



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica - PUCE TEC

**Manual didáctico de uniones perno a media madera en cerchas tradicionales a dos
aguas para viviendas inventariadas en la parroquia de Zámiza**

Proyecto de titulación

Autor: Jorge Rolando Castillo Ruales

Tutor: Ing. Edison Cueva

Quito, Ecuador

2026

Tabla de contenidos

| | |
|--|------|
| Lista de tablas | V |
| Lista de figuras..... | V |
| Declaración y autorización | VII |
| Agradecimiento..... | VIII |
| Introducción | 1 |
| Planteamiento del Problema | 3 |
| Antecedentes | 4 |
| Objetivos..... | 5 |
| General..... | 5 |
| Específicos | 5 |
| Alcance | 6 |
| Capítulo I: Marco Teórico..... | 8 |
| 1.1. Normativa Ecuatoriana Aplicable..... | 8 |
| 1.2. Principios y Criterios de Conservación Patrimonial..... | 10 |
| 1.2.1. Recomendaciones Técnicas de Conservación | 10 |
| 1.3. Inventario y Características de Viviendas Patrimoniales en Zábiza | 11 |
| 1.3.1 Tipología Común | 11 |
| 1.4 Estructura y Geometría de Cerchas de Madera Tradicionales a Dos Aguas Tipología y Elementos..... | 12 |
| 1.4.1 Conceptos Generales..... | 12 |
| 1.4.2 Funcionalidad estructural..... | 13 |
| 1.5 Tipologías de Uniones en Carpintería Estructural | 14 |

| | | |
|-------------------------------|---|----|
| 1.5.1 | Uniones Tradicionales y Mecánicas..... | 14 |
| 1.5.1.1 | Uniones Carpinteras (tradicionales):..... | 14 |
| 1.5.1.2 | Uniones Mecánicas:..... | 15 |
| 1.6. | Principios y tipología de la unión perno a media madera..... | 16 |
| 1.6.1. | Definición | 16 |
| 1.6.2. | Ventajas principales: | 16 |
| 1.7. | Tolerancias y detalles constructivos en uniones de cerchas..... | 17 |
| 1.7.1. | Tolerancia en el taladrado: | 17 |
| 1.7.2. | Espaciamientos mínimos: | 17 |
| 1.7.3. | Espesores mínimos: | 17 |
| 1.7.4. | Tipos y uniones más comunes en cerchas..... | 17 |
| 1.7.5. | Procedimientos Constructivos | 18 |
| 1.7.6. | Buenas prácticas: | 19 |
| 1.8. | Propiedades de las maderas locales relevantes para estructuras..... | 19 |
| 1.8.1. | Especies locales ecuatorianas | 19 |
| 1.8.2. | Propiedades físico-mecánicas relevantes..... | 20 |
| 1.9. | Mantenimiento y durabilidad de la unión perno a media madera..... | 22 |
| Capítulo II: Metodología..... | | 23 |
| 2.1. | Enfoque y tipo de investigación..... | 23 |
| 2.2. | Unidad de análisis y población de estudio..... | 24 |
| 2.3. | Método de investigación..... | 24 |
| 2.4. | Técnicas e instrumentos de recolección de información. | 25 |
| 2.4.1. | Observación directa en campo | 25 |
| 2.4.2. | Encuestas y entrevistas semiestructuradas..... | 26 |

| | |
|---|----|
| 2.4.3. Revisión normativa y documental | 28 |
| 2.4.4. Procesamiento y análisis de la información | 30 |
| 2.4.4.1. Análisis técnico comparativo | 31 |
| 2.4.4.2. Síntesis gráfica y constructiva | 31 |
| 2.4.4.3. Validación Técnica | 32 |
| Capítulo III..... | 34 |
| 3.1. Diagnóstico y Análisis de Cerchas existentes | 34 |
| 3.1.1 Descripción del levantamiento..... | 35 |
| 3.1.2. Identificación de fallas más frecuentes | 39 |
| 3.1.3. Comparación normativa versus estado real | 41 |
| 3.1.4. Problemas críticos que justifican la propuesta del manual didáctico | 42 |
| 3.2. Síntesis del diagnóstico..... | 42 |
| Capítulo IV..... | 44 |
| PROPUESTA: MANUAL DIDÁCTICO DE UNIÓN PERNO A MEDIA MADERA EN CERCHAS TRADICIONALES A DOS AGUAS | 44 |
| 4.1. Introducción | 44 |
| 4.2. Objeto del manual didáctico | 44 |
| 4.3. Alcance y limitaciones del manual didáctico..... | 44 |
| 4.3.1. Alcance..... | 45 |
| 4.3.2. Limitaciones..... | 45 |
| 4.4. Fundamento normativo y técnico del manual | 46 |
| 4.5. Descripción técnica de la unión perno a media madera..... | 46 |
| 4.6. Criterios técnicos normativos para la ejecución de la unión perno a media madera . | 48 |
| 4.6.1. Espaciamiento entre pernos: | 49 |

| | |
|--|----|
| 4.6.2. Diámetro de perforación: | 51 |
| 4.6.3. Profundidad del rebaje: | 51 |
| 4.6.4. Espesores mínimos de las piezas: | 51 |
| 4.6.5. Orientación de la fibra: | 52 |
| 4.6.6. Uso de arandelas: | 52 |
| 4.6.7. Recomendaciones prácticas complementarias:..... | 53 |
| 4.7. Procedimiento constructivo paso a paso | 53 |
| 4.7.1. Inspección visual y selección de la madera | 54 |
| 4.7.2. Marcado de las piezas según la geometría de la unión | 54 |
| 4.7.3. Ejecución del corte de media madera respetando profundidades recomendadas..... | 54 |
| 4.7.4. Perforación alineada de las piezas, evitando desviaciones | 54 |
| 4.7.5. Colocación del perno, arandelas y tuerca | 55 |
| 4.7.6. Ajuste final sin sobre apriete..... | 55 |
| 4.7.7. Recomendaciones adicionales | 55 |
| 4.8. Aplicación del manual en viviendas patrimoniales..... | 55 |
| 4.9. Aporte del manual al sector de la construcción local..... | 56 |
| 4.10. Síntesis del capítulo | 56 |
| Capítulo V | 58 |
| 5. Conclusiones y Recomendaciones | 58 |
| 5.1. Conclusiones | 58 |
| 5.2. Recomendaciones | 59 |
| 5.3. Limitaciones del estudio | 60 |
| Referencias Bibliográficas | 62 |

| | |
|--|----|
| Anexo 1..... | 63 |
| Manual didáctico para la ejecución de la unión perno a media madera en cerchas tradicionales. (ver elemento físico)..... | 63 |
| Anexo 2..... | 64 |
| Imágenes de ficha de levantamiento de información en campo | 64 |
| Anexo 3..... | 66 |
| Cuadro resumen de imágenes de predios levantados en campo | 66 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Especies estructurales típicas para Quito y la región Sierra. | 9 |
| Tabla 2. Especies más utilizadas en Quito y su zona de influencia (grupo estructural B). ____ | 20 |
| Tabla 3. Características mecánicas agrupadas por la NEC-SE-MD. | 21 |
| Tabla 4. Cuadro resumen de levantamiento de información en campo. | 35 |
| Tabla 5. Cuadros referenciales del inventario patrimonial de predios de la parroquia de Zámbriza (actualización 2018). | 37 |
| Tabla 6. Cuadro de análisis de falla crítica. | 40 |
| Tabla 7. Cuadro comparativo entre norma y estado real de las cerchas. | 41 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ejemplo de cercha tipo a dos aguas. | 13 |
| Figura 2. Ejemplo de unión carpintera. | 15 |
| Figura 3. Ejemplo de unión mecánica. | 15 |
| Figura 4. Ejemplo de unión perno-media madera. | 16 |

| | |
|---|----|
| Figura 5. Unión media madera con perno no conforme a norma. | 34 |
| Figura 6. Evaluación visual de cubierta en madera con deterioro en puntos de unión estructural. | 34 |
| Figura 7. Unión perno a media madera en cumbrero. | 48 |
| Figura 8. Isometría unión perno a media madera en cumbrero. | 48 |
| Figura 9. Cercha tipo, con ubicación de pernos en piezas de cerchas. | 49 |
| Figura 10. Espaciamiento de pernos en extremos a compresión de la cercha. | 50 |
| Figura 11. Espaciamiento de pernos en extremos a tracción de la cercha. | 50 |
| Figura 12. Detalle de destaje a media madera. | 51 |
| Figura 13. Detalle de fibras en la madera. | 52 |
| Figura 14. Detalle de pernos y arandelas. | 53 |

Declaración y autorización

Yo, Jorge Rolando Castillo Ruales con C.I. 0401608377 autor(a) del trabajo de titulación intitulado: “Manual didáctico de uniones perno - media madera en cerchas tradicionales a dos aguas para viviendas inventariadas en la parroquia de Zámbriza”, previa a la obtención del título de tecnólogo superior en co

nstrucciones en la Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica PUCE TEC:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de titulación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 14 de febrero de 2026



C.I. 0401608377

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme la sabiduría y la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta. A mis padres, por su amor incondicional y su apoyo constante. A mi familia, especialmente a mi esposa e hijos, por su paciencia y comprensión en cada etapa del proceso. A los amigos que, con risas y estudio compartido, aportaron con generosidad y alegría a la culminación de esta etapa.

Introducción

En zonas periféricas de Quito, especialmente en la parroquia de Zámbriza, se encuentran diversas viviendas de uno o dos pisos inventariadas por el Departamento de Áreas Históricas y Patrimonio del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), las cuales emplean cerchas de madera tradicionales por su bajo costo y facilidad de ejecución. Estas estructuras forman parte del paisaje arquitectónico popular y reflejan una práctica constructiva heredada y adaptada a las condiciones locales. Sin embargo, las uniones de estos elementos estructurales, como la unión perno a media madera, suelen hacerse de forma empírica, sin planos o criterios técnicos. Esto genera cubiertas inestables y pone en riesgo la seguridad estructural de las mismas, afectando no solo la durabilidad de las edificaciones, sino también la seguridad de sus habitantes.

Este proyecto de titulación se enfoca en la elaboración un manual didáctico y práctico sobre esta unión específica, con el fin de mejorar la calidad estructural de las cerchas elaboradas en las construcciones tradicionales. El manual estará dirigido a maestros de obra, técnicos y estudiantes de construcción, y buscará ser una herramienta accesible que combine conocimientos técnicos con ilustraciones claras y recomendaciones normativas. La propuesta es importante en el ámbito técnico y tecnológico porque busca reducir errores comunes en las obras, fomentar el aprovechamiento adecuado de los recursos locales y estandarizar una técnica sencilla que proporcione buena resistencia.

