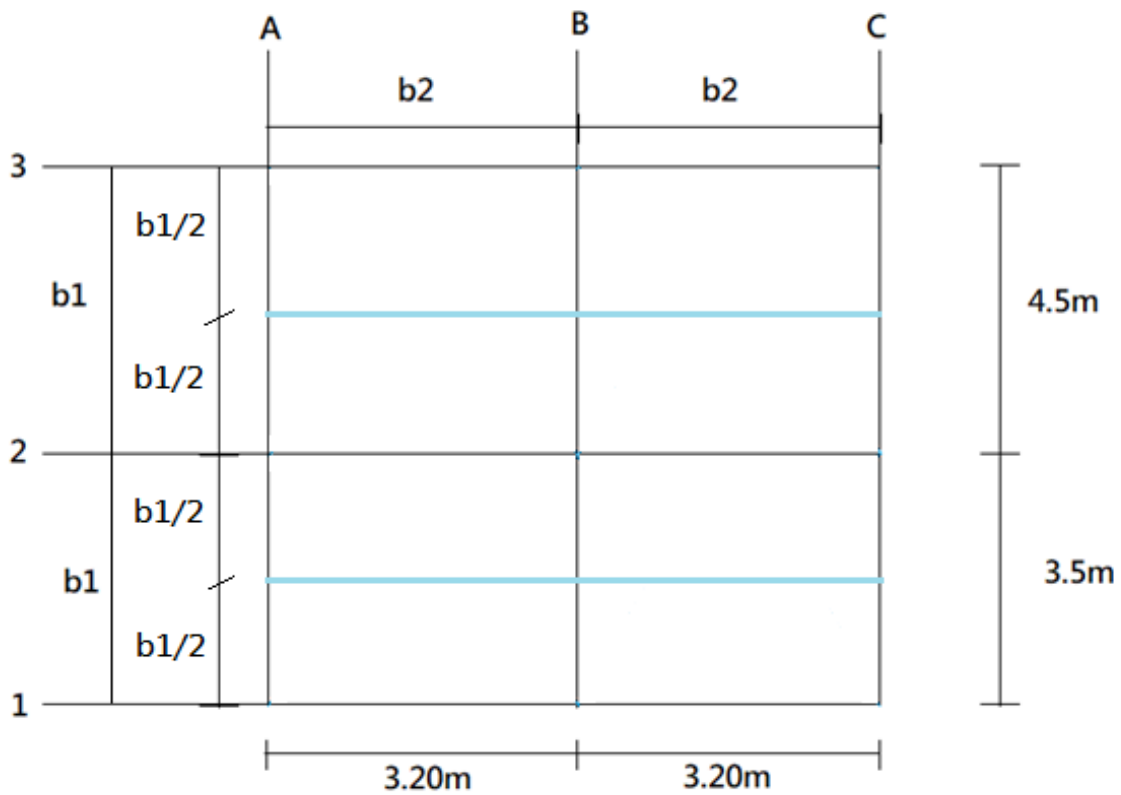


Fig. 80. Áreas tributarias

Fuente: Autor

Demostración de cálculo de un área:

- Área 1-AB

Se calcula el área del rectángulo

$$A_{rectangulo} = b2 \frac{b1}{2}$$

$$A_{triangulo} = (3.2) \frac{3.5}{2}$$

$$A_{triangulo} = 5.6m^2$$

Con la demostración anterior se va realizando para todas las áreas teniendo como resultado en la siguiente **TABLA XI** :

TABLA XI. Resultados de Áreas tributarias

Tramo	Áreas m ²
1-AB	5.6
2-AB	12.8
3-AB	7.2
1-BC	5.6
2-BC	12.8
3-BC	7.2

Fuente: Autor

Distribución de cargas a vigas principales

La plataforma de madera está conformada por elementos lineales, por una parte, el entablado que recibe directamente las cargas de uso, en general uniformemente distribuida, en segundo lugar, las viguetas donde se apoya el entablado y estas distribuyen las cargas a las vigas principales, como resultado en la **TABLA XII** (a) y (b) se expresa la carga en cada viga:

TABLA XII. Cargas Distribuidas en Vigas

Carga Cubierta (a)		Carga entre piso (b)	
Viga	kg	Viga	kg
1-AB	120.4	1-AB	281.3
2-AB	221.8	2-AB	518.3

3-AB	101.4	3-AB	237.0
1-BC	120.4	1-BC	281.3
2-BC	221.8	2-BC	518.3
3-BC	101.4	3-BC	237.0
A-12	132.9	A-12	310.5
A-23	170.8	A-23	399.2
B-12	265.7	B-12	620.9
B-23	341.7	B-23	798.3
C-12	132.9	C-12	310.5
C-23	170.8	C-23	399.2

Fuente: Autor

Distribución de cargas a las columnas

Las cargas que transmiten las vigas son transportadas a las columnas de ahí a las zapatas y terminan en el suelo, en este caso como es una vivienda de dos pisos las cargas que transmite la cubierta va transportar a las vigas y a las columnas, posteriormente se sumaran las cargas de las columnas antes mencionadas a las columnas del entrepiso para obtener la carga total que debe resistir esa columna, a continuación en la **TABLA XIII** (a) y (b), se observa los resultados de las cargas en de las columnas de la cubierta y columnas de entrepiso.

TABLA XIII. Distribución de cargas en las columnas

Carga de cubierta (a)		Carga entre piso (b)	
Columna	Carga kg	Columna	
1-A	425	1-A	1419
1-B	850	1-B	2837
1-C	492	1-C	1485
2-A	972	2-A	2413
2-B	1944	2-B	6174
2-C	1038	2-C	3309
3-A	547	3-A	1824
3-B	1093	3-B	3648
3-C	547	3-C	1824

Fuente: Autor

Diseño de vigas

Obtenido la carga que actúa en cada viga de la **TABLA XII** se procede a diseñar la sección que va resistir la carga en dicho elemento, a continuación, el procedimiento de análisis de viga 1-AB:

- Realización de momentos máximos y cortante máximo

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wL^2}{8} = \frac{(281.35)(3,2)^2}{8} = 360.12kg.m$$

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{wL}{2} = \frac{281.35 \times 3.2}{2} = 450kg$$

- Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de la madera a emplear en este caso es madera pino contiene los siguientes datos extraídos de la, **TABLA II** y **III**:

$$E_{min}=5500kg/cm^2$$

$$f_m=100kg/cm^2$$

$$f_v=8kg/cm^2$$

$$f_c \text{ perpendicular}=15kg/cm^2$$

- Momento de inercia, por limitación de deflexiones, en este caso la vivienda no posee cielo raso de yeso aplicando $k=250$ y 350 se obtiene lo siguiente:

$$k = 250, I > \frac{5wL^3k}{384E} = \frac{5 \times 281.34(320)^3 \times 250}{384 \times 100 \times 55000} = 5456cm^4$$

$$k = 350, I > \frac{5wL^3k}{384E} = \frac{5 \times 281.34(320)^3 \times 350}{384 \times 100 \times 55000} = 7639cm^4$$

Se considera la mayor inercia entre los dos que es $I_{necesario}=7639cm^4$

- Módulo de sección Z necesario para la resistencia

$$Z > \frac{M_{m\acute{a}x}}{f_m} = \frac{360.12 \times 100}{100} = 360 \text{ cm}^3$$

- Escogemos la sección que satisface los requerimientos para módulo de Z y momento de inercia, también se puede emplear las secciones recomendables por PAD-RESORT que se observa en el **ANEXO 4**.

Obteniendo la sección 15cmx25cm debe satisfacer estos requisitos:

- ✓ Z necesario debe ser menor al Z de la sección empleada
- ✓ I necesario debe ser menor al I de la sección empleada

$$Z_{necesario} = 360 \text{ cm}^3 < Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \times 25^2}{6}$$

$$Z_{necesario} = 360 \text{ cm}^3 < Z = 1562.5 \text{ cm}^3 \text{ (Cumple)}$$

$$I_{necesario} = 1562.5 \text{ cm}^4 < I = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \times 25^3}{12}$$

$$I_{necesario} = 1562.5 \text{ cm}^4 < I = 19531.25 \text{ cm}^4 \text{ (Cumple)}$$

- Verificación del esfuerzo a cortante

Se verifica mediante lo siguiente:

$$V_h = V_{m\acute{a}x} - wh = 450 - (281.35)(0.25) = 379.82 \text{ kg}$$

$$\text{Esfuerzo cortante} = \frac{1.5V_h}{bh} = \frac{1.5 \times 379.82}{15 \times 25} = 1.9 \text{ kg/cm}$$

Donde mi esfuerzo cortante es menor a su esfuerzo admisible de cortante paralelo en dirección a sus fibras, el tipo de madera empleada es pino se encuentra en el grupo C tiene un esfuerzo de 8kg/cm², ver **TABLA VI**.

Por lo tanto: $F_v < f_v$

$$1.90\text{kg/cm}^2 < 8\text{kg/cm}^2 \text{ (Cumple)}$$

- En caso de que no cumpla la sección se vuelve a rediseñar con otras medidas estándares hasta que cumpla los requerimientos solicitados. A continuación, se presenta en la **TABLA XIV** (a) y (b) las secciones de cada viga diseñada:

TABLA XIV. Secciones de vigas diseñadas

Vigas del segundo piso (a)				Vigas entre piso (b)			
Viga	Sección		Cumple	Viga	Sección		Cumple
	b	h			b	h	
1-AB	15	25	SI	1-AB	15	25	SI
2-AB	15	25	SI	2-AB	15	25	SI
3-AB	15	25	SI	3-AB	15	25	SI
1-BC	15	25	SI	1-BC	15	25	SI
2-BC	15	25	SI	2-BC	15	25	SI
3-BC	15	25	SI	3-BC	15	25	SI
A-12	15	25	SI	A-12	15	25	SI
A-23	15	25	SI	A-23	15	25	SI
B-12	15	25	SI	B-12	15	25	SI
B-23	15	25	SI	B-23	15	25	SI
C-12	15	25	SI	C-12	15	25	SI
C-23	15	25	SI	C-23	15	25	SI

Fuente: Autor

Diseño de columnas

Obtenido la carga que actúa en cada columna de la **TABLA XIII** se procede a diseñar la sección que va resistir la carga en dicho elemento de columna 1-A:

- **Identificar tipo de apoyo**

Como en este caso se diseña la columna 1-A de ejemplo se posee condición de apoyo 3 de la tabla del **ANEXO 3** de condición de apoyo de columnas de madera, por ello tiene los siguiente:

$$k=1.5$$

$$L_{ef}=k.L$$

$$L_{ef}= (1.5)(2.4)=3.6m$$

Esfuerzos admisibles, módulo de elasticidad y C_k se emplea en este caso a madera pino contiene los siguientes datos extraídos del, **TABLA II** y **TABLA III**:

$$E_{min}=55000kg/cm^2$$

$$f_c \text{ paralela}=80kg/cm^2$$

Para la obtención del C_k se necesita aplicar la siguiente ecuación:

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{80}} = 18.42$$

- Selección de sección de columna en este caso 15x15xm con un Área de 225cm²
- **Cálculo de esbeltez**

Utilizando la ecuación 8 se obtiene:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{d} = \frac{360}{15} = 24$$

Por lo tanto, se clasifica la columna según su esbeltez con las siguientes condiciones:

Columnas Cortas $\lambda < 10 = 24 < 10$ (No cumple)

Columnas Intermedias $10 < \lambda < Ck = 10 < 24 < 18.42$ (No cumple)

Columnas Largas $Ck < \lambda < 50 = 18.42 < 24 < 50$ (Si Cumple)

- **Carga Admisible**

Aquí se verifica si la sección cumple, según su esbeltes la clasificación es una columna larga, a continuación, su comprobación:

$$N_{adm} = 0.329 \frac{EA}{\lambda^2} = 0.329 \frac{(55000)(225)}{(24)^2} = 7068.4kg$$

Comprobando que N_{adm} sea mayor a la carga de diseño se presenta así:

$$N_{adm} > W_{columna}$$

$$7068.4 kg > 1418.6kg \quad (\text{Si cumple})$$

Por lo tanto, la sección 15x15cm cumple con el diseño.