Este trabajo se fundamenta en aspectos donde existe una necesidad urgente de fortalecer las capacidades técnicas de los actores involucrados en la construcción informal, quienes muchas veces carecen de formación académica, pero poseen experiencia empírica valiosa. Al brindarles una guía clara y fundamentada, se contribuye a mejorar la calidad de las edificaciones y a reducir riesgos estructurales.

El uso de madera como material estructural en zonas como Zámboza responde a una lógica económica y cultural. La madera es accesible, renovable y tiene propiedades mecánicas adecuadas para estructuras livianas. No obstante, su comportamiento depende en gran medida de la calidad de las uniones, las cuales deben ser diseñadas y ejecutadas correctamente para garantizar la estabilidad de la estructura. La unión perno a media madera, aunque común, presenta desafíos técnicos que requieren atención específica, como el control de esfuerzos cortantes, la resistencia al momento flector y la durabilidad frente a agentes externos.

Además, este proyecto se alinea con los objetivos de conservación del patrimonio arquitectónico popular, ya que muchas de estas viviendas forman parte del inventario patrimonial del DMQ. Mejorar sus condiciones estructurales sin alterar su esencia constructiva contribuye a preservar la identidad cultural de las comunidades, al tiempo que se promueve una construcción más consciente y respetuosa del entorno. En este sentido, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda ha señalado que la elaboración de materiales didácticos accesibles es clave para mejorar la calidad técnica en viviendas de interés social, especialmente en contextos de autoconstrucción (MIDUVI, 2019).

Desde el punto de vista académico, el proyecto representa una oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Tecnología en Construcción, integrando herramientas digitales, análisis normativo y representación gráfica de detalles constructivos. Se utilizará observación directa en campo, revisión de normativa NEC, y elaboración de esquemas explicativos que permitan comprender y replicar correctamente la unión perno-media madera.

Este trabajo busca ser un aporte concreto a la mejora de la construcción tradicional en madera en zonas periféricas de Quito, combinando la parte técnica con lo social y cultural. La

elaboración del manual no solo responde a una necesidad técnica, sino también a un compromiso con la seguridad, la sostenibilidad y la valorización del conocimiento local.

Planteamiento del Problema

En la parroquia de Zámbriza, perteneciente al cantón Quito, las cubiertas de madera son una solución común por su bajo costo y disponibilidad local. Un caso particular lo constituyen las viviendas inventariadas por el departamento de Áreas Históricas y Patrimonio del DMQ, donde se observa con frecuencia el uso de cerchas tradicionales en madera. No obstante, un aspecto crítico es la ejecución de uniones estructurales, como la unión perno a media madera, que frecuentemente se realiza sin criterios técnicos. Esto se debe, en gran parte, a la carencia de manuales didácticos y accesibles que orienten a los maestros de obra, albañiles y constructores en general.

Esta situación técnica se manifiesta en deformaciones, pandeos, fallas de las estructuras y uniones ineficientes. Además, el contexto socioeconómico de muchas familias, que recurren a la autogestión con mano de obra no calificada, agrava el problema. Según la Junta Nacional de la Construcción, la construcción informal en Ecuador representa más del 60% del total de edificaciones, lo cual evidencia una falta de planificación técnica y el uso limitado de normativas y herramientas apropiadas (JUNAC, 2020).

Frente a esta realidad, el proyecto propone la elaboración de un material gráfico, claro y detallado, que explique paso a paso cómo ejecutar correctamente este tipo de unión. La propuesta se sustenta en observaciones de campo, entrevistas con técnicos y sistematización de conocimientos para facilitar su difusión y aplicación en otros contextos similares.

Antecedentes

La construcción en madera ha sido una práctica ancestral en diversas regiones del Ecuador, especialmente en zonas rurales de la ciudad de Quito, donde este recurso es accesible. En la parroquia de Zámbriza, ubicada al noreste del Distrito Metropolitano de Quito, las viviendas de uno o dos pisos reflejan una tradición constructiva que combina conocimientos empíricos con soluciones prácticas. Las cerchas de madera, utilizadas para soportar cubiertas inclinadas, son elementos clave en estas casas. Sin embargo, a pesar de su uso extendido, la ejecución de las uniones estructurales como la perno a media madera, carece de una base técnica formal, lo que compromete la estabilidad y seguridad de las estructuras.

Diversos estudios y observaciones de campo evidencian que la mayoría de estas uniones se realizan sin planos, sin cálculos estructurales y sin seguimiento de normativas vigentes. Esto se debe, en gran parte, a la ausencia de material didáctico y de fácil comprensión y sobre todo accesibles que orienten a los constructores en la correcta ejecución de estas técnicas. La construcción informal se caracteriza por la autogestión, el uso de mano de obra no calificada y la improvisación en el diseño estructural. Con esta base, las fallas en las uniones de madera no solo afectan la durabilidad de las cubiertas, sino que también ponen en riesgo la integridad física de las familias que habitan estas viviendas.

Sánchez Paladines (2022) señala que “las uniones estructurales en madera, cuando se ejecutan sin criterios técnicos, son el punto más vulnerable de la estructura, y su falla puede comprometer el comportamiento global del sistema constructivo”. Esta afirmación refuerza la necesidad de intervenir en el proceso constructivo desde la base, ofreciendo herramientas que permitan mejorar la calidad técnica sin desarraigar las prácticas tradicionales. A nivel académico y profesional, existen esfuerzos por documentar y mejorar estas técnicas, como los manuales del

MIDUVI (2019) y la NEC-SE-M (2015), pero su lenguaje técnico y formato no siempre son accesibles para los maestros de obra, albañiles y técnicos involucrados en construcciones tradicionales. Por ello, se vuelve urgente generar materiales didácticos que traduzcan estos conocimientos en herramientas prácticas, visuales y contextualizadas.

Este proyecto se inscribe en esa necesidad, proponiendo un manual gráfico que sistematice la unión perno a media madera, con el objetivo de mejorar la calidad constructiva, reducir riesgos y fortalecer el vínculo entre el saber técnico y el saber empírico. Al hacerlo, se busca no solo mejorar la seguridad estructural de las viviendas en Zámbez, sino también dignificar el trabajo de los constructores locales, reconociendo su experiencia y brindándoles recursos que potencien su labor.

Objetivos

General

Elaborar un manual didáctico para la correcta ejecución de uniones perno a media madera en cerchas tradicionales a dos aguas, aplicado a viviendas patrimoniales inventariadas en la parroquia de Zámbez por el Departamento de Áreas Históricas y Patrimonio del DMQ, con el fin de contribuir a su adecuada conservación.

Específicos

Identificar los errores más comunes en la ejecución empírica de uniones perno a media madera en cerchas tradicionales.

Elaborar esquemas técnicos que expliquen, paso a paso, el procedimiento correcto para realizar dichas uniones.

Incentivar el uso del manual como guía para mejorar la ejecución estructural de las cubiertas tradicionales a dos aguas en viviendas patrimoniales.

Alcance

Este proyecto se enmarca dentro de un estudio de tipo aplicado, con enfoque técnico-constructivo, orientado a mejorar la calidad de las uniones estructurales en cerchas de madera mediante la elaboración de un manual didáctico. El trabajo se centra específicamente en la unión perno a media madera, comúnmente utilizada en viviendas tradicionales de uno o dos pisos en la parroquia de Zábiza, perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito.

El alcance del proyecto incluye el levantamiento de información en campo a través de visitas técnicas a viviendas inventariadas por el Departamento de Áreas Históricas y Patrimonio del DMQ, donde se observará el estado actual de las cerchas y las técnicas empleadas. A partir de estas observaciones, se identificarán errores recurrentes en la ejecución de las uniones, lo que permitirá desarrollar esquemas gráficos con medidas estandarizadas, recomendaciones técnicas y secuencias constructivas claras.

El manual resultante estará dirigido principalmente a, maestros de obra, albañiles y técnicos de construcción que trabajan en contextos de autogestión o construcción informal. Se utilizan herramientas propias de la carrera de Tecnología en Construcción, como principios de dibujo técnico, interpretación de la normativa NEC-SE-M (2015), criterios básicos de diseño estructural en madera y conocimientos en ensambles. La validación del contenido se realizará mediante entrevistas informales con profesionales del sector, como ingenieros, arquitectos y

constructores, para asegurar que el documento sea comprensible, útil y adaptable a obras tradicionales.

Este proyecto no contempla el diseño estructural completo de cerchas ni el análisis de cargas específicas para cada tipo de cubierta, ya que su objetivo es brindar un manual didáctico únicamente sobre la unión perno a media madera. Tampoco se abordarán otros tipos de uniones en madera ni técnicas constructivas ajenas al contexto local. La propuesta responde a las recomendaciones del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI, 2019), que enfatiza la necesidad de materiales didácticos accesibles para mejorar la calidad técnica en viviendas de interés social.

Capítulo I: Marco Teórico

El presente capítulo desarrolla el marco teórico para la elaboración de un manual didáctico orientado a la correcta ejecución de la unión perno a media madera en cerchas tradicionales a dos aguas, aplicado a viviendas patrimoniales inventariadas en la parroquia de Zábiza, perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito. Se expone una revisión de los conceptos estructurales sobre cerchas de madera, las tipologías y criterios de diseño de uniones en carpintería tradicional, las propiedades de las maderas locales más utilizadas en el sector de la construcción, la normativa ecuatoriana aplicable, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y las Normas INEN, los principios de conservación patrimonial y la contextualización de estudios y experiencias relevantes tanto regionales como locales.

También se abordan aspectos prácticos relacionados con el uso de herramientas manuales y eléctricas, las tolerancias dimensionales en cortes y perforaciones, y las recomendaciones básicas para el mantenimiento preventivo de las uniones en cerchas de madera.

Este marco conceptual constituye el sustento técnico, histórico y normativo imprescindible para la elaboración y aplicación del manual didáctico, asegurando que la intervención en viviendas patrimoniales respete los valores arquitectónicos, estructurales y culturales del entorno de Zábiza, en Quito.

1.1. Normativa Ecuatoriana Aplicable

El marco normativo para estructuras y uniones de madera en Ecuador se rige principalmente por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en especial los capítulos

NEC-SE-M (Estructuras de Madera) y NEC-SE-VIVIENDA (Viviendas de hasta dos pisos), así como las Normas Técnicas INEN para madera estructural.

NEC-SE-MD: Establece los requisitos mínimos para diseño estructural, materiales, procedimientos constructivos, ensayos y aceptación de estructuras de madera, incluyendo criterios para uniones empernadas, media madera, diseño sismorresistente y control de calidad.

NEC-SE-VIVIENDA: Regula las viviendas hasta 2 pisos y luz máxima de 5m, especificando aspectos de habitabilidad, seguridad estructural, y procedimientos constructivos aptos para edificaciones.

MIDUVI: Implementa la normativa con procedimientos prácticos y fichas técnicas para diseño, construcción y rehabilitación de viviendas en madera.

La clasificación y aceptación de la madera para uso estructural en Ecuador se basa en la visual y mecánica, las cuales dependen de la especie, su densidad básica, resistencia mecánica, contenido de humedad y control en obra.

Tabla 1. Especies estructurales típicas para Quito y la región Sierra.

| Grupo | Nombre común | Nombre científico | Uso en cerchas |
|--------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| B | Colorado | <i>Cordia alliodora</i> | Vigas principales |
| B | Moral fino | <i>Chlorophora tinctoria</i> | Esquineros |
| C | Sande | <i>Brosimum utile</i> | Cordones secundarios |
| A | Guayacán | <i>Minquartia guianensis</i> | Elementos claves |

Fuente. NEC-SE-MD

1.2. Principios y Criterios de Conservación Patrimonial

La conservación de viviendas patrimoniales responde a principios de la Constitución, la Ley de Patrimonio Cultural, el COOTAD, la Ley Orgánica de Cultura y la Ordenanza Metropolitana No. 081-2024 para Quito. Se establecen obligaciones tanto al Estado como a los ciudadanos y técnicas para la identificación, intervención, protección y transmisión de bienes patrimoniales.

Para edificaciones inventariadas en Zábiza, las intervenciones en cubiertas y estructuras de madera deben:

- Preservar la autenticidad de la estructura.
- Garantizar la reversibilidad de cualquier intervención contemporánea.
- Emplear métodos y materiales compatibles como maderas nativas, sistemas de unión tradicionales o moderadamente reforzados.
- Minimizar el impacto en la estructura original, evitando la sustitución innecesaria de componentes salvo en caso de deterioro estructural o pérdida de funcionalidad.

1.2.1. Recomendaciones Técnicas de Conservación

Las siguientes recomendaciones se deben de tomar en cuenta para la adecuada conservación de las estructuras tradicionales.

- Desmontaje mínimo indispensable, eso permitirá futuras restauraciones o exploraciones. Incluyendo sistemas de unión con pernos que permitan desarmar las cerchas frente a clavar o soldar.
- Conservación en sitio siempre que sea posible.

- Tratamiento adecuado de la madera, incluyendo protección contra xilófagos y humedad.

1.3. Inventario y Características de Viviendas Patrimoniales en Zábiza

Zábiza es una parroquia rural urbana de Quito, con varios bienes inmuebles inventariados reconocidos por el Instituto Metropolitano de Patrimonio y la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda. En estos inmuebles se ha identificado el uso preponderante de cerchas de madera a dos aguas, con particularidades locales, empalmes y uniones tradicionales reforzadas o adaptadas conforme a restauraciones recientes.

La ficha de inventario de predios patrimoniales especifica el grado de protección, los elementos estructurales a conservar como lo son las cubiertas y sistemas estructurales de madera original o recuperada que orienta respecto a los criterios y límites de intervención permisibles. De acuerdo con la actualización del inventario patrimonial de la parroquia realizada en 2018, y la Ordenanza Metropolitana N.º 260, existen 7 predios oficialmente inventariados y 8 predios adicionales propuestos para su inclusión, sumando un total de 15 viviendas que conforman el universo objetivo del presente estudio.

1.3.1 Tipología Común

Uso predominante: vivienda unifamiliar.

Sistema de cubierta: cercha a dos aguas.

Material estructural: madera nativa en la mayoría de casos (rolliza) o nacional seleccionada; frecuente uso de pino en restauraciones recientes y en su gran mayoría cambiando la geometría de rolliza a vigas rectangulares.

Sistemas de unión: encajes a media madera, clavos, refuerzos puntuales con pletinas y pernos en intervenciones modernas.

La conservación de estos bienes requiere una intervención altamente respetuosa, utilizando materiales y técnicas compatibles con la época original de construcción y la evolución histórica del inmueble.

1.4 Estructura y Geometría de Cerchas de Madera Tradicionales a Dos Aguas Tipología y Elementos

1.4.1 Conceptos Generales

Las cerchas de madera constituyen sistemas estructurales triangulares diseñados principalmente para soportar y distribuir las cargas de cubiertas inclinadas, permitiendo grandes luces sin apoyo intermedio. Su eficiencia está en la conducta que asume ante cargas axiales, tracción o compresión, de las piezas que las componen, minimizando el peso propio y optimizando el uso de material.

La cercha tradicional a dos aguas es la tipología dominante en la arquitectura autóctona e histórica andina y ecuatoriana. Se compone de los siguientes elementos básicos:

Cordón superior: piezas inclinadas que definen la pendiente de la cubierta y transmiten las cargas al resto del sistema.

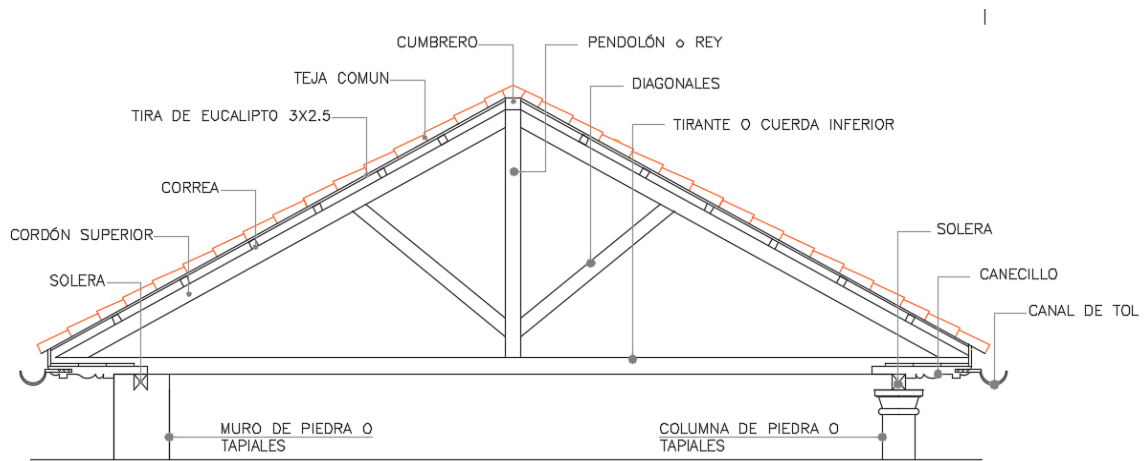
Tirante o cuerda inferior: vincula los extremos inferiores de los pares, absorbiendo fuerzas de tracción y asegurando la estabilidad global.

Pendolón o rey: elemento vertical central que une la cumbrera (el vértice superior de la cercha) con el tirante, brindando estabilidad frente al pandeo.

Diagonales: refuerzos triangulares que transfieren cargas y proveen rigidez adicional.

Entablados de cubierta y correas: apoyos secundarios perpendiculares a las cerchas sobre los que descansa la cubierta.

Figura 1. Ejemplo de cercha tipo a dos aguas.



Nota. Fuente Propia

En viviendas patrimoniales de la región sierra de Ecuador, es frecuente el uso de madera aserrada en dimensiones comerciales, con piezas de sección entre 50x100 mm, 70x140 mm y 100x200 mm, y pendientes usuales entre el 20% y 45%. Como señala Torres (2021), “las cerchas tradicionales en madera reflejan una adaptación técnica al entorno rural, combinando eficiencia estructural con saberes constructivos heredados”.

1.4.2 Funcionalidad estructural

La forma triangular de las cerchas asegura la distribución y disipación eficiente de cargas a los apoyos. Las fuerzas internas se distribuyen a compresión en los pares y diagonales y tracción

en tirantes y algunos elementos de refuerzo. La correcta transmisión de esfuerzos depende en buena parte de la calidad y tipo de unión entre los elementos, siendo la unión perno-media madera uno de los sistemas históricos y aún vigentes de mayor fiabilidad cuando se ejecuta con criterios técnicos y atendiendo al contexto patrimonial.

Las cerchas tradicionales a dos aguas cumplen funciones de:

- Cubrimiento eficiente y ventilación natural.
- Resistencia a cargas de viento, sismo y peso propio.
- Integración estética y adaptación a materiales locales.
- Soporte para elementos ornamentales (cielorrasos, pendientes elevadas, etc.)

1.5 Tipologías de Uniones en Carpintería Estructural

1.5.1 Uniones Tradicionales y Mecánicas

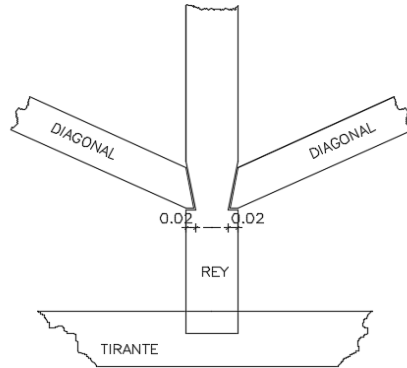
La unión entre los diferentes elementos estructurales que conforman las cerchas es el punto más crítico de cualquier cercha. Tradicionalmente, se distinguen dos grandes sistemas de uniones:

1.5.1.1 Uniones Carpinteras (tradicionales):

Utilizan entallados y rebajes en la propia madera, a menudo reforzadas con tarugos, cuñas o, en intervenciones contemporáneas sensatas, con pernos.

Entre las tipologías más conocidas están: caja y espiga, cola de milano, encajes a media madera, entre otros.

Figura 2. Ejemplo de unión carpintera.



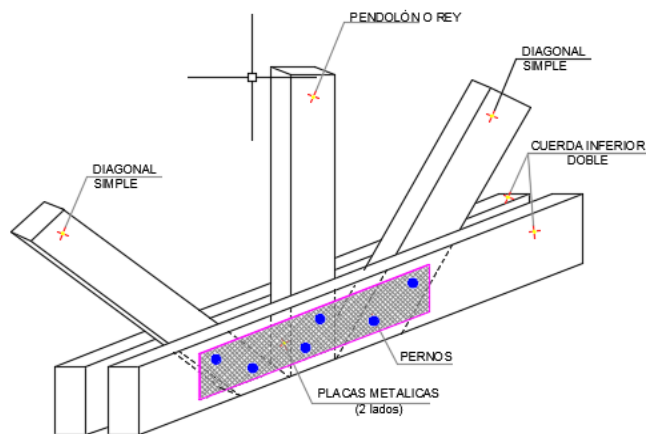
Nota. Fuente Propia

1.5.1.2 Uniones Mecánicas:

Se emplean elementos metálicos como: pernos, tornillos, clavos, conectores, pletinas, etc. para garantizar una mayor resistencia y durabilidad.