En caso de que no cumpla la sección se vuelve a rediseñar con otras medidas de secciones hasta que cumpla los requerimientos solicitados. A continuación, se presenta en la **TABLA XV** las secciones de cada columna diseñada:

TABLA XV. Secciones de columnas diseñadas

Columnas de Segundo piso (a)			Columnas entre piso (b)				
Columna	Sección		Cumple	Columna	Sección		Cumple
	b	h			b	h	
1-A	15	15	SI	1-A	15	15	SI
1-B	15	15	SI	1-B	15	15	SI
1-C	15	15	SI	1-C	15	15	SI
2-A	15	15	SI	2-A	15	15	SI
2-B	15	15	SI	2-B	15	15	SI
2-C	15	15	SI	2-C	15	15	SI
3-A	15	15	SI	3-A	15	15	SI
3-B	15	15	SI	3-B	15	15	SI
3-C	15	15	SI	3-C	15	15	SI

Fuente: Autor

- **Diseño de la unión**

El diseño de conexión se considera sistema de tornillos tirafondos que son aptos para la madera. Para su diseño se necesita hacer un análisis del pórtico de la vivienda y obtener sus momentos flectores y cortante que se realiza por el método de Cross. Como se está tomando el ejemplo de viga 1-AB y columna 1-A, se toma el pórtico frontal para el diseño de conexión del nudo 1-A, los valores obtenidos en la (Fig.81).

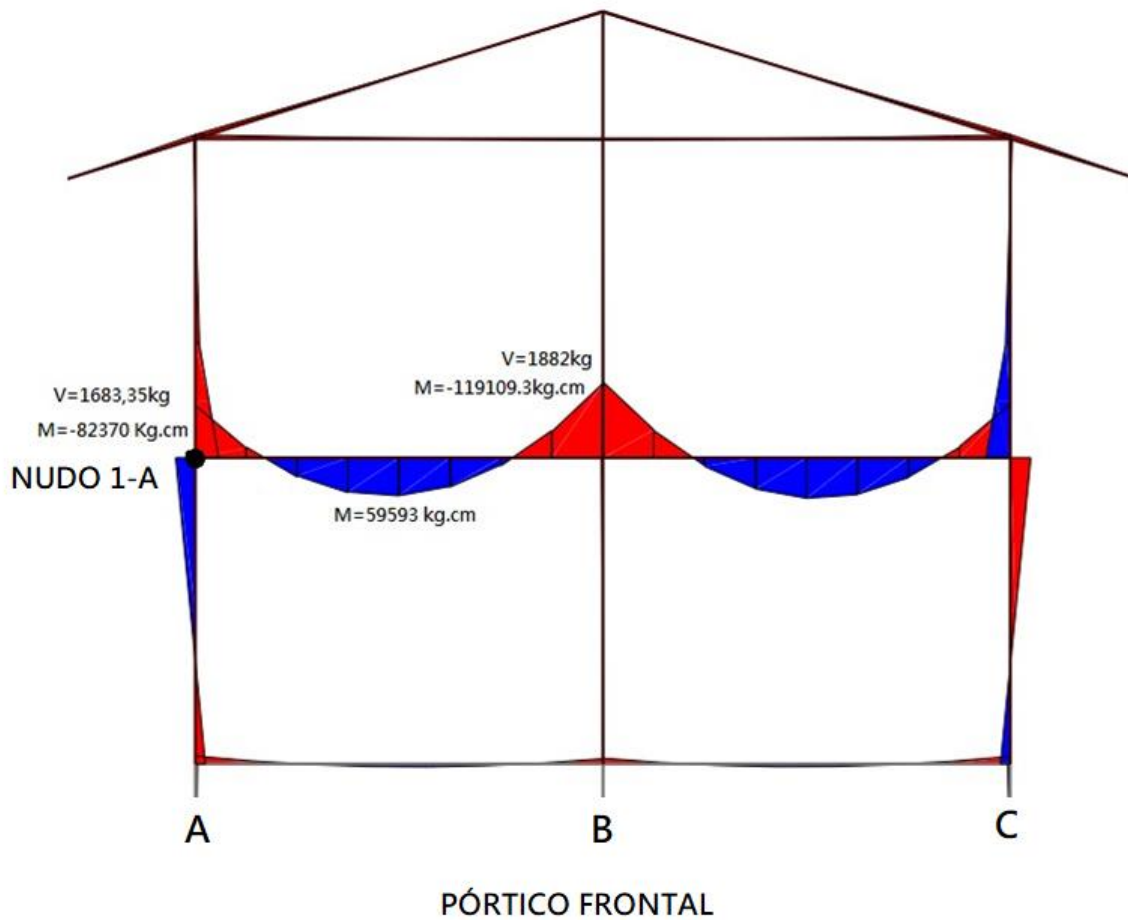


Fig. 81. Pórtico frontal de la vivienda

Fuente: Autor

Es necesario analizar el pórtico más desfavorable ya que es el que más cargas se distribuye y soporta, en base a este pórtico se diseñan las secciones de vigas, columnas y conexiones. A continuación, el diseño de los tornillos que van a implantarse en la conexión antes mencionada.

Los datos en el nudo son:

$$V=1683.35\text{kg}$$

$$D= 12\text{mm (Diámetro del tronillo)}$$

$\gamma = 0.40$ en su conservación para todas las maderas.

Utilizando la ecuación 18 para resolver el tornillo a cortante con un diámetro de 12mm se obtiene:

$$P = 3.75\gamma D^2(Kg)$$

$$P = 3.75(0.40)(12)^2(Kg)$$

$$P = 216kg$$

Para el número de tornillo que necesita en la unión es:

$$\text{Numero de tornillos} = \frac{V_{cortante}}{P \text{ carga del tornillo}} = \frac{1683.35}{216} = 7.79$$

Como sale un valor de 7.79 tornillos lo redondeamos a 8 tornillos que es el número que se utiliza para la conexión. Por lo tanto, se utilizará 8 tornillos de 12mmx60mm ya que la sección determinada de viga es de 15x25cm y columna es de 15x15cm. La longitud del tornillo debe ser mayor a la mitad de sección donde se desee atornillar. La separación de tornillos se muestra en la (Fig.81).

5.3 Diseño de conector tipo placa de acero

Un conector de placa de acero con conexión simple ayudara a la unión entre viga y columna, se diseña para resistir el corte y flexión.

- Diseño a flexión

Se plantea las dimensiones de la placa que deben ser menor o igual a la sección de la viga, en este caso se plantea una de 300x200mm y se verifica si esta cumple, la sección de la viga posee una altura de 250mm y es donde va estar ubicada mi placa con una base de 300mm y altura de 200mm, ver (Fig.80).

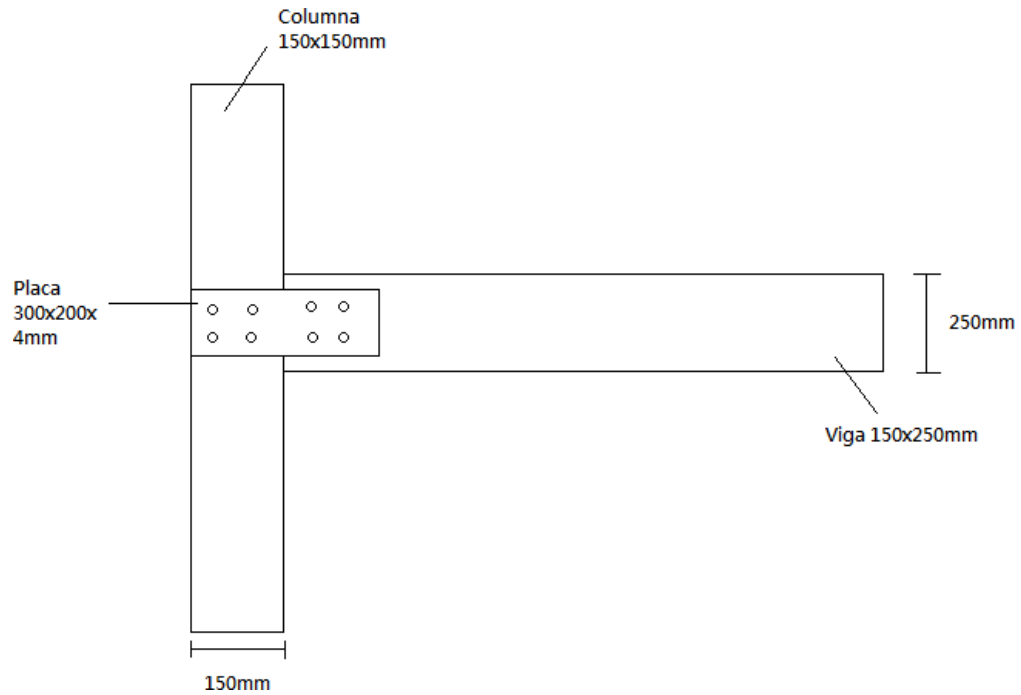


Fig. 82. Ubicación y conexión placa de acero nudo 1-A

Fuente: Autor

Datos:

$b=30\text{cm}$

$h=20\text{cm}$

$M=82370\text{kg.cm}$

$\sigma=2530\text{kg/cm}^2$

Verificación de la sección cumple tenemos:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(30)(20)^3}{12} = 20000\text{cm}^4$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{(82370)(10)}{20000}$$

$$2,530\text{kg/cm}^2 \leq 41\text{kg/cm}^2 \text{ (Cumple)}$$

Como se puede observar la sección dada cumple, ya que su esfuerzo es menor al esfuerzo de 2530 kg/cm², en caso que el esfuerzo sea mayor al esfuerzo del acero se debe plantear otra sección.

- **Diseño a cortante**

Se necesita diseño a cortante en la unión, por ello se desea obtener el espesor de la placa aplicando lo siguiente:

Datos:

$$V=1683.35\text{kg}$$

$$b=20\text{cm}$$

$$A=600\text{cm}^2$$

$$\sigma=2530\text{kg/cm}^2$$

$$V_{cortante} = A \cdot \sigma$$

$$A = b \cdot e$$

$$e = \frac{V_{cortante}}{b \cdot \sigma}$$

$$e = \frac{1683.35}{(20)(2530)}$$

$$e = 0.03\text{cm} = 0.3\text{mm}$$

Como se puede observar su espesor es de 0.3mm, la norma me plantea que como espesor mínimo se debe usar una de 4mm, por lo tanto, se utiliza este criterio.

5.4 Grafica de la conexión

Se detalla la conexión con los resultados antes obtenidos dando como resultado la unión viga-columna del nudo 1-A se muestra en la (Fig.83)

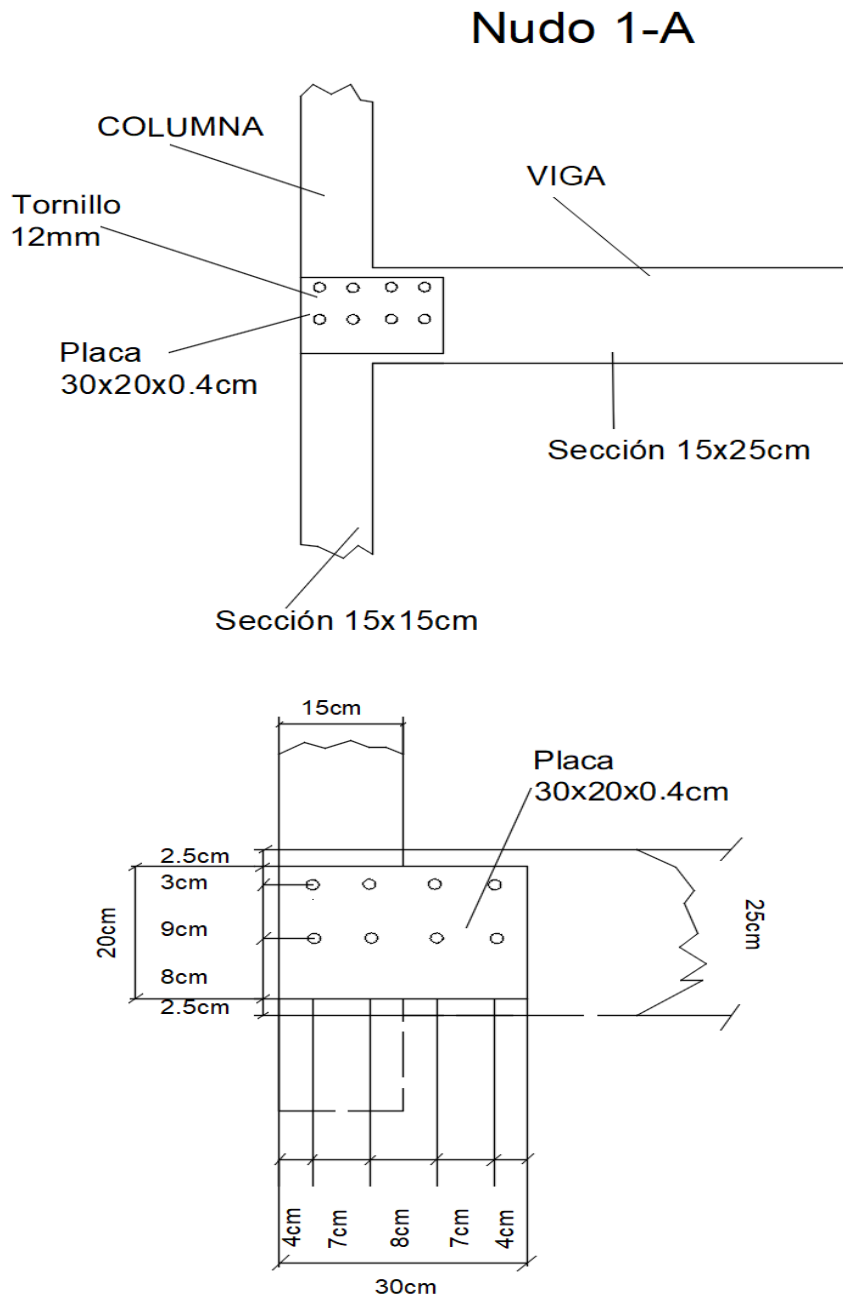


Fig. 83.Detalle de conexión placa de acero, tornillos en la unión 1-A.

Fuente: Autor

5.5 Resultados de comparación conexiones de vivienda

Realizando los respectivos diseños mediante la normativa se obtiene que la vivienda en construcción posee secciones de 10x10cm en sus vigas y no son aptas ya que no cumplen ningún criterio, pueden fallar a flexión y corte, en la **TABLA XVI** se observa las secciones de las vigas, por otro lado, las secciones con las que se debió usar para la construcción y que cumplen con los criterios son los que se observa en la **TABLA XVII**.

TABLA XVI. Sección de vigas

Vigas del segundo piso (a)				Vigas entre piso (b)			
Viga	Sección		Cumple	Viga	Sección		Cumple
	b	h			b	h	
1-AB	10	10	NO	1-AB	10	10	NO
2-AB	10	10	NO	2-AB	10	10	NO
3-AB	10	10	NO	3-AB	10	10	NO
1-BC	10	10	NO	1-BC	10	10	NO
2-BC	10	10	NO	2-BC	10	10	NO
3-BC	10	10	NO	3-BC	10	10	NO
A-12	10	10	NO	A-12	10	10	NO
A-23	10	10	NO	A-23	10	10	NO
B-12	10	10	NO	B-12	10	10	NO
B-23	10	10	NO	B-23	10	10	NO
C-12	10	10	NO	C-12	10	10	NO
C-23	10	10	NO	C-23	10	10	NO

Fuente: Autor

TABLA XVII. Sección de vigas

Vigas del segundo piso (a)				Vigas entre piso (b)			
Viga	Sección		Cumple	Viga	Sección		Cumple
	b	h			b	h	
1-AB	15	25	SI	1-AB	15	25	SI
2-AB	15	25	SI	2-AB	15	25	SI
3-AB	15	25	SI	3-AB	15	25	SI
1-BC	15	25	SI	1-BC	15	25	SI
2-BC	15	25	SI	2-BC	15	25	SI
3-BC	15	25	SI	3-BC	15	25	SI
A-12	15	25	SI	A-12	15	25	SI
A-23	15	25	SI	A-23	15	25	SI
B-12	15	25	SI	B-12	15	25	SI
B-23	15	25	SI	B-23	15	25	SI
C-12	15	25	SI	C-12	15	25	SI
C-23	15	25	SI	C-23	15	25	SI

Fuente: Autor

Continuando se evaluó también las secciones de 10x10cm de las columnas dando como resultado que no son aptas no cumplen con los criterios de diseño y esta pueden fallar a flexión y compresión, en la **TABLA XVIII** se observa las secciones de las columnas, por otro lado, las secciones con las que se debió usar para la construcción y que cumplen con los criterios son los que se observa en la **TABLA XIX**.

TABLA XVIII. Secciones de columnas

Columnas de Segundo piso (a)			Columnas entre piso (b)				
Columna	Sección		Cumple	Columna	Sección		Cumple
	b	h			b	h	
1-A	10	10	NO	1-A	10	10	NO
1-B	10	10	NO	1-B	10	10	NO
1-C	10	10	NO	1-C	10	10	NO
2-A	10	10	NO	2-A	10	10	NO
2-B	10	10	NO	2-B	10	10	NO
2-C	10	10	NO	2-C	10	10	NO
3-A	10	10	NO	3-A	10	10	NO
3-B	10	10	NO	3-B	10	10	NO
3-C	10	10	NO	3-C	10	10	NO

Fuente: Autor**TABLA XIX.** Secciones de columnas

Columnas de Segundo piso (a)			Columnas entre piso (b)				
Columna	Sección		Cumple	Columna	Sección		Cumple
	b	h			b	h	
1-A	15	15	SI	1-A	15	15	SI
1-B	15	15	SI	1-B	15	15	SI
1-C	15	15	SI	1-C	15	15	SI
2-A	15	15	SI	2-A	15	15	SI
2-B	15	15	SI	2-B	15	15	SI
2-C	15	15	SI	2-C	15	15	SI
3-A	15	15	SI	3-A	15	15	SI
3-B	15	15	SI	3-B	15	15	SI
3-C	15	15	SI	3-C	15	15	SI

Fuente: Autor

La conexión que presenta la vivienda en el nudo 1-A no está basado en ninguna norma o criterio de diseño, la unión presenta un atiesador de acero de 60x60x0.3cm y con 6 tornillos de tirafondos de 10mm ver (Fig.84), este tipo de conexión se realizó para estabilizar la vivienda ya que al principio se instaló clavos, pero presentaba movimiento en su estructura causado por el viento, peso propio de la vivienda y de las personas, se colocó este atiesador para reforzar en las uniones y posterior se implanto viguetas y longitudinales, con esto la vivienda dejo de presentar movimientos pero eso no le libra de que sufra algún altercado en un futuro por una fuerza mayor.



Fig. 84. Conexión con atiesador nudo 1-A

Fuente: Autor

Por otro lado, aplicando las normas, criterios de diseño y especificaciones mínimas en el nudo 1-A, presenta un diseño de placa de acero de 30x20x0.4cm con 8 tornillos tirafondos de 12x70mm, los cuales resistirán, los cortantes, momentos y cargas axiales en la unión, en la (Fig.85) se presenta la unión ente viga y columna:

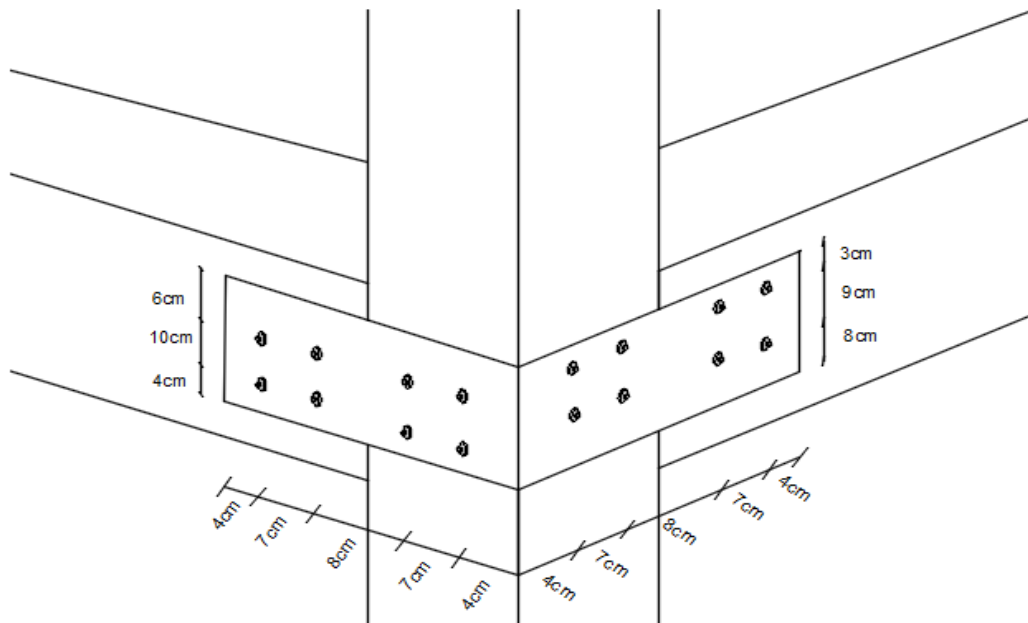
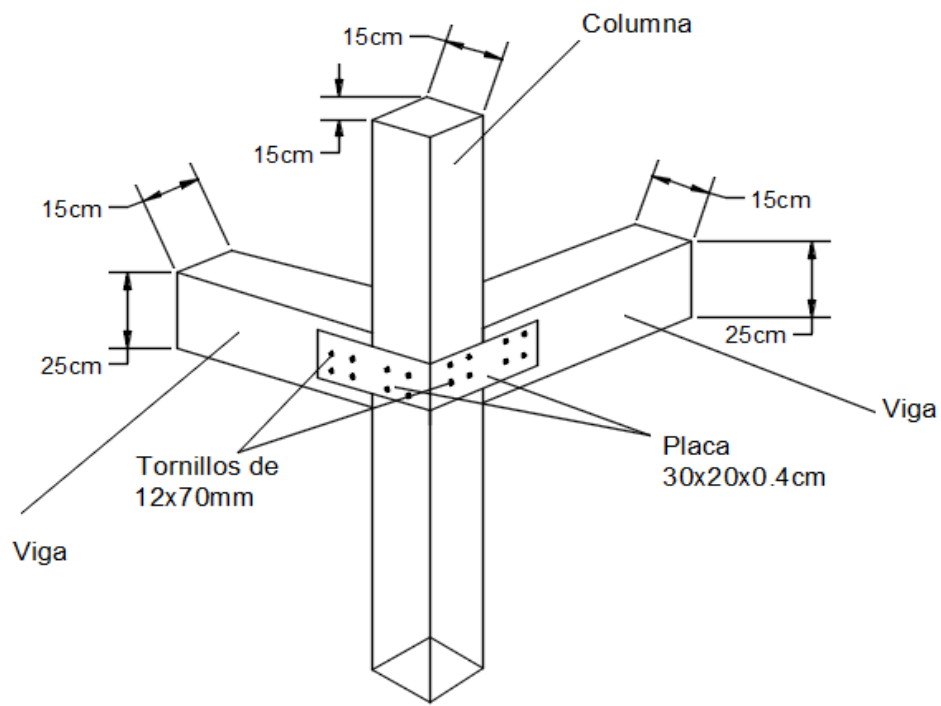