La unión perno a media madera combina lo mejor de ambas escuelas: el contacto madera-madera y la seguridad que otorga el perno.

Figura 3. Ejemplo de unión mecánica.



Nota. Fuente Propia

1.6. Principios y tipología de la unión perno a media madera

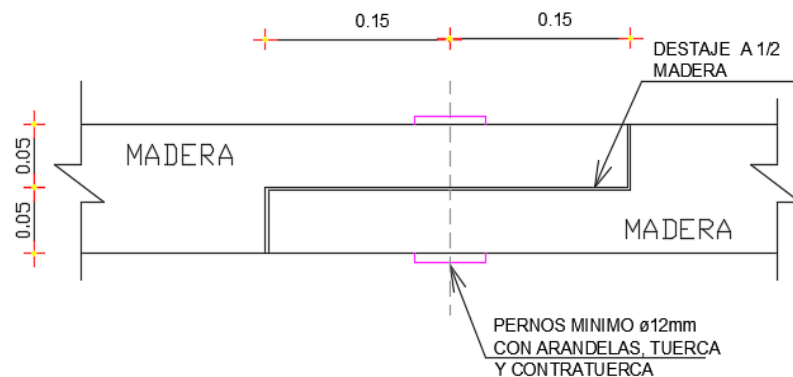
1.6.1. Definición

La unión perno a media madera combina una entalladura a media madera, en la cual se rebaja la mitad del espesor de cada pieza hasta encajar firmemente y con el uso de uno o más pernos atravesados perpendicularmente y asegurados con arandelas y tuercas metálicas que dan fijación a la unión.

1.6.2. Ventajas principales:

- Permite transferencia sólida de esfuerzos de tracción y compresión.
- Proporciona ajuste geométrico preciso entre piezas.
- Aumenta la redundancia estructural y la durabilidad de la unión.
- Facilita desmontaje, inspección y mantenimiento, alineado con criterios de reversibilidad patrimonial.

Figura 4. Ejemplo de unión perno-media madera.



Nota. Fuente Propia

1.7. Tolerancias y detalles constructivos en uniones de cerchas

Las tolerancias dimensionales y espaciamentos mínimos entre pernos y desde el borde de la pieza están sujetos a normativa técnica:

1.7.1. Tolerancia en el taladrado:

El diámetro del orificio para el perno no debe exceder en más de 1 mm del diámetro real del perno para evitar holguras y permitir el correcto apriete con los pernos.

1.7.2. Espaciamentos mínimos:

d = diámetro del perno

Entre pernos paralelos a la fibra de la madera: $4d$

Entre perno y borde cargado (tracción): $5d$

Entre perno y borde descargado: $2d$

Entre líneas paralelas de pernos: $2,5d$ a $5d$

1.7.3. Espesores mínimos:

El espesor de cada pieza rebajada o cortada a media madera debe ser suficiente para evitar la pérdida de sección crítica.

Estos valores están recogidos en las tablas oficiales de la NEC-SE-M, JUNAC y literatura internacional, y deben observarse estrictamente en intervenciones patrimoniales para prevenir fallas por desgarro o aplastamiento.

1.7.4. Tipos y uniones más comunes en cerchas

- Unión cordón superior con tirante (en nudo de cumbrero y apoyo).
- Unión del tirante con pendolón o rey central.

- Uniones entre diagonales y cordón principal.

La unión se valida estructuralmente mediante experiencia documentada y guías nacionales, no requiriendo para este manual cálculos avanzados, sino procedimientos probados y control visual en obra.

1.7.5. Procedimientos Constructivos

A continuación, se detallan algunos pasos principales para la ejecución adecuada de la unión:

- **Selección y preparación de maderas:** realizar la selección minuciosa de las piezas según especificaciones visuales y mecánicas.
- **Realizar proceso de carpintería como:** cepillado, corte a medida y control de humedad.
- **Realizar el corte a media madera:** replantear, señalar y proceder a rebajar a la mitad del espesor de cada pieza en la zona de la unión evitando que se generen astillas o irregularidades superficiales.
- **Armado de piezas:** ajustar y verificar el ensamblaje en seco.
- **Huecos para pernos:** Taladrar con brocas adecuadas, ubicando estratégicamente según cargas o recomendaciones. El agujero debe tener un diámetro de +1 mm respecto al perno.
- **Colocación de pernos y arandelas:** incrustar mediante presión ligera, asegurando pleno contacto de las piezas de madera; emplear pernos galvanizados o de acero de alta resistencia. El uso de arandelas bajo cabeza y tuercas, de diámetro $\geq 3d$ y espesor $\geq 0,3d$. Siendo d = diámetro del perno.

- ***Ajustar y apretar manual o mecánicamente:*** apretar secuencialmente para evitar sobrecargas puntuales, cabe recalcar que la verificación de alineación de piezas es fundamental.
- ***Revisión y control de la unión:*** realizar chequeo visual y verificar que no exista desplazamientos o deformaciones, controlar el acabado y tratamiento superficial de protección que evite la humedad en las superficies en contacto y entorno de la unión.

1.7.6. Buenas prácticas:

- Separar la madera de obra del contacto directo con superficies húmedas o suelo.
- Etiquetar y documentar cada unión relevante en el proceso patrimonial.
- Aplicar listas de verificación y plantillas descritas en el manual para control de procesos y calidad.

1.8. Propiedades de las maderas locales relevantes para estructuras

1.8.1. Especies locales ecuatorianas

En Ecuador, y en particular la región Sierra, especialmente en la provincia de Pichincha, dispone de una extensa variedad de especies de madera aptas para uso estructural, muchas de ellas estudiadas y clasificadas en el Catálogo de Madera Estructural del Ecuador (Universidad del Azuay) y reconocidas en la NEC-SE-MD, este particular enriquece las posibilidades constructivas locales, sino que también permite obtener variedad de especies según criterios de resistencia y durabilidad.

Tabla 2. Especies más utilizadas en Quito y su zona de influencia (grupo estructural B).

| Nombre común | Nombre científico | Grupo | procedencia | Módulo de elasticidad (Mpa) | Flexión Admisible |
|--------------|-----------------------|-------|----------------|-----------------------------|-------------------|
| Chanul | Humiriastrum procerum | B | Sierra - Costa | 10.000 | 16.5 |
| Moral fino | Chlorophora | B | Sierra | 10.000 | 16.5 |
| Pituca | Clarisia rasemosa | B | Sierra | 10.000 | 16.5 |
| Mascarey | Hieronyma chocoensis | C | Sierra - Costa | 9.000 | 11.0 |

Fuente. Catálogo de madera estructural del Ecuador, NEC-SE-MD

Es importante utilizar especies nativas o naturalizadas con historial comprobado en elementos estructurales y disponibilidad local, por razones tanto técnicas como de sostenibilidad y pertinencia patrimonial. En Zámiza y el Distrito Metropolitano de Quito, el chanul, moral fino, pituca y mascarey aparecen frecuentemente en cubiertas y cerchas patrimoniales.

1.8.2. Propiedades físico-mecánicas relevantes

Las propiedades físico-mecánicas de la madera son primordiales para su uso en estructuras, especialmente en elementos como las cerchas, donde se requiere resistencia, estabilidad y durabilidad. Estas propiedades definen la trabajabilidad del material frente a esfuerzos o fenómenos externos, condiciones ambientales y procesos constructivos.

La densidad básica en maderas tiene una relación directa con la resistencia mecánica: a mayor densidad, mayor capacidad de carga. Por otro lado, el módulo de elasticidad y el módulo

de rotura permiten conocer la rigidez del elemento y su límite a flexión, lo cual es básico para garantizar que las cerchas no sufran deformaciones excesivas.

El contenido de humedad también influye significativamente en el desempeño estructural. Para aplicaciones en obra, se recomienda que la madera tenga entre 12% y 14% de humedad para la ciudad de Quito, ya que valores superiores pueden provocar hinchamientos, deformaciones o incluso fallas en las uniones. La durabilidad natural de la especie seleccionada es otro factor clave, sobre todo en viviendas patrimoniales expuestas a condiciones climáticas variables. Una madera resistente a hongos, insectos xilófagos y a la intemperie prolonga la vida útil de la estructura.

Otro punto a destacar en el uso de maderas estructurales, es la trabajabilidad y la compatibilidad con herrajes metálicos, que son aspectos prácticos que no deben descuidarse: la madera debe permitir cortes limpios, taladrado preciso y fijación segura de pernos sin agrietarse, lo que facilita una ejecución correcta y segura en obra.

Como señala Zuluaga (2020), “la correcta selección de la especie de madera y el conocimiento de sus propiedades mecánicas son fundamentales para garantizar el comportamiento estructural esperado, especialmente en sistemas de cerchas donde las uniones concentran esfuerzos críticos”.

Tabla 3. Características mecánicas agrupadas por la NEC-SE-MD.

| Grupo madera | Módulo de Elasticidad (MPa) | Flexión admisible (MPa) | Tracción admisible (MPa) | Corte admisible (MPa) |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| A | 13.000 | 23.1 | 14.5 | 1.65 |
| B | 10.000 | 16.5 | 10.5 | 1.32 |
| C | 9.000 | 11.0 | 7.5 | 0.88 |

Fuente. NEC-SE-MD

1.9. Mantenimiento y durabilidad de la unión perno a media madera

El mantenimiento preventivo de las uniones es clave para solventar su durabilidad; se recomienda:

- Revisar constantemente el estado de sujeción de los pernos y la ausencia de corrosión (oxidación) en elementos metálicos.
- Detectar la posible aparición de grietas o apertura de las uniones debido a movimientos causados por sismos en la madera.
- Aplicar protectores y selladores en las uniones, especialmente en zonas expuestas a la intemperie.
- Realizar limpieza, controles de ataque biológico y sustitución de elementos dañados (apolillados), preferentemente con el mismo tipo de madera y siguiendo la lógica de intervención mínima en las cerchas.

Según la FAO (2021), “el mantenimiento periódico de las estructuras en madera es esencial para evitar deterioros progresivos, especialmente en uniones expuestas, donde la humedad y los agentes biológicos pueden comprometer la estabilidad estructural”.

Capítulo II: Metodología

2.1. Enfoque y tipo de investigación

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo-técnico apropiado para entender a fondo las prácticas de construcción tradicionales presentes en las casas patrimoniales de la parroquia de Zámbriza. La investigación tiene un carácter aplicado pues su resultado final un manual didáctico para la ejecución precisa de la unión perno a media madera en las cerchas de madera tradicionales a dos aguas que pretende influir directamente en la optimización de los procedimientos constructivos en entornos auténticos.