Fig. 85. Conexión placa de acero del nudo 1-A

Fuente: Autor

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Los estudios desarrollados referentes a conexiones de madera han ido evolucionando conforme pasan los años, en base a que se construyen edificios de dos, tres o más pisos donde se requiere conexiones más resistentes, donde poseen grandes luces, mayores cargas y afectan otras fuerzas de la naturaleza. Para ello los ingenieros han contribuido metodologías y ensayos para obtener una mejor unión en elementos de madera, porque construir en madera es un reto y de mucha paciencia.
- Actualmente se realizó una encuesta en varias viviendas construidas de madera en la ciudad de Azogues donde como resultado se obtuvo que la madera más notable para construcción es de tipo Pino por el motivo que existen secciones considerables para la construcción, por otra parte, la madera que sigue detrás es la de Eucalipto, esta no utilizan para construcción estructural ya que no existen muchos arboles grandes y gruesos para obtener las secciones de diseño, sino para construcción de cubiertas en madera.
- A pesar que nos encontramos en el año 2021 las viviendas modernas en la Ciudad aún siguen implementando la unión con clavos que se realizaban en las viviendas patrimoniales, no implementan otros tipos como tornillos, pernos y conectores de metal que ayudan a obtener una mayor resistencia en una conexión de madera, estas viviendas siguen construyéndose en base a una experiencia de un maestro o carpintero sin ningún criterio de diseño aplicando normativa del país y también sin ningún plano arquitectónico y mucho más importante un plano estructural.

- En lo que respecta la vivienda de madera construida en el sector Chavay alto, cuando se realizó el análisis de las secciones que presenta 10x10cm tanto en vigas como columnas, estas no cumplen en base al diseño que presenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción de madera, por lo tanto esas secciones pueden algún momento sufrir fallas en algunos elementos y presentar daños en la vivienda, se realizó un nuevo diseño y como resultado se obtuvo que en las vigas obtienen una sección de 15x25cm y en columnas de 15x15cm este diseño son aptos para la vivienda.
- Las conexiones presentes en la Vivienda Dúplex de madera ubicada en el sector de Chavay alto, poseen muchos tipos de sistemas entre ellos están clavos, pernos, varillas y hasta conectores tipo ariestadores, esto manifiesta a que la vivienda presenta inestabilidad, por ello han empleado muchas formas de unión, reforzamiento y esto refleja la falta de conocimiento y sobre todo que no está realizada en base a criterios de diseño, por lo tanto, puede observar el rediseño empleando normativa, criterios y como debe ser conectados los tornillos y placa de acero.
- Se presenta una guía para realizar la conexión de madera tipo placa de acero y tornillo que es uno de los tantos tipos existentes, pero se empleó este porque es uno de los más accesibles a nuestro medio, la vivienda permitió servir como ejemplo práctico dando a conocer los errores comúnmente realizados sin normativa y como se debe utilizar empleando la misma, por otro lado, también dando a conocer que se puede emplear una conexión diferente que las tradicionales.

6.2 Recomendaciones

- Tener en cuenta los grupos en las cuales las maderas están distribuidas ya que estas se pueden encontrar en el grupo A,B o C, las cuales presentan diferentes características y propiedades físicas para el diseño estructural.
- Diseño de conexión aplicando todas las normas y criterios de diseño.
- Tener presente la dirección de las fibras para realizar la distribución de los tornillos ya que no es lo mismo cuanto la fibra está en perpendicular o paralela.
- Se recomienda diseñar en madera al 30% de humedad ya que permite realizar una adecuada perforación del material para incrustación de tornillos, si se lo realiza en madera seca esta puede agrietarse y dañar el elemento.

Referencias

- 1] [D. Enríquez, «Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2014.
- 2] [F. Fernández y R. Echenique, Estructuras de Madera, Primera ed., México: Editorial Limusa, 1986.
- 3] [D. Robertson, Arquitectura Griega y Romana, Madrid: Editorial Cátedra, 1985.
- 4] [J. Kinoshita y N. Palevsky, Gateway to Japan (Kodansha Guide), Tokio: Kodansha International, 1998.
- 5] [L. Pozza, «Vicenza report,» Quotidiano online di Vicenza e provincia, 28 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.vicenzareport.it/2018/10/allerta-maltempo-chiuso-il-ponte-di-bassano/>. [Último acceso: 28 Octubre 2018].
- 6] [BEC, «La casa de madera más antigua de Europa está en Suiza,» EGURTEK, 8 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://egurtek.bilbaoexhibitioncentre.com/la-casa-madera-mas-antigua-europa-esta-suiza/>. [Último acceso: 22 mayo 2021].
- 7] [«Café Versatil,» Brico y Deco, 7 julio 2021. [En línea]. Available: <https://cafeversatil.com/bricoydeco/casas-modernas/>. [Último acceso: 22 agosto 2021].
- 8] [Junta del Acuerdo de Cartagena, Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, Lima: Carvajal G.R, 1984.
- 9] [Norma Ecuatoriana de la Construcción, Estructuras de madera, Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014.
- 10] [P. Espinosa, D. Proaño, L. Barrera, E. Arpi, A. Ugalde, I. Lazo, J. Morejón, M. Palacios y A. Crespo, Catálogo de madera estructural del Ecuador, Cuenca: Universidad del Azuay, 2018.
- 11] [American Institute of Steel Construction, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago: AISC, 2016.
- 12] [J. McCormac y S. Csernak, Diseño de estructura de acero, Quinta ed., México DF: Alfaomega Grupo Editor, 2012.
- 13] [R. Dannemann, Manual de Ingeniería de Steel Framing, Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero, 2012.
- 14] [R. Argüelles, Uniones: Un reto para construir con madera, Madrid: Real Academia de Ingeniería, 2010.

- 15] [K. Colonias y T. Kingsfather, Guía de productos: Sistemas anclaje y sujeción, Pleasanton: Simpson Strong-Tie Company, 2015.
- 16] [Imporpernos, «Norma ASTM A490,» Importadora de pernos IMPORPERNOS, 22 agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.imporpernos.com/blog/norma-astm-a490>. [Último acceso: 3 Septiembre 2021].
- 17] [P. Vuh, «Madera Aserrada Estructural,» Consejo Superior de de Colegio de Arquitectos de España, 15 junio 2015. [En línea]. Available: http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro/35%20Madera%20aserrada%20estructural.pdf.
- 18] [EDEM, Tecnologías de la madera aplicadas al diseño de estructuras, s.f.
- 19] [F. Arriaga, G. Íñiguez, M. Herrero, R. Arguelles y J. Fernández Cabo, Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera, Madrid: MADERIA. Sociedad Española de la Madera, 2011.

ANEXOS

ANEXO 1.

TABLA I. Maderas estructurales del Ecuador

Especies de Madera Estructurales del Ecuador			
Nombre Científico	Nombre Comercial	Ubicación	Mapa
<i>Albiza guachapele</i>	Guachapelí	Esmeraldas, Manabí, Guayas, Los Ríos, El Oro, Sucumbíos, Napo	
<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	Esmeraldas, Manabí, Guayas, Pichincha, Cotopaxi, Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Cedrelinga Cateniformis</i>	Ducke	Sucumbios, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Centrolobium ochroxylum</i> Rose ex Rudd	Amarillo	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, Cañar, Loja	
<i>Chimarrhis glabriflora</i> Ducke	Jicopo	El Oro, Morona Santiago,	
<i>Chrysophyllum cainito</i> L	Yaso	Morona Santiago	
<i>Cinnamomun camphora</i> (L) J. Presl	Alcanfor	Pichincha, Azuay, Morona Santiago	
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Pituca	Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Sucumbios, Napo, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav) Oken	Laurel de la costa	de Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, Bolívar, Cañar, Loja	
<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw. Ex Gordon	Ciprés	Pichincha, Bolívar, Azuay	
<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes) H.J Lam	Copal	Sucumbios, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	

<i>Dendrobangia boliviana</i> Ruxby	Roble	Esmeraldas, Los Ríos, Napo	
<i>Enclicheria sericea</i> Ness	Canelo	Esmeraldas, Carchi, Sucumbios, Napo, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Eridma uncinatum</i> Warm	Arenillo	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro, Cañar, Loja	
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Eucalipto	Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, Azuay	
<i>Gmelina arborea</i> Roxb	Melina	Manabí, Los Ríos	
<i>Guarea pterorhachis</i> Harms	Cedro Macho	Azuay, Sucumbios, Napo, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O. Grose	Guayacán	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay, Loja	
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemao	Mascarey	Esmeraldas, Imbabura, Pichincha, Sucumbios, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Chimborazo, Bolívar, Guayas	
<i>Humiriastrum procerum</i> (Little) Cuatrec	Chanul	Esmeraldas, Carchi	
<i>Juglans neotropica</i> Diels	Nogal	Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Napo, Bolívar, Morona Santiago, Cañar, Azuay, Loja	
<i>Juglans olanchana</i> Standl & L.O. Williams	Cedro negro	Esmeraldas, Sucumbios, Napo, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Micropholis guyanensis</i>	Abío	Sucumbios, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	Bálsamo	Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro, Los Ríos, Loja, Santa Elena, Napo, Sucumbios	

<i>Nectandra Reticulata</i> (Ruiz & Pay) Mez	Jigua	Esmeraldas, Los Ríos, El Oro, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Loja, Napó, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Nectandra</i> sp.	Laurel del oriente	Carchi, Imbabura, Napó, Zamora Chinchipe	
<i>Pinus Patula</i>	Pino	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Azuay	
<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don ex Lamb	Romerillo	Imbabura, Pichincha, Bolívar, Azuay, Loja, Zamora Chinchipe	
<i>Prunus Serotina</i> Ehrh.	Capuli	Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay	
<i>Sorocea trophoides</i> W.C. Burger	Moral	Los Ríos, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Azuay, Loja, Sucumbios, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Swietenia acrophylla</i> King	Caoba	Esmeraldas, Galápagos, Napó, Pastaza	
<i>Tectona grandis</i> L.f	Teca	Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo, Los Ríos, Guayas, Cañar, El Oro, Napó	
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F Gmel.) Exell	Yumbingue amarillo	Esmeraldas, Sucumbios, Napó, Pastaza, Carchi, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F Gmel.) Exell	Yumbingue blanco	Esmeraldas, Carchi, Sucumbios, Napó, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F Gmel.) Exell	Yumbingue negro	de Esmeraldas, Carchi, Sucumbios, Napó, Pastaza, Napó, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	
<i>Trichila</i> sp	Nacascol	Morona Santiago, Zamora Chinchipe	

<i>Trichila mastiana</i> C.DC.	Figueroa	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay, Loja	
<i>Triplaris americana</i> L	Fernán Sánchez	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay, Loja	
<i>Vitex gigantea</i> Kunth	Pechiche	Esmeraldas, Manabí, Guayas, Los Ríos, El Oro, Sucumbios, Napo, Orellana, Morona Santiago	
<i>Zanthoxylum</i> <i>riedelianum</i> Engl.	Limoncillo	Esmeraldas, Manabí, Guayas, Los Ríos, Bolívar, Napo, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	

TABLA II. Conductividad térmica de la madera y otros materiales

Material	Conductividad en Kcal/hora-m-°C
Aire	0.0216
Madera anhidra (DA=04)	0.03
Madera anhidra (DA=0.8)	0.12
Corcho	0.08
Mortero de yeso	0.3
Ladrillo	0.50-0.80
Concreto	1.15-1.40
Acero	35.00-50.00

TABLA IV. Velocidad de la propagación de ondas

Material	Densidad	Velocidad en m/se
Corcho	0.25	430-530
Madera	0.52	4760
Madera	0.69	4300
Agua	1.00	1435
Vidrio	2.50	5000-6000
Acero	7.85	5000

TABLA V. Valores para la fórmula de Hankinson.

Propiedades	n	Q/P
Tensión	1.5-2	0.04-0.07
Compresión	2-2.5	0.03-0.04
Flexión	1.5-2	0.04-0.10
Módulo de Elasticidad	2	0.04-0.12

TABLA VI. Tipos de Conexiones

Clasificación de las conexiones	
Simple	Conexiones simples
Rígido	Conexiones de momento completamente restringidas (FR)
Semi-rígido	Conexiones de momento parcialmente restringidas (FR)

ANEXO 2. Maderas Estructurales del Ecuador

- **Eucalipto**



CARACTERÍSTICAS

Altura del árbol (m)			•	30-40
Ø máximo del tronco (m)			•	1,00
Crecimiento			•	5-25m ³ /ha/año
Ø mínimo de corta (m)				0,30
Edad de corta final (años)				12-15
Costo	•			Bajo

PROPIEDADES ARQUITECTÓNICAS

Resistencia al agua		•		
Resistencia a plagas				•
Resistencia a factores externos		•		
Textura		•		Media
Brillo		•		Medio
Veteado longitudinal		•		
Veteado tangencial				•

Color: albura		Crema
Color: duramen		Crema oscuro con tintes grisáceos
Color: veteado		Café verdoso claro

Dentro de sus propiedades físicas tenemos:

- Densidad (kg/m³)
827,04
- Módulo de Elasticidad principal
209666,91
 $E_{0,principal}$ (kgf/cm²)
- Clase resistente
C30
- Módulo de Cortante principal
7647,9
 $G_{principal}$ (kgf/cm²)
- Resistencia a flexión $f_{m,k}$ (kgf/cm²)
305,9
- Resistencia a tracción 0 $f_{t,o,k}$ (kgf/cm²)
183,5
- Resistencia a tracción 90 $f_{t,90,k}$ (kgf/cm²)
6,1
- Resistencia a compresión 0 $f_{c,0,k}$ (kgf/cm²)
234,5
- Resistencia a compresión 90 $f_{c,90,k}$ (kgf/cm²)
27,5
- Resistencia a cortante $f_{v,k}$ (kgf/cm²)
30,6

Este tipo de madera puede usarse en:

- Estructuras
- Construcción: postes, puntales, suelos de parquet, tableros
- Ebanistería

- **Pino**

A continuación, se muestra las características, propiedades arquitectónicas y físicas, como

también su uso:

	MENOR	MEDIO	MAYOR	
CARACTERÍSTICAS				
Altura del árbol (m)			•	20-40
Ø máximo del tronco (m)			•	0,80-1,00
Crecimiento		•		Medio: 2m anual
Ø mínimo de corta (m)				0,30
Edad de corta final (años)				15-25
Costo	•			Bajo
PROPIEDADES ARQUITECTÓNICAS				
Resistencia al agua	•			Baja durabilidad
Resistencia a plagas	•			Muy susceptible
Resistencia a factores externos		•		
Textura			•	Gruesa e irregular
Brillo	•			Bajo
Veteado longitudinal			•	
Veteado tangencial			•	
Color: albura				Blanca tendiendo a amarillo claro
Color: duramen				Rojizo claro, ligeramente rosado
Color: veteado				Café

Dentro de sus propiedades físicas tenemos:

-Densidad (kg/m^3)

614,29

-Módulo de Elasticidad principal

154965,46

$E_{0,\text{principal}}$ (kgf/cm^2)

-Clase resistente

C30

-Módulo de Cortante principal

7647,9

$G_{\text{principal}}$ (kgf/cm^2)

-Resistencia a flexión $f_{m,k}$ (kgf/cm^2)

305,9

-Resistencia a tracción 0 $f_{t,0,k}$ (kgf/cm^2)

183,5

-Resistencia a tracción 90 $f_{t,90,k}$ (kgf/cm^2)

6,1

-Resistencia a compresión 0 $f_{c,0,k}$ (kgf/cm^2)

234,5

-Resistencia a compresión 90 $f_{c,90,k}$ (kgf/cm^2)

27,5

-Resistencia a cortante $f_{v,k}$ (kgf/cm^2)

30,6

Este tipo de madera puede usarse en:

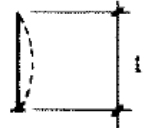
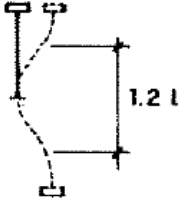
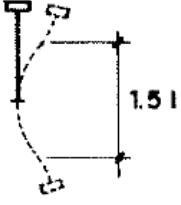
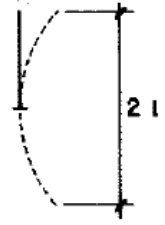
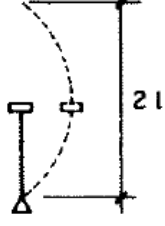
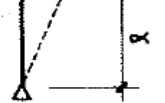
-Estructuras

-Construcción: Elementos estructurales, tableros aglomerados, contrachapados, madera laminada, vigas y chapas

-Ebanistería

ANEXO 3: Condición de apoyo de columnas de madera

LONGITUD EFECTIVA

CONDICION DE APOYO	k	l_{ef}	
1. Articulado en ambos extremos.	1	l	
2. Empotrado en un extremo (prevención del desplazamiento y rotación) y el otro impedido de rotar pero libre de desplazarse.	1.2	$1.2 l$	
3. Empotrado en un extremo y el otro parcialmente impedido de rotar pero libre de desplazarse.	1.5	$1.5 l$	
4. Empotrado en un extremo y libre en el otro.	2.0	$2 l$	
5. Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar, pero libre de desplazarse.	2.0	$2 l$	
6. Articulado en un extremo y libre en el otro.			