Este acercamiento resuelve un problema extensamente reconocido en el marco teórico propio evidenciando que las conexiones de las cerchas acostumbran a hacerse sin criterios técnicos definidos generando deformaciones, pandeos y fallas estructurales. La Junta del Acuerdo de Cartagena “JUNAC” observó que más del 60% de la construcción en Ecuador es informal lo cual está a la par de la realidad apreciada en Zámbriza, donde dominan las técnicas empíricas en la creación de uniones de cerchas.

Dado que es un estudio que observa, documenta y examina las técnicas existentes sin cambiar variables se posiciona dentro de un diseño no experimental. El enfoque también es descriptivo y analítico, porque busca describir en detalle el estado actual de las uniones en cerchas y compararlas con las normativas vigentes, incluyendo la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-M (Estructuras de Madera) y la NEC-SE-VIVIENDA, que establece las tolerancias mínimas y los espaciamientos para uniones mecánicas, pernos y perforaciones.

2.2. Unidad de análisis y población de estudio

La unidad de análisis de la presente investigación corresponde a las uniones de cerchas de madera construidas tradicionalmente a dos aguas, presentes en viviendas patrimoniales inventariadas pertenecientes a la parroquia de Zámiza, cantón Quito.

La población de estudio está conformada por quince viviendas identificadas en el inventario patrimonial actualizado del Distrito Metropolitano de Quito en el año 2018, las cuales conservan sistemas estructurales de madera en sus cubiertas. Estas viviendas componen el universo de análisis, ya que presentan condiciones constructivas representativas de uso empírico de uniones perno – media madera en contextos patrimoniales establecidos.

2.3. Método de investigación

El método empleado, descriptivo–analítico, incorpora validación técnica; se estructura en cinco fases operativas. Con este procedimiento metodológico, es posible capturar el saber local, confrontarlo con estándares técnicos modernos y presentar una solución didáctica y a medida. Las etapas a seguir de acuerdo a lo establecido:

1. Investigación de campo en viviendas tradicionales.
2. Localización de fallas estructurales en las distintitas uniones de las cerchas.
3. Estudio comparativo entre prácticas informales y la normativa NEC-SE-M / INEN.
4. Creación de un sistema gráfico-constructivo para el manual.
5. Evaluación del manual con profesionales y maestros de obras.

El empleo de validación mixta satisface la necesidad que el manual, no solo sea técnicamente impecable, sino también sencillo para aquellos con formación práctica. En el contexto local, es común que muchos constructores cuenten con una experiencia empírica sólida, pero no necesariamente con una preparación académica formal; por ello, requieren materiales didácticos comprensibles que fortalezcan sus habilidades técnicas y faciliten la correcta ejecución de uniones estructurales.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información.

2.4.1. Observación directa en campo

La observación directa es el foco central de la recolección de datos. Quince visitas técnicas que se realizaron a viviendas patrimoniales, una cifra consistente con el inventario 2018 actualizado de Zámbara, donde se registrarán tipologías, condiciones reales de cerchas y el estado de sus uniones.

Para el levantamiento de información se utilizó una ficha técnica de inspección en campo, elaborada específicamente para el presente estudio, la cual permitió registrar las características estructurales de las cerchas y el estado de sus uniones (ver Anexo 2). La ficha incluye el registro fotográfico, el estado actual de las cerchas, la identificación del tipo de unión (clavada, media madera, empernada, caja y espiga, etc.), las condiciones físicas de la madera, los errores comunes en la ejecución y la verificación de la presencia o ausencia de pernos y arandelas.

Este proceso tiene como propósito revisar con detenimiento cómo están construidas las uniones de las cerchas en las viviendas seleccionadas. Durante la inspección se verificará si los rebajes fueron ejecutados con un control dimensional adecuado y si las perforaciones realizadas para los pernos (en los casos en que existan) respetan las tolerancias técnicas recomendadas. En

este sentido, se tomará como referencia la indicación que establece que “el diámetro del orificio para el perno no debe exceder en más de 1 mm del diámetro real”

De igual manera, se evaluará el estado físico de la madera, identificando desgastes, deformaciones o signos de deterioro. También se registrará el tipo de unión empleada, ya sea media madera, perno a media madera, uniones carpinteras tradicionales o con refuerzos metálicos incorporados en intervenciones posteriores. Finalmente, se comprobará la presencia o ausencia de elementos de fijación como clavos, tornillos, pernos y arandelas, así como posibles reemplazos improvisados.

Esta revisión completa permitirá tener una idea clara de qué tan cercanas están las prácticas constructivas que se aplican en la zona respecto a los criterios técnicos que deberían aplicarse en estructuras de madera, especialmente en edificaciones con valor patrimonial.

2.4.2. Encuestas y entrevistas semiestructuradas

Como parte del proceso metodológico, se aplicaron encuestas y entrevistas estructuradas dirigidas a dos grupos de participantes:

1. Ocupantes o propietarios de las viviendas inventariadas.
2. Profesionales del ámbito constructivo, como maestros de obra, carpinteros, ingenieros y arquitectos que trabajan en esta área de la construcción, sobre todo en rehabilitaciones.

Esta diferenciación permitirá obtener información complementaria: por un lado, la percepción del usuario respecto al estado de las cerchas y sus intervenciones históricas; y por otro, el criterio técnico y empírico de quienes ejecutan directamente las uniones en obra. La elección de esta técnica responde a la necesidad de comprender no solo las condiciones físicas en las que se

realizan las uniones de madera, sino también las prácticas, decisiones y conocimientos que influyen en su construcción cotidiana.

El uso de entrevistas semiestructuradas resulta adecuado porque combina preguntas previamente definidas con la posibilidad de profundizar en aspectos específicos según la experiencia del entrevistado. Esto facilita captar la diversidad de prácticas existentes, la transmisión del conocimiento entre generaciones y los desafíos que enfrentan quienes trabajan con cerchas tradicionales, especialmente en uniones como la perno-media madera.

Los ejes temáticos que guiarán las encuestas y entrevistas, tanto para propietarios como para profesionales, se organizan de la siguiente manera:

- **Prácticas actuales de construcción:** Se indagará cómo se ejecutan hoy las uniones de cerchas, qué técnicas predominan, qué herramientas se utilizan y qué variaciones existen entre constructores o proyectos.
- **Criterios empleados en obra:** Se buscará conocer si las decisiones constructivas se basan en experiencia empírica, recomendaciones familiares, soluciones improvisadas o criterios técnicos derivados de normativas o formación profesional.
- **Fallas comunes y problemas frecuentes:** Se pedirá a los participantes que comenten los errores que suelen aparecer en este tipo de uniones, como cortes mal hechos, perforaciones incorrectas, uso inadecuado de fijaciones o problemas con la madera. También se recogerán las dificultades que enfrentan al trabajar, por ejemplo, disponibilidad de herramientas, calidad de la madera o falta de capacitación.
- **Conocimiento y uso de normativas:** Se preguntará sobre el grado de familiaridad con documentos como la NEC-SE-M, Normas INEN, lineamientos de la JUNAC o manuales

del MIDUVI, así como sobre las razones que pueden limitar su aplicación en obras tradicionales.

Dado lo observado en contextos similares, se prevé que una parte de los participantes, especialmente aquellos sin formación técnica formal, indique no utilizar normativas debido a la dificultad para acceder a los documentos oficiales o comprender su lenguaje especializado. Asimismo, es posible que varios entrevistados destaquen que, ante la ausencia de guías claras y accesibles, muchas decisiones constructivas continúan basándose en experiencia heredada o métodos enseñados por maestros de obra más antiguos.

Estas expectativas coinciden con lo señalado por la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), que ha identificado que buena parte de la construcción en Ecuador se desarrolla bajo prácticas informales donde predomina el conocimiento empírico sobre la aplicación de criterios técnicos normalizados. Por ello, los resultados de estas encuestas y entrevistas fortalecerán la pertinencia del manual propuesto, al evidenciar la necesidad de contar con materiales didácticos sencillos, contextualizados y comprendidos por los actores locales, que contribuyan a mejorar la calidad de las uniones y reducir errores en obras tradicionales.

2.4.3. Revisión normativa y documental

La revisión de normativas y la consulta de documentos fue, sin duda, crucial para el proceso, pues fijó los estándares técnicos que guiarán la evaluación de las uniones encontradas en las casas históricas de Zámiza. En un contexto de costumbres ancestrales con soluciones modernas, se torna muy importante confrontar el saber popular con las normativas actuales, tanto para asegurar la calidad estructural como para garantizar intervenciones compatibles con la conservación patrimonial. Además, la consulta de documentos técnicos, normativos y académicos ayudó a dilucidar las obligaciones, restricciones y márgenes que establece la normativa ecuatoriana

respecto al empleo de madera estructural, el diseño de uniones y la forma de intervenir en bienes con valor histórico. Esto, facilitó construir una base teórica sólida y útil para la elaboración del manual didáctico.

En este marco se revisó:

NEC-SE-M (Estructuras de Madera): tolerancias dimensionales, espaciamientos mínimos, espesores críticos, requisitos para uniones empernadas y parámetros de diseño estructural aplicables a madera.

NEC-SE-VIVIENDA: lineamientos para edificaciones de hasta dos pisos, en especial aquellas con estructuras livianas como las encontradas en Zámboza.

Normas INEN: clasificación visual, requisitos de calidad y propiedades físico-mecánicas exigidas para el uso de maderas estructurales.

Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC): se revisaron las recomendaciones técnicas emitidas por este organismo andino, especialmente aquellas relacionadas con el uso adecuado de materiales locales, la implementación de sistemas constructivos tradicionales en madera y la necesidad de contar con procedimientos mínimos que garanticen seguridad estructural. La JUNAC también destacó históricamente la alta presencia de construcción informal en la región andina, señalando la importancia de mejorar la calidad de las uniones y el control en obra para reducir fallas estructurales en viviendas rurales y patrimoniales.

Catálogo de Madera Estructural del Ecuador: documentación indispensable para identificar las propiedades de especies como chanul, moral fino y mascarey, mencionadas también en la **tabla 1** de especies estructurales típicas para Quito y la región.

Publicaciones académicas nacionales: se revisaron varios trabajos desarrollados en universidades ecuatorianas donde se analiza el comportamiento estructural de la madera en construcciones tradicionales, así como los peligros asociados a la construcción empírica. Estos estudios coinciden en señalar que las uniones son uno de los puntos más sensibles dentro del sistema estructural, especialmente cuando se ejecutan sin supervisión técnica, sin control dimensional o empleando fijaciones inadecuadas. La literatura nacional también destaca problemas recurrentes como el uso de madera sin clasificación visual, cortes excesivos, perforaciones improvisadas y la falta de mantenimiento, factores que disminuyen la capacidad resistente de las cerchas y aumentan la vulnerabilidad frente a cargas permanentes y eventos sísmicos. Esta preocupación también ha sido reconocida en el ámbito regional; como señala la Secretaría General del Acuerdo de Cartagena, “En las estructuras construidas con madera, la calidad de las uniones es determinante para el desempeño global del sistema; las conexiones deficientemente ejecutadas reducen significativamente la capacidad resistente y aumentan la vulnerabilidad de la edificación, especialmente en zonas sísmicas” (PAVC, 1987, Construcciones en Madera). En conjunto, estas publicaciones y lineamientos refuerzan la necesidad de contar con manuales claros y adaptados a la realidad local para mejorar la calidad de las uniones en viviendas patrimoniales y rurales del país.

2.4.4. Procesamiento y análisis de la información

La información obtenida durante las visitas de campo, así como la recopilada mediante encuestas y entrevistas, será organizada y analizada en tres niveles. Este proceso permitirá comparar las prácticas observadas con los criterios técnicos establecidos en la normativa y con la experiencia reportada por constructores y profesionales.

2.4.4.1. Análisis técnico comparativo

Una vez levantada la información en las viviendas inventariadas, se realizará un análisis técnico comparativo entre las uniones de las cerchas observadas y los parámetros establecidos por la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), la NEC-SE-M y otras referencias normativas aplicables. En este análisis se evaluarán principalmente:

- *Espaciamientos mínimos entre pernos*, se considera los valores recomendados: 4d en dirección de la fibra, 5d hacia bordes cargados y 2d hacia bordes descargados.
- *Diámetro de perforación*, verificar que no exceda el diámetro del perno más de 1 mm.
- *Profundidad y proporción de los rebajes*, se evaluará que no se reduzca la sección estructural por debajo de lo permitido (mayor al 50% de la pieza).
- *Espesores mínimos de las piezas*, según lo indicado en la normativa para evitar fallas por aplastamiento o desgarro.

Esta diferencia permitirá identificar hasta qué punto las uniones encontradas en las viviendas se ajustan a los criterios técnicos establecidos. Aunque los resultados dependerán del trabajo de campo, es razonable esperar diferencias entre lo que indican las normas y lo que realmente se construye, sobre todo por la presencia de métodos empíricos en la zona. Los hallazgos de este análisis servirán como fundamento para elaborar el manual didáctico y para definir recomendaciones prácticas que respondan a la realidad local.

2.4.4.2. Síntesis gráfica y constructiva

A partir de la información que se recoja en campo y de las respuestas de las encuestas y entrevistas, se elaborará una síntesis gráfica y constructiva que facilite la comprensión y aplicación de las recomendaciones. Esta síntesis incluirá:

- *Esquemas detallados*, de la unión perno a media madera, con vistas y cortes suficientes para entender el ensamble.
- *Secuencias paso a paso*, del proceso constructivo, desde la preparación de las piezas hasta la sujeción final de los pernos.
- *Plantillas y listas de verificación*, este punto es directamente para usar en obra como control de tolerancias, comprobación de orificios, espaciamientos y estados de la madera.
- *Tablas comparativas*, que muestren la ejecución empírica observada frente a los requisitos normativos, para señalar desvíos y prioridades de intervención.

Esta presentación gráfica transformará los lineamientos técnicos en material accesible y práctico, respondiendo a la necesidad detectada en el marco teórico de contar con un documento didáctico, claro y aplicable para maestros y técnicos de obra.

2.4.4.3. Validación Técnica

El manual didáctico del ensamble perno a media madera, será revisado por un equipo técnico integrado por un ingeniero estructural con experiencia en sistemas constructivos en madera, un arquitecto especializado en conservación patrimonial y dos maestros de obra que han trabajado durante años en viviendas tradicionales. La participación de estos perfiles permitirá evaluar el contenido desde distintas miradas: la técnica, lo patrimonial y la práctica cotidiana de obras en estructura de madera.

Durante este proceso se analizará si el lenguaje empleado es claro, si las medidas y secuencias constructivas pueden seguirse sin dificultad y si las recomendaciones son realmente aplicables en las condiciones locales donde se ejecutan las cerchas. También se revisará que los procedimientos planteados mantengan coherencia interna y que no contradigan los criterios

propios del trabajo con madera tradicional, como la mínima intervención, la compatibilidad de materiales y la posibilidad de desmontaje o corrección futura.

La opinión de los maestros de obra resultará especialmente valiosa, pues permitirá verificar si los detalles propuestos son comprensibles y útiles para quienes ejecutan directamente las uniones. De igual forma, la revisión del arquitecto y del ingeniero ayudará a asegurar que el manual mantenga el equilibrio entre la técnica y el respeto por los elementos patrimoniales, evitando soluciones que puedan alterar la autenticidad de las viviendas.

Gracias a esta validación conjunta, el manual no solo será técnicamente correcto, sino también práctico, comprensible y adecuado para su uso en intervenciones reales, respondiendo a las necesidades de los constructores y al mismo tiempo garantizando la conservación responsable de las estructuras en madera.

Capítulo III

3.1. Diagnóstico y Análisis de Cerchas existentes

El presente capítulo expone los resultados obtenidos durante las visitas de campo efectuadas a las viviendas inventariadas dentro de la parroquia de Zábiza. Estas inspecciones tuvieron como propósito principal determinar el estado real de las cerchas de madera que conforman las cubiertas, características de fallas más comunes y contrastar los hallazgos con los criterios técnicos que se establece en normativas ecuatorianas o guías utilizadas como la JUNAC o su vez bajo lineamientos emitidos por el MIDUVI para edificaciones patrimoniales.

Figura 5. Unión media madera con perno no conforme a norma.



Nota. Fuente Propia

Figura 6. Evaluación visual de cubierta en madera con deterioro en puntos de unión estructural.



Nota. Fuente Propia

Las uniones de las cerchas existentes muestran una ejecución empírica, sin atender criterios técnicos ni normativos básicos para estructuras de madera. La reducción de la sección resistente y el uso de uniones inadecuadas afectan la correcta transferencia de esfuerzos, lo que evidencia la necesidad de un manual didáctico claro para la unión perno-media madera en intervenciones patrimoniales.

El análisis se organiza en tres puntos clave que permite una lectura ordenada y sistemática:

3.1.1 Descripción del levantamiento

Las visitas de campo se realizaron mediante observación directa, registro fotográfico y elaboración de fichas técnicas para cada vivienda. Se levantaron datos sobre, tipología estructural, tipos de uniones utilizadas, presencia de deformaciones, estado físico de la madera, condiciones de humedad y ventilación, nivel de intervención previa.

Durante el recorrido se obtuvo información que permitió determinar patrones comunes de construcción, así como errores repetitivos que inciden directamente en la estabilidad de la cubierta. En el siguiente cuadro podemos observar los datos resumidos de cada cercha de las viviendas visitadas.

Tabla 4. Cuadro resumen de levantamiento de información en campo.

| Vivienda (predio) | Tipo de cercha | Estado general | Tipo de unión predominante | Pendiente de la cercha (°) | Observaciones | Cumplimiento normativo |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------|---|----------------------------|---|------------------------|
| V1, (118305) | | | | | Predio no localizado | |
| V2, Junta Parroquial (283012) | Cercha tipo simple a dos aguas | Aceptable | Uniones carpinteras + clavos con destajes | 20° | Cubierta remodelada, cerchas con cuerdas y diagonales | Cumple |

| | | | | | | |
|-----------------|---|------------|--|-----|---|---------------------|
| | | | | | rectangulares, tratadas. | |
| V3 (114812) | Cercha simple a dos aguas | Aceptable | Unión carpintera, media madera con pernos | 30° | Ligera pérdida de sección, con humedad, apolillada. | Cumple parcialmente |
| V4 (108902) | Cercha simple | Mala | Solo clavos | 20° | Desalineación general, uniones no aceptables, perdida de clavos, etc. | No cumple |
| V5 (119025) | Cercha simple a dos aguas con diagonales | Aceptable | Unión caja y espigo, empernadas, perno-media madera. | 30° | Hongo superficial | Cumple parcialmente |
| V6 (283054) | Cercha simple a dos aguas | Mala | Solo clavos | 30° | uniones no aceptables, perdida de clavos, maderas agrietadas. | No cumple |
| V7 (110298) | Cercha simple a dos aguas con tirante | Deficiente | Uniones empernadas (no media madera) | 20° | Uniones desalineadas, sin cortes en madera, agrietadas. | No cumple |
| V8 (108763) | Cercha simple a dos aguas | Regular | Uniones caja y espigo | 25° | Uniones desalineadas | No cumple |
| V9 (121556) | Cercha simple a dos aguas con diagonal a un solo lado | Regular | Uniones amarradas con cabuya | 20° | Uniones apolilladas | No cumple |
| V10 (282911) | Cercha simple a dos aguas | Mala | Uniones clavadas | 20° | Uniones desalineadas, falta de clavos, apolilladas, etc. | No cumple |
| V11 (110273) | Cercha simple a dos aguas con diagonales | Mala | Uniones clavadas | 30° | Uniones desalineadas, falta de clavos, apolilladas, con humedad. | No cumple |

| | | | | | | |
|------------------|--|---------|---------------------------------------|-----|--|---------------------|
| V12 (5051216) | Cercha simple a dos aguas con diagonales | Mala | Uniones clavadas, destajes en madera. | 35° | Uniones desalineadas, falta de clavos, apolilladas, etc. | No cumple |
| V13 (543235) | Cercha simple a dos aguas | Mala | Uniones clavadas, destajes en madera. | 30° | Uniones desalineadas, falta de clavos, apolilladas, con humedad. | No cumple |
| V14 (113409) | Cercha simple a dos aguas | Regular | Uniones carpinteras, clavadas. | 20° | Cerchas remodeladas, presencia de humedad. | Cumple parcialmente |
| V15 (283024) | | | | | Predio no localizado | |

Para complementar el desarrollo del presente estudio a partir del levantamiento de campo, se utilizaron cuadros extraídos del Oficio N.º SG-2704 (2018), emitido por la Secretaría General del Concejo Metropolitano de Quito, en el cual se presenta la actualización de los inventarios patrimoniales elaborados por el Instituto Metropolitano de Patrimonio y analizados por la Subcomisión Técnica de Áreas Históricas y Patrimonio. Dichos cuadros sirven como fuente referencial para la identificación y caracterización del inventario patrimonial de predios en la parroquia de Zábiza.