ANEXO 4. Secciones de vigas y columnas

PROPIEDADES DE ESCUADRIA

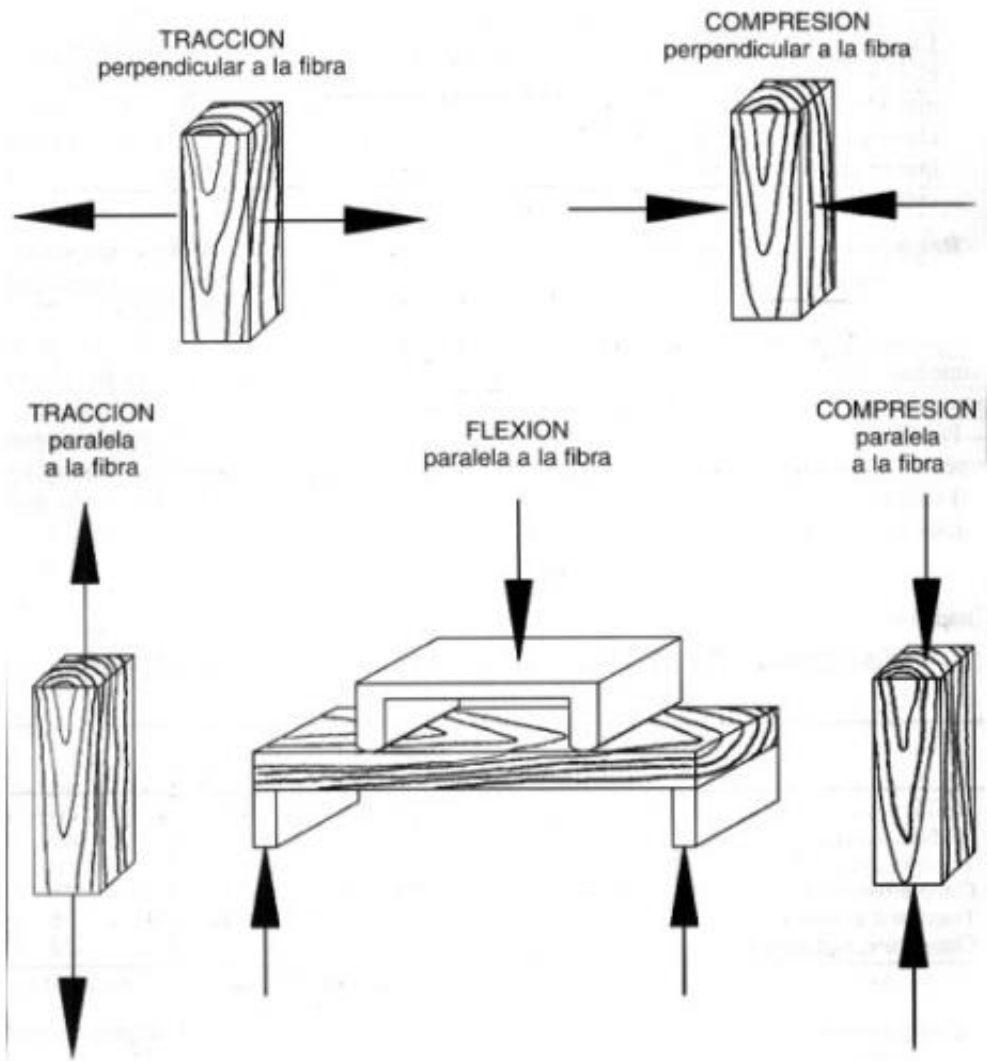
Dimensiones		Area cm ²	Eje X		Eje Y		m ³ de madera por m (**) m ³ / m	Peso por m (**)		
Real b x h cm	Equivalente Comercial b x h pulg		I _x cm ⁴	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	Z _y cm ³		Grupo		
								A kg/m	B kg/m	C kg/m
1.5 x 2	3/4 x 1	3.0	1.0	1.0	0.6	0.7	0.00048	0.33	0.30	0.27
1.5 x 4	3/4 x 2	6.0	8.0	4.0	1.1	1.5	0.00097	0.66	0.60	0.54
1.5 x 6.5	3/4 x 3	9.7	34.3	10.6	1.8	2.4	0.00144	1.07	0.97	0.88
1.5 x 9	3/4 x 4	13.5	91.1	20.2	2.5	3.3	0.00193	1.48	1.35	1.21
1.5 x 14	3/4 x 6	21.0	343.0	49.0	3.9	5.2	0.00290	2.31	2.10	1.89
1.5 x 19	3/4 x 8	28.5	857.4	90.2	5.3	7.1	0.00387	3.13	2.85	2.56
1.5 x 24	3/4 x 10	36.0	1728.0	144.0	6.7	9.0	0.00484	3.96	3.60	3.24
1.5 x 29	3/4 x 12	43.5	3048.6	210.2	8.1	10.9	0.00580	4.78	4.35	3.91
2 x 2	1 x 1	4.0	1.3	1.3	1.3	1.3	0.00064	0.44	0.40	0.36
2 x 4	1 x 2	8.0	10.7	5.3	2.7	2.6	0.00130	0.88	0.80	0.72
2 x 6.5	1 x 3	13.0	45.8	14.1	4.3	4.3	0.00193	1.43	1.30	1.17
2 x 9	1 x 4	18.0	121.5	27.0	6.0	6.0	0.00257	1.98	1.80	1.62
2 x 14	1 x 6	28.0	457.3	65.3	9.3	9.3	0.00387	3.08	2.80	2.52
2 x 19	1 x 8	38.0	1143.2	120.3	12.7	12.6	0.00517	4.18	3.80	3.42
2 x 24	1 x 10	48.0	2304.0	192.0	16.0	16.0	0.00644	5.28	4.80	4.32
2 x 29	1 x 12	58.0	4064.8	280.3	19.3	19.3	0.00774	6.38	5.80	5.22
3 x 3	1 1/2 x 1 1/2	9.0	6.7	4.5	6.7	4.5	0.00144	0.99	0.90	0.81
3 x 4	1 1/2 x 2	12.0	16.0	8.0	9.0	6.0	0.00193	1.32	1.20	1.08
3 x 6.5	1 1/2 x 3	19.5	68.6	21.1	14.6	97.5	0.00290	2.14	1.95	1.75
3 x 9	1 1/2 x 4	27.0	182.2	40.5	20.2	13.5	0.00387	2.97	2.70	2.43
3 x 14	1 1/2 x 6	42.0	686.0	98.0	31.5	21.0	0.00580	4.62	4.20	3.78
3 x 19	1 1/2 x 8	57.0	1714.7	180.5	42.7	28.5	0.00774	6.27	5.70	5.13
3 x 24	1 1/2 x 10	72.0	3456.0	288.0	54.0	36.0	0.00967	7.92	7.20	6.48
3 x 29	1 1/2 x 12	87.0	6097.3	420.5	65.2	43.5	0.01161	9.57	8.70	7.83
4 x 4	2 x 2	16.0	21.3	10.7	21.3	10.7	0.00257	1.76	1.60	1.44
4 x 6.5	2 x 3	26.0	91.5	28.2	34.7	17.3	0.00387	2.86	2.60	2.34
4 x 9	2 x 4	36.0	243.0	54.0	48.0	24.0	0.00517	3.96	3.60	3.24
4 x 14	2 x 6	56.0	914.6	130.7	74.7	37.3	0.00774	6.16	5.60	5.04
4 x 16.5	2 x 7	66.0	1497.4	181.5	88.0	49.0	0.00904	7.26	6.60	5.94
4 x 19	2 x 8	76.0	2286.3	240.6	101.3	50.7	0.01031	8.36	7.60	6.84
4 x 24	2 x 10	96.0	4808.0	384.0	128.0	64.0	0.01291	10.56	9.60	8.64
4 x 29	2 x 12	116.0	8129.7	560.6	154.7	77.3	0.01548	12.76	11.60	10.44
5 x 5	2 1/2 x 2 1/2	25.0	52.1	20.8	52.1	20.8	0.00404	2.75	2.50	2.25
5 x 6.5	2 1/2 x 3	32.5	114.4	35.2	67.7	27.1	0.00484	3.57	3.25	2.92
5 x 9	2 1/2 x 4	45.0	303.7	67.5	93.7	37.5	0.00644	4.95	4.50	4.05
5 x 14	2 1/2 x 6	70.0	1143.3	163.3	145.8	58.3	0.00967	7.70	7.00	6.30
5 x 16.5	2 1/2 x 7	82.5	1871.7	226.9	171.9	68.7	0.01128	9.07	8.25	7.42
5 x 19	2 1/2 x 8	95.0	2857.9	300.8	197.9	79.1	0.01291	10.45	9.50	8.55
5 x 24	2 1/2 x 10	120.0	5760.0	480.0	250.0	100.0	0.01612	13.20	12.00	10.80
5 x 29	2 1/2 x 12	145.0	10162.1	700.8	302.1	120.8	0.01935	15.95	14.50	13.05
6.5 x 6.5	3 x 3	42.2	148.7	45.7	148.7	45.7	0.00580	4.64	4.22	3.80
6.5 x 9	3 x 4	58.5	394.9	87.7	206.0	63.4	0.00774	6.43	5.85	5.26
6.5 x 14	3 x 6	91.0	1486.3	212.3	320.4	98.8	0.01161	10.01	9.10	8.19
6.5 x 16.5	3 x 7	107.2	2433.2	294.9	377.6	116.2	0.01354	11.30	10.72	9.65
6.5 x 19	3 x 8	123.5	3715.3	391.1	434.8	133.8	0.01548	13.58	12.35	11.11
6.5 x 24	3 x 10	156.0	7488.0	624.0	549.2	169.0	0.01935	17.16	15.60	14.04
6.5 x 29	3 x 12	188.5	13210.7	911.1	663.7	204.2	0.02322	20.73	18.85	16.96
9 x 9	4 x 4	81.0	546.7	121.5	546.7	121.5	0.01031	8.91	8.10	7.29
9 x 14	4 x 6	126.0	2058.0	294.0	850.5	189.0	0.01548	13.86	12.60	11.34
9 x 16.5	4 x 7	148.5	3361.1	408.3	1002.4	222.7	0.01808	16.33	14.81	13.34
9 x 19	4 x 8	171.0	5144.2	541.5	1154.2	256.5	0.02065	18.31	17.10	15.39
9 x 24	4 x 10	216.0	10368.0	864.0	1458.0	324.0	0.02579	23.76	21.60	19.44
9 x 29	4 x 12	261.0	18291.8	1261.0	1761.7	391.5	0.03096	28.71	26.10	23.49
14 x 14	6 x 6	196.0	3201.3	457.3	3201.3	457.3	0.02322	21.56	19.60	17.64
14 x 16.5	6 x 7	231.0	5240.8	635.2	3773.0	539.0	0.02709	25.41	23.10	20.79
14 x 19	6 x 8	266.0	8002.2	842.3	4344.7	620.6	0.03096	29.26	26.60	23.94
14 x 24	6 x 10	336.0	16128.0	1344.0	5488.0	784.0	0.03870	36.96	33.60	30.24
14 x 29	6 x 12	406.0	28453.8	1962.3	6631.3	947.3	0.04646	44.66	40.60	36.54
19 x 19	8 x 8	361.0	10860.1	1143.2	10860.1	1143.2	0.03705	39.71	36.10	32.49
19 x 24	8 x 10	456.0	21888.0	1924.0	13718.0	1444.0	0.05161	50.16	45.60	41.04
19 x 29	8 x 12	551.0	38615.9	2663.2	16575.9	1744.8	0.06194	60.61	55.10	49.59
24 x 24	10 x 10	576.0	27648.0	2304.0	27648.0	2304.0	0.06428	63.36	57.60	51.84
24 x 29	10 x 12	696.0	48778.0	3364.0	33408.0	2784.0	0.07742	76.56	69.60	62.64
29 x 29	12 x 12	841.0	58940.1	4064.8	58940.1	4064.8	0.09288	92.51	84.10	75.69

Las escuadrias con negrita refieren las secciones preferenciales.

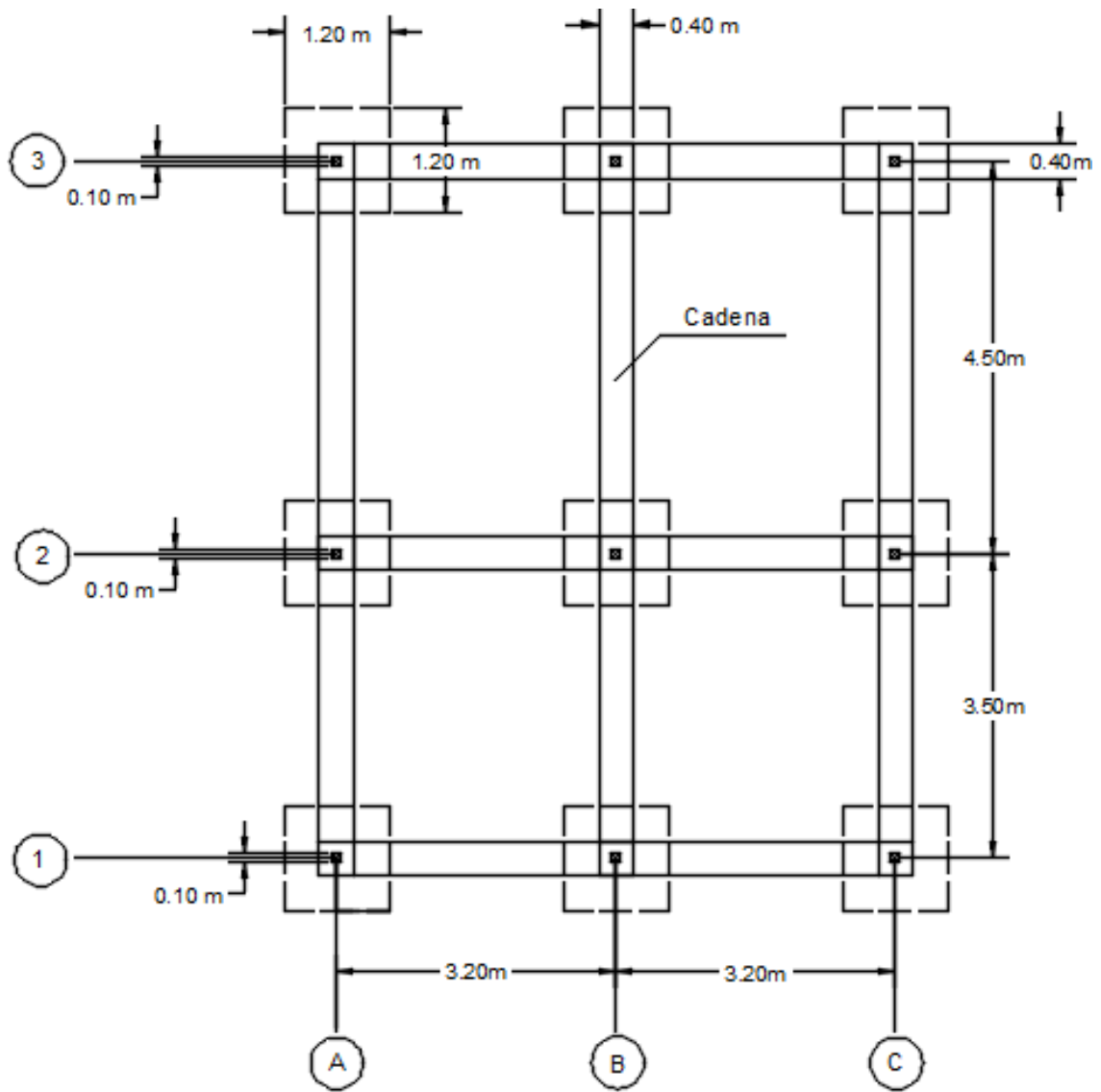
(*) Calculado con las dimensiones comerciales. 1 metro cúbico = 423.78 pies tablares.