Tabla 5. Cuadros referenciales del inventario patrimonial de predios de la parroquia de Zábiza (actualización 2018).

| CUADRO N° 5A | | | |
|---|----------------|--------------------|---|
| ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS URBANOS ARQUITECTÓNICOS DEL PATRIMONIO CULTURAL | | | |
| PROPUESTA | DÉCADA DE 1990 | ACTUALIZACIÓN 2018 | OBSERVACIONES |
| PREDIOS INVENTARIADOS | 10 | 7 | PREDIOS PATRIMONIALES DECLARADOS MEDIANTE ORDENANZA METROPOLITANA N° 260. |
| PREDIOS INVENTARIADOS DERROCADOS | | 2 | PREDIOS No. 142780 Y 118285 |
| PREDIOS INVENTARIADOS CATALOGACION NEGATIVA | | 1 | PREDIO No. 282981 |

| CUADRO N° 5C | | | | | | | | |
|--|--------|---|-----------------|--------------|------|------|-------------------|------------------------------------|
| PREDIOS QUE CONFORMAN EL INVENTARIO ACTUALIZADO DE LA PARROQUIA ZÁMBIZA - ACTUALIZACIÓN 2018 | | | | | | | | |
| N° | PREDIO | PROPIETARIO | CLAVE CATASTRAL | CATALOGACIÓN | | | INVENTARIADO 1990 | INCLUSIÓN INTERÉS PATRIMONIAL 2018 |
| | | | | ABS. | PAR. | NEG. | | |
| 1 | 118305 | MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA, | 11913-08-005 | | X | | | X |
| 2 | 283012 | JUNTA PARROQUIAL ZAMBIZA | 11913-09-036 | | X | | | X |
| 3 | 114812 | MIRANDA GUZMAN LUIS TARQUINO | 11913-13-013 | | X | | X | |
| 4 | 108902 | TUPIZA GUALOTO SEGUNDO MARCELINO Y OTRA | 11913-13-009 | | X | | X | |
| 5 | 119025 | RODRIGUEZ GUZMAN MARIA TERESA JOSEFINA | 11913-13-002 | | X | | X | |
| 6 | 283054 | CARVAJAL MARIA ERCILIA | 11913-13-011 | | X | | | X |
| 7 | 110298 | CARRERA GALARZA FANNY FABIOLA Y OTROS | 11913-13-010 | | X | | | X |
| 8 | 108763 | DELGADO GONZALEZ CESAR OSWALDO | 11913-06-001 | | X | | X | |
| 9 | 121556 | GALARZA JOSE JAIME | 11914-22-002 | | X | | | X |
| 10 | 282911 | TOAPANTA OCAÑA ROSA ELVIRA Y OTROS | 11913-04-009 | | X | | X | |

| N° | PREDIO | PROPIETARIO | CLAVE CATASTRAL | CATALOGACIÓN | | | INVENTARIADO 1990 | INCLUSIÓN INTERÉS PATRIMONIAL 2018 |
|----|---------|--|------------------|--------------|------|------|-------------------|------------------------------------|
| | | | | ABS. | PAR. | NEG. | | |
| 11 | 110273 | GALARZA PEREZ EDUARDO ALFREDO HRDS | 11913-04-005 | | X | | X | |
| 12 | 5051216 | GUALOTO LINCANGO JOSEFA Y OTRO | 12014-03-010 | | X | | X | |
| 13 | 543235 | LEMA PAREDES MARIA ERNESTINA | 11914-16-007-004 | | X | | X | |
| 14 | 113409 | LEMA JUNIA GABRIEL | 11914-04-001 | | X | | X | |
| 15 | 283024 | CONSEJO GUBERNATIVO DE BIENES ARQUIDIOCESANOS DE QUITO | 11913-09-038 | X | | | | X |

3.1.2. Identificación de fallas más frecuentes

Con base de los registros recopilados se identificaron fallas recurrentes tales como:

- a. **Uniones empíricas;** El hallazgo más común y frecuente fue el uso de clavos comunes como principal medio de unión. En varios casos se identificaron uniones improvisadas donde los cordones y las diagonales se fijaban sin ningún tipo de corte o ensamble tradicional. Esto contradice lo que exige NEC-SE-Madera, donde se establece que las uniones deben permitir transmisión adecuada de esfuerzos y evitar deslizamientos.
- b. **Fisuramiento en piezas;** en varios elementos constituyentes de las cerchas se puede observar fisuramiento longitudinal, el cual podría estar asociado a esfuerzos de tracción o por el paso del tiempo y su poco mantenimiento.
- c. **Deformaciones excesivas;** En elementos sometidos a flexión como es normal en cubiertas sus cordones superior e inferior presentan deformaciones excesivas como producto del sometimiento a cargas permanentes y la falta de refuerzo adecuados.

- d. **Ausencia de cortes estructurales adecuados;** En la mayoría de cerchas no se observaron uniones tipo media madera, cola de milano o rebajes mínimos. Esta ausencia genera puntos débiles que concentran esfuerzos y aceleran la deformación del sistema estructural.
- e. **Pérdida de sección por humedad;** Varias piezas presentaron degradación por filtraciones de agua por el entejado, principalmente en los extremos apoyados sobre los muros. La falta de ventilación y la presencia de goteras en las cubiertas aumentan este deterioro.
- f. **Elementos desalineados;** En ciertos casos se evidenciaron diferencias entre la ubicación del tirante y el eje de las diagonales o del pendolón o rey. Este problema afecta el correcto trabajo a tracción del tirante (cuerda inferior), generando apertura en las uniones.

Tabla 6. Cuadro de análisis de falla crítica.

| Falla crítica | Descripción | Nivel | Severidad | Consecuencia |
|-------------------------|--|--------------|------------------|---------------------------------------|
| Uniones débiles | Clavos en lugar de pernos en ensambles | Alta | Alta | Desplazamientos y roturas |
| Pérdida de sección | Degradación por humedad y polilla | Media | Alta | Reducción de capacidad estructural |
| Pendiente insuficiente | Menor a 30° | Media | Media | Sobrepeso y filtraciones |
| Deformación del tirante | Flechas visibles | Media | Alta | Riesgo de falla estructural y colapso |
| Falta de arriostres | No existen diagonales ni amarres | Bajo | Alta | Inestabilidad de la estructura |

3.1.3. Comparación normativa versus estado real

Los hallazgos se contrastaron con los parámetros establecidos en las normativas ecuatorianas y en las recomendaciones internacionales aplicables.

Tabla 7. Cuadro comparativo entre norma y estado real de las cerchas.

| Elemento evaluado | Norma aplicable | Requisitos según normativa | Condición observada | Implicación estructural |
|----------------------------|-------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Uniones principales | NEC-SE-Madera, JUNAC | Unión debe asegurar transferencia de cargas sin deslizamiento | Uniones solo con clavos y en varios casos pérdida de los mismos. | Pérdida de rigidez, fisuramiento |
| Cortes estructurales | CPE INEN-NEC-SE-M 26-7, JUNAC | Ensamblajes con rebajes, cortes limpios | Pocos casos con rebajes en la madera; uso de clavos. | Fallas por apertura, fisuramiento |
| Pendiente de cobertura | JUNAC / NEC-SE-M | Mínimo 30° para teja y metal | Pendientes 18°-30° | Acumulación de agua, sobrepeso |
| Estado físico de la madera | INEN 2580 - JUNAC | Madera seca, libre de hongos | Madera húmeda, con deterioro y polilla | Reducción de resistencia |
| Apoyo sobre muros | MIDUVI, JUNAC | Barrera antihumedad y asiento nivelado | Madera apoyada directamente y con durmientes de madera en deterioro | Pudrición acelerada |
| Alineación de tirantes | NEC-SE-M | Eje debe coincidir con cordón inferior | Desalineamiento leve a severo | Falla por tracción no centrada |
| Arriostramientos | NEC-SE-M | Arriostre superior e inferior | Ausencia total en varios casos | Inestabilidad lateral |

La comparación evidenció que muchas de las cerchas inspeccionadas no cumplen con los requisitos actuales de seguridad estructural, principalmente por la pérdida de sección resistente y la falta de mantenimiento preventivo. Sin embargo, se constató que algunas viviendas mantienen

sistemas constructivos tradicionales que, pese a su antigüedad, conservan un desempeño aceptable gracias al uso de maderas de alta densidad y técnicas artesanales de unión.

3.1.4. Problemas críticos que justifican la propuesta del manual didáctico

Con base al levantamiento de campo, se puede concluir que los principales factores que afectan la vida útil de las cerchas tradicionales son:

- Falta de criterios de selección de madera para cubiertas
- Inexistencia de procedimientos estandarizados
- Ausencia de procesos con guía especializada, planos o manuales didácticos de armado.
- Uso generalizado de técnicas empíricas tradicionales.
- Intervenciones inadecuadas en reparaciones posteriores.

Esto da una visión clara sobre la necesidad de contar con un manual didáctico, dirigido a maestros y técnicos, que integre los criterios normativos y buenas prácticas constructivas.

3.2. Síntesis del diagnóstico

El diagnóstico realizado en las viviendas patrimoniales de la parroquia de Zámbriza evidencia que las principales deficiencias estructurales en las cerchas de madera tradicionales a dos aguas se ocasionan en la ejecución empírica de las uniones y el predimensionamiento de las piezas. En la mayoría de los casos, estas se resuelven mediante clavos comunes y cortes inadecuados, sin respetar criterios técnicos mínimos establecidos en la normativa vigente.

Las fallas más recurrentes corresponden a uniones débiles, fisuramientos, deformaciones en los tirantes y cuerdas principales, además por pérdida de sección de la madera por humedad, apolillamiento y falta de mantenimiento. Al contrastar el estado real de las cerchas con la Norma Ecuatoriana de la Construcción, las recomendaciones de la JUNAC, se constató que un número significativo de viviendas especialmente las pertenecientes a personas naturales no cumple con los requisitos básicos de seguridad estructural.

En este contexto, la ausencia de procedimientos constructivos estandarizados y de material didáctico accesible para los constructores locales justifica la necesidad de elaborar un manual didáctico y práctico que oriente la correcta ejecución de la unión perno a media madera, contribuyendo a mejorar el desempeño estructural de las cubiertas sin afectar el valor patrimonial de las viviendas.

Capítulo IV

PROPUESTA: MANUAL DIDÁCTICO DE UNIÓN PERNO A MEDIA MADERA EN CERCHAS TRADICIONALES A DOS AGUAS

4.1. Introducción

El presente capítulo desarrolla la propuesta del manual didáctico para la correcta ejecución de la unión perno a media madera, aplicada a cerchas tradicionales a dos aguas en viviendas patrimoniales de la parroquia de Zámbriza. Este capítulo tiene un enfoque técnico constructivo, orientado a la transferencia de conocimientos técnicos normados hacia maestros de obra, técnicos y constructores locales, evitando el desarrollo de cálculos estructurales propios del ejercicio profesional de la ingeniería civil.