(**) Calculado usando dimensiones reales. Peso específico 1.1 para el Grupo A, 1.0 para el Grupo B y 0.9 para el Grupo C.

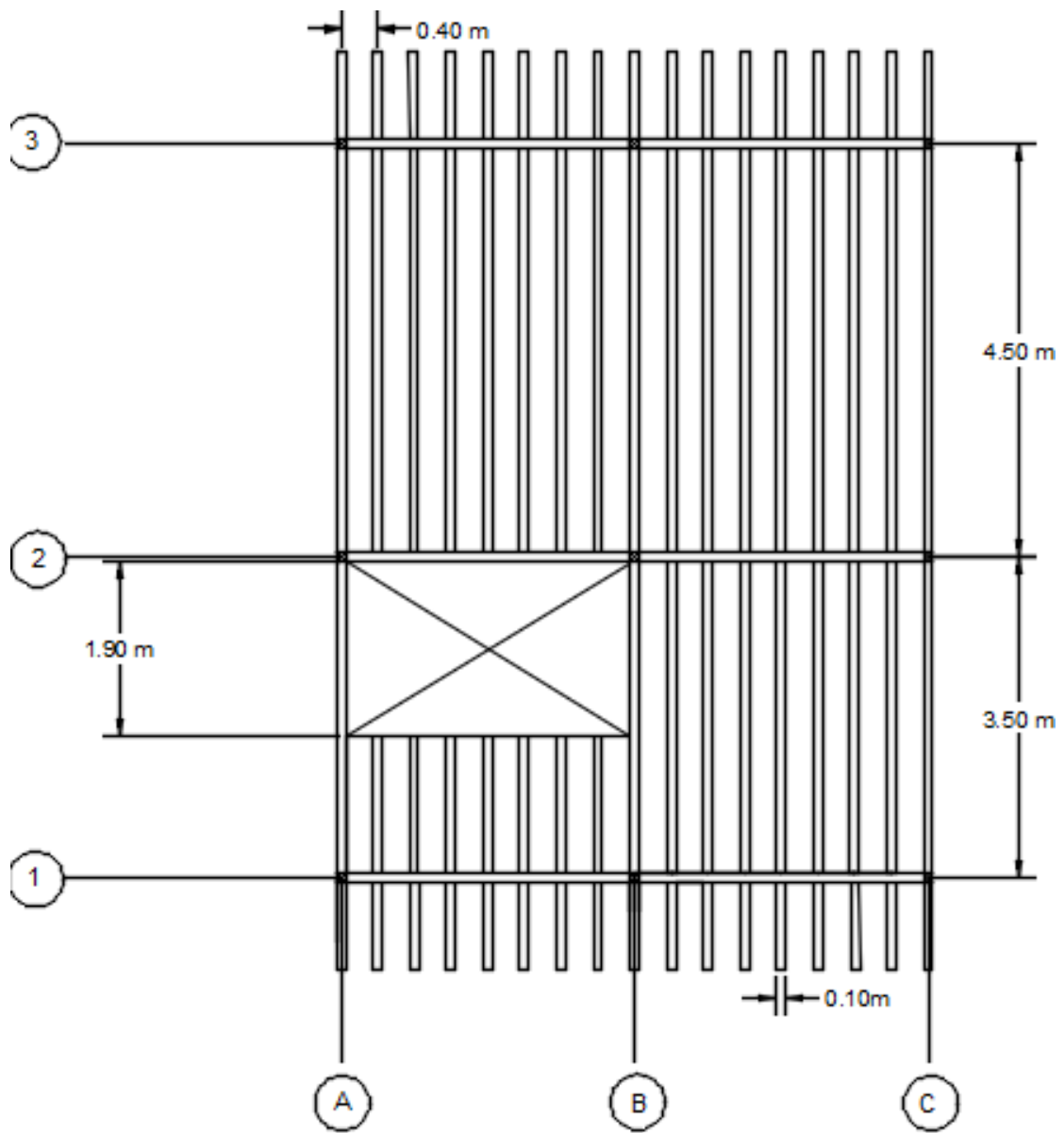
ANEXO 5. Dirección de acuerdo a las fibras



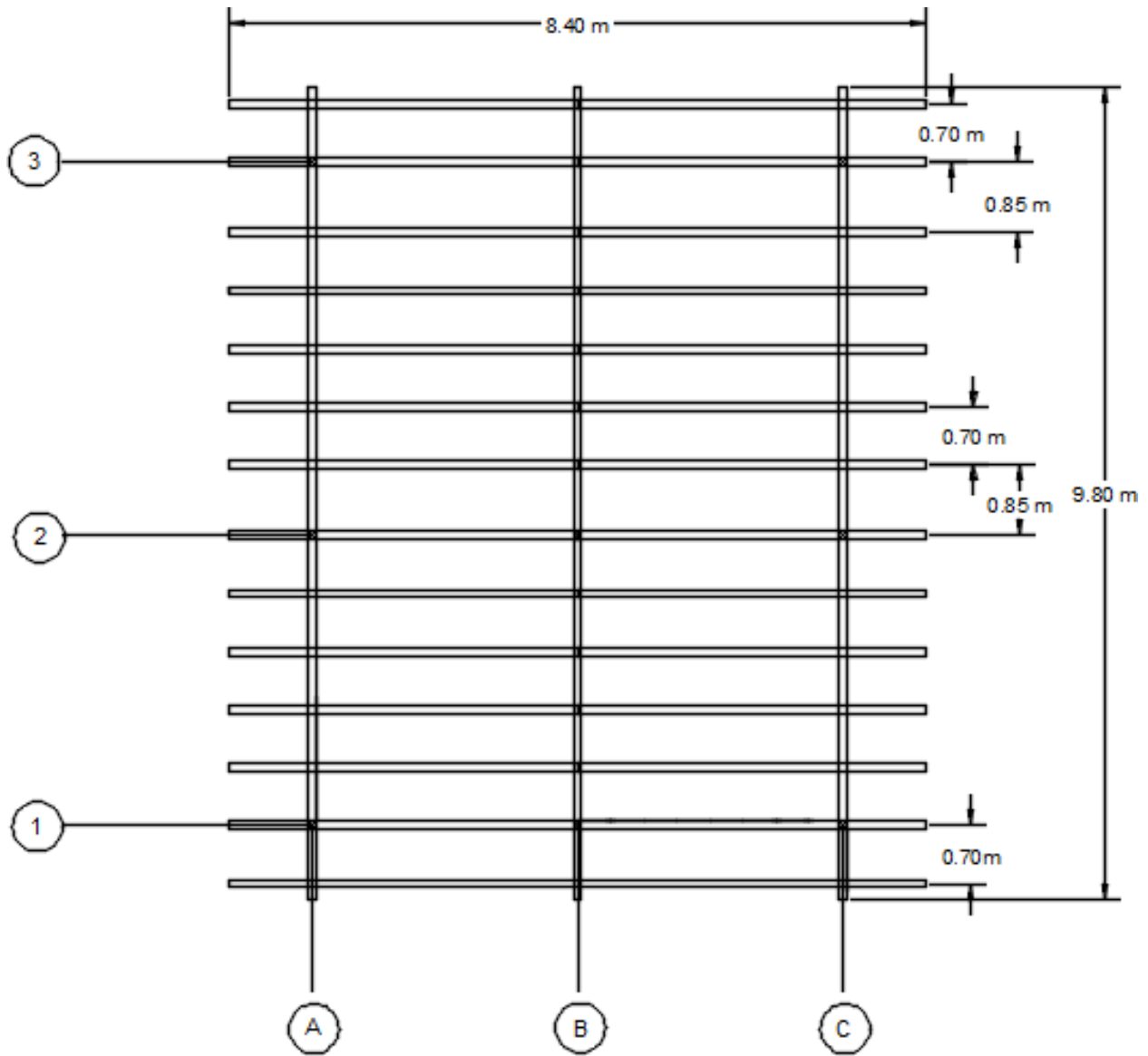
ANEXO 6. Planos de la vivienda



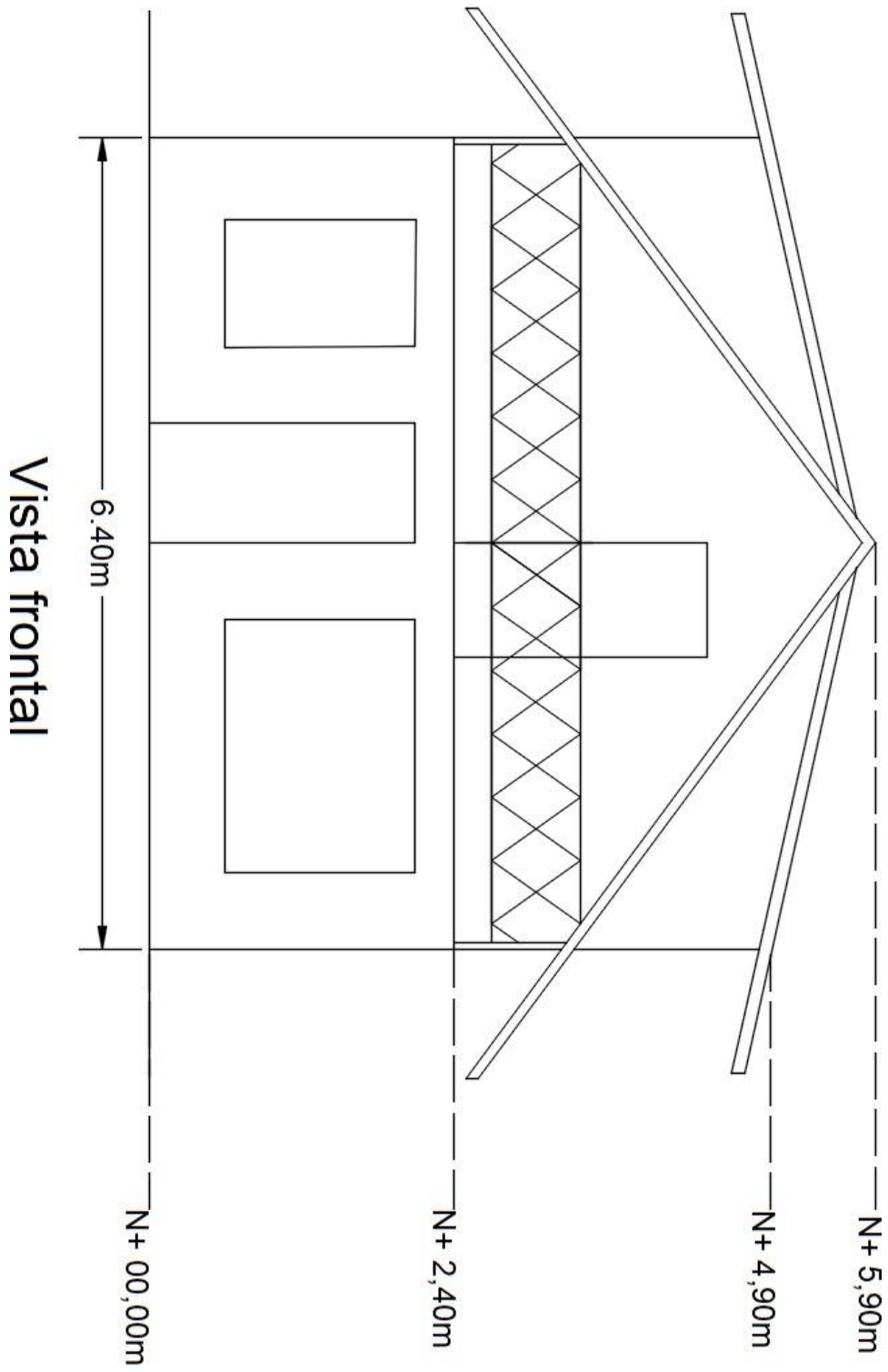
Planta de cimentación

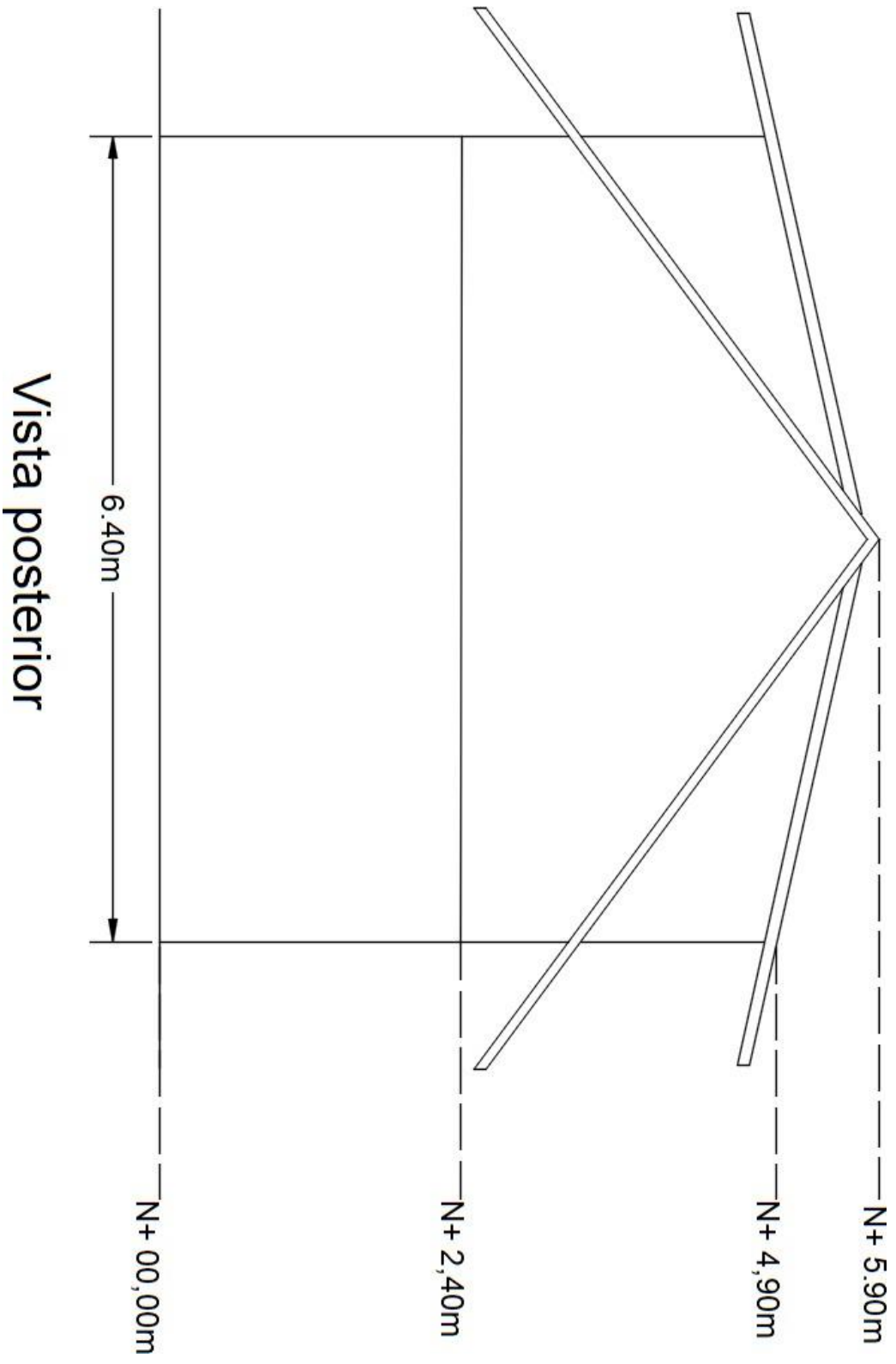


Plano entrepiso estrutural

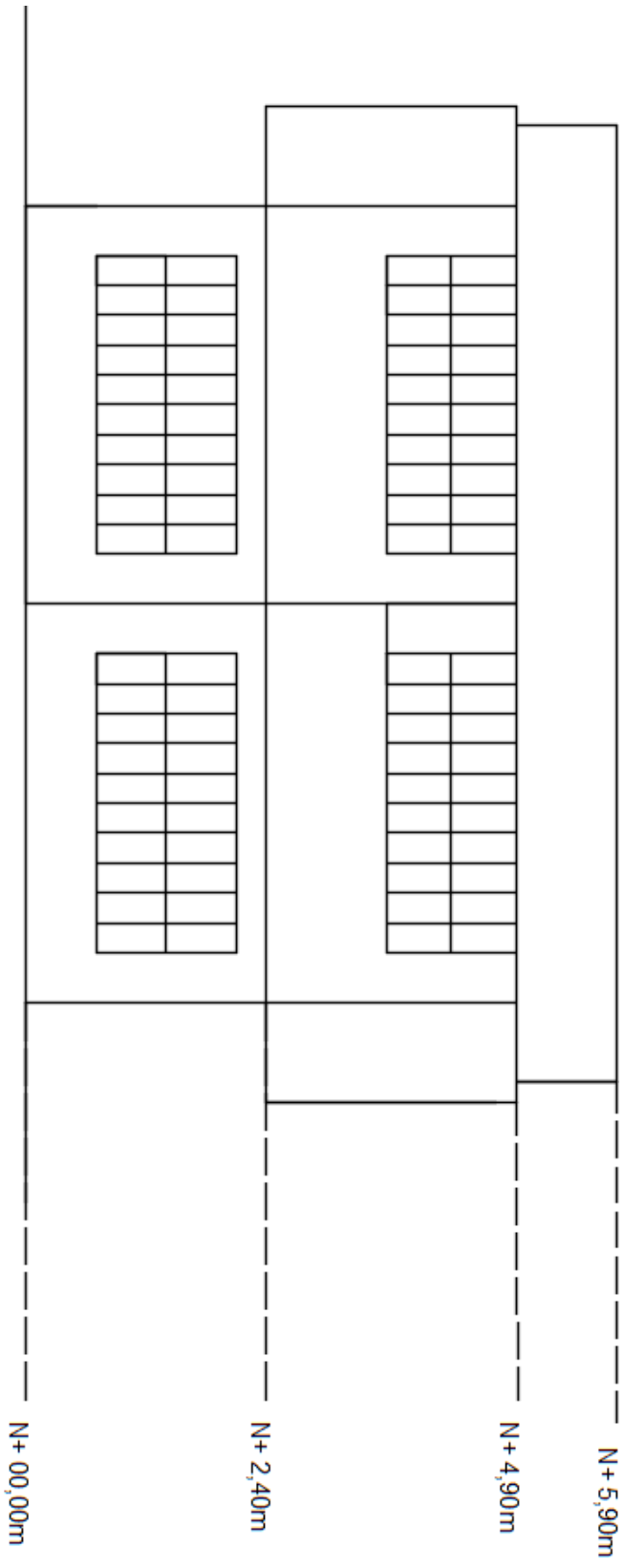


Cubierta estructural vista planta





Vista posterior



Vista Lateral Izquierda y derecha

Abstract

DARIO JAVIER LANDIN CALLE

The main objective of this work is to develop of a guide document for wood connections which are used in buildings, with its process of analysis, design and graphic representation, through the bibliographic review to present updated information, embodied in a guide with the exposure of practical applications to our environment. It has been made a classification of the types of structural wood existing in Ecuador, as well as the type of most used wood in patrimonial and modern houses in Azogues city; it was applied a survey of ten houses built with this material. On the other hand, a description of wooden houses was also made focusing on their connections and how they have been built traditionally and modernly, showing if they are using new alternatives of joint design. For the analysis and connection design, information was collected from the structure of a wooden house built in Chavay Alto near Azogues city Based on this building, a guide was developed for the analysis, design and detailing of the connection, using the Ecuadorian Standard for wood construction and with the help of the Andean Group's Wood Design Manual. The connection used is steel plate with screws. It is one kind of connection, of some developed in the world.

Keywords: connection, conifers, wood, resistance

Azogues, 18 de noviembre de 2021

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.



Abg. Liliana Urgilés Amoroso, Mgs.
COORDINADORA CENTRO DE IDIOMAS AZOGUES

Ingeniero
Ricardo Romero González
DIRECTOR DE CARRERA

Ingeniero
Geovanny González Rodríguez
DOCENTE TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES
Ciudad

ASUNTO: Índice de similitud del trabajo de titulación del estudiante **Landín Calle Darío Javier**.

REFERENCIA: GonzálezRodríguez 202110257

Reciban un cordial y atento saludo; en atención a la solicitud en referencia, adjunto el presente informe de similitud *Turnitin* del trabajo de titulación: "Guía para análisis, diseño y detallamiento de conexiones de madera en edificaciones", elaborado por el estudiante **Landín Calle Darío Javier**. El resultado presenta un índice de similitud del UNO POR CIENTO (01%), siendo inferior al límite de lo establecido en el *Reglamento de la Unidad de Titulación*, y en consecuencia **APTO** para continuar con el proceso de titulación. Adjunto el documento completo revisado por el sistema Turnitin.

LandiCalle-E2

INFORME DE ORIGINALIDAD

1 %	1 %	0 %	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
2	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
3	repositorio.unab.cl Fuente de Internet	<1 %

Particular que pongo a su conocimiento para fines pertinentes.

Atentamente;
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Firmado electrónicamente por:
CRISTIAN ARTURO VINTIMILLA ULLOA
Ing. Cristian Arturo Vintimilla Ulloa MSc.
RESPONSABLE DE UNIDAD DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES

El Bibliotecario de la Sede Azogues

CERTIFICA:

Que, **Darío Javier Landín Calle** portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º **0302311345** de la Carrera de **Ingeniería Civil**, Sede Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

Azogues, **16 de noviembre de 2021**



Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario



Universidad
Católica
de Cuenca
SEDE AZOGUES
BIBLIOTECA

Dario Javier Landín Calle portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º **0302311345**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Guía para análisis, diseño y detallamiento de conexiones de madera en edificaciones”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **16 de noviembre de 2021**



Darío Javier Landín Calle

C.I. **0302311345**



Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario



Universidad
Católica
de Cuenca
SEDE AZOGUES
BIBLIOTECA