La propuesta se fundamenta en la interpretación técnica de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-M), el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), normas INEN y cartillas técnicas de construcción en madera, adaptadas a la realidad constructiva local y al contexto patrimonial.

4.2. Objeto del manual didáctico

El manual didáctico tiene como propósito el orientar de manera clara, gráfica y práctica la ejecución correcta de la unión perno a media madera, garantizando que su aplicación en obra cumpla criterios mínimos de seguridad, durabilidad y compatibilidad con edificaciones patrimoniales, preservando su valor arquitectónico.

4.3. Alcance y limitaciones del manual didáctico

4.3.1. Alcance

El manual se centra en la unión perno a media madera, aplicada en elementos de cerchas tradicionales a dos aguas de viviendas de uno y dos pisos. Su contenido busca servir como guía práctica y didáctica para la correcta ejecución de esta unión que faciliten su aplicación en obra.

En particular, el manual comprende:

- La descripción técnica y detallada de la unión perno a media madera, con apoyo gráfico para su comprensión.
- La identificación de errores constructivos usuales que suelen presentarse en obra, con el fin de prevenir fallas y mejorar la calidad del trabajo.
- La definición de criterios técnicos normativos que orienten la correcta ejecución, asegurando seguridad y durabilidad.
- La presentación de un procedimiento constructivo paso a paso, pensado para ser aplicado directamente en el campo y servir como referencia práctica para los equipos de trabajo.

4.3.2. Limitaciones

Es importante precisar que el manual tiene un carácter didáctico y no sustituye el diseño estructural que debe ser realizado por un ingeniero civil. Por lo tanto:

- No se incluyen cálculos de cargas actuantes en las cerchas, esfuerzos ni dimensionamientos estructurales, ya que estos requieren un análisis especializado.
- No se desarrollan tipologías completas de cerchas, sino únicamente la unión específica objeto de estudio.

- El manual no aborda la evaluación global de cubiertas ni otros aspectos de diseño integral, limitándose a ofrecer directrices prácticas para la correcta ejecución de la unión perno a media madera.

4.4. Fundamento normativo y técnico del manual

El manual se apoya en un marco normativo y técnico que garantiza la validez de sus recomendaciones constructivas reconocidas en el medio local. Por ello su contenido se sustenta en:

- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-M (Estructuras de Madera).
- Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino – JUNAC.
- Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural – JUNAC.
- Normas INEN 2015 relacionadas con madera y elementos de fijación (pernos, arandelas, tornillería).
- Cartillas técnicas y manuales prácticos de construcción en madera utilizados en la región andina.

Estas referencias permiten traducir los criterios normativos en recomendaciones constructivas comprensibles y aplicables en obra, respetando el nivel de formación técnica.

4.5. Descripción técnica de la unión perno a media madera

La unión perno a media madera es un tipo de ensamble tradicional ampliamente utilizado en cerchas de cubiertas a dos aguas. Su principio constructivo consiste en el rebaje parcial de las piezas de madera a unir, de modo que ambas compartan una superficie de contacto apropiada, aseguradas mediante uno o más pernos metálicos con arandelas.

Entre sus principales ventajas que este tipo de unión presenta son:

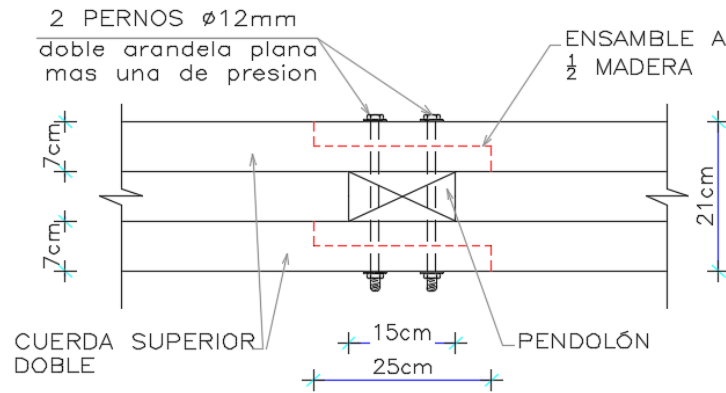
- Buena transmisión de esfuerzos por contacto directo.
- Facilidad de ejecución con herramientas básicas.
- Afinidad con sistemas constructivos tradicionales.

Sin embargo, su desempeño depende directamente de una correcta ejecución, ya que errores en el corte o rebaje, perforado de sus piezas o fijación pueden generar debilitamiento de la sección, fisuras o fallas prematuras.

A diferencia de otras uniones, como las realizadas con placas metálicas o tornillería especializada, la unión perno a media madera conserva la funcionalidad de las técnicas tradicionales, lo que la hace especialmente adecuada para construcciones patrimoniales y proyectos de conservación. Su aplicación se encuentra principalmente en tirantes, diagonales y pendolones, elementos fundamentales de las cerchas a dos aguas en viviendas patrimoniales de uno o dos pisos.

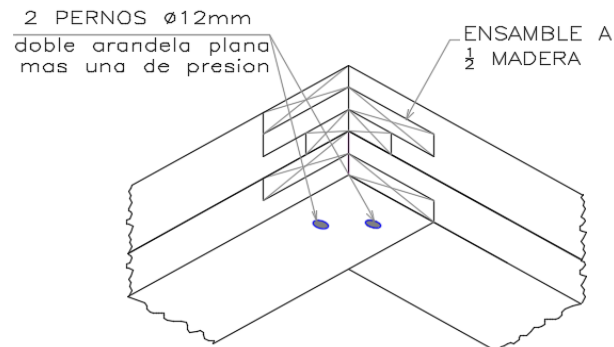
Es importante mencionar que los pernos que se utilizarán en la unión trabajarán a corte, es por esto importante el dimensionar el diámetro si se estima que existirá sobrecargas adicionales en la cubierta ya que depende de la fuerza aplicada en la unión y la especie de la madera que se utilice.

Figura 7. Unión perno a media madera en cumbrero.



Nota. Fuente Propia

Figura 8. Isometría unión perno a media madera en cumbrero.



Nota. Fuente Propia

4.6. Criterios técnicos normativos para la ejecución de la unión perno a media madera

La correcta ejecución de la unión perno a media madera requiere cumplir parámetros mínimos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y de los manuales de la JUNAC, los cuales garantizan seguridad, durabilidad y compatibilidad con sistemas constructivos tradicionales. Estos criterios no buscan reemplazar cálculos estructurales, sino ofrecer

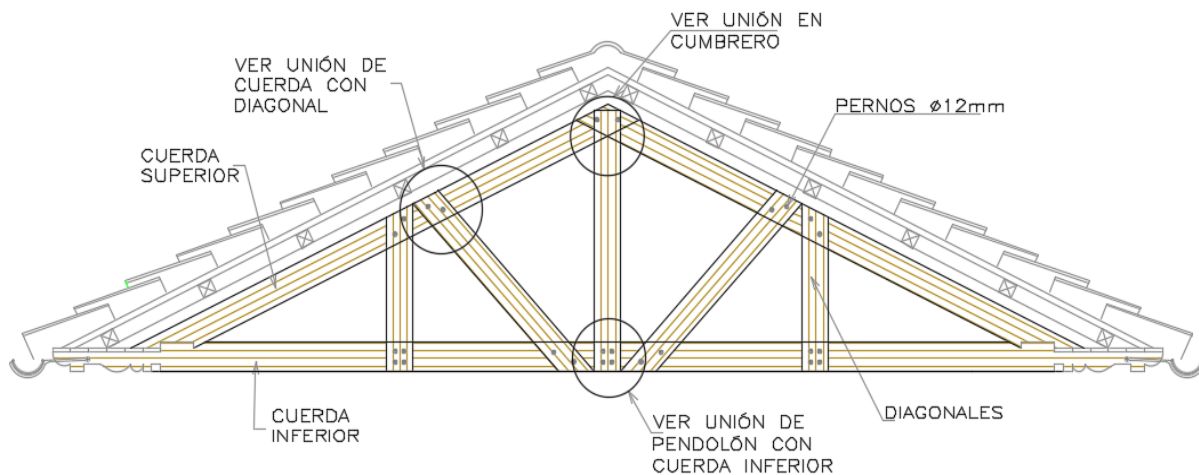
lineamientos prácticos que permitan reducir errores frecuentes en obra y asegurar un desempeño confiable de la unión.

En términos generales, los criterios normativos comprenden:

4.6.1. Espaciamiento entre pernos:

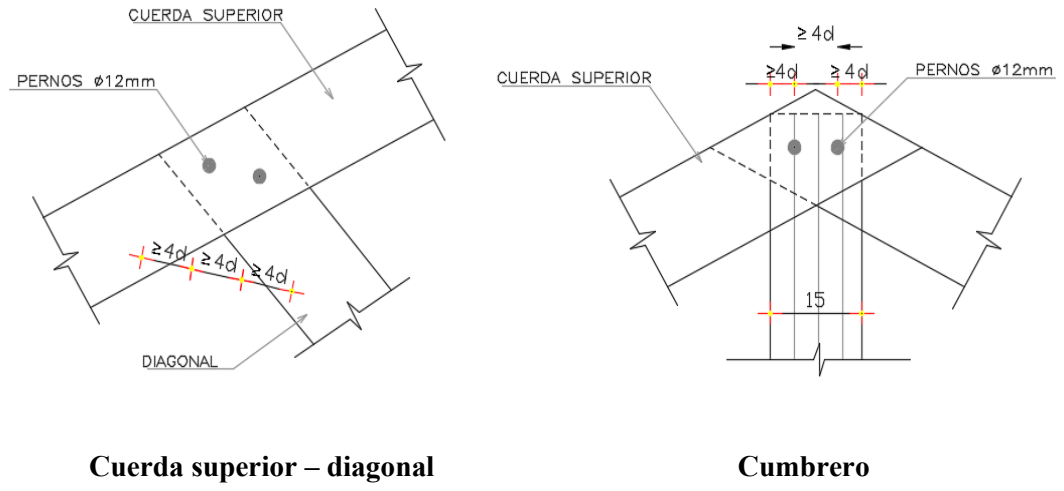
Los espaciamientos mínimos entre pernos, así como las distancias a bordes y extremos, se establecen conforme a los criterios establecidos en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Para elementos cargados en dirección de las fibras, se consideran espaciamientos mínimos de $4d$ entre pernos, $5d$ al extremo en tracción y $4d$ al extremo en compresión. En el caso de elementos cargados perpendicularmente a las fibras, el espaciamiento entre líneas de pernos se define en función de la relación ℓ/d , conforme a lo indicado por la JUNAC, considerando los rangos establecidos para garantizar un adecuado comportamiento estructural de la unión.

Figura 9. Cercha tipo, con ubicación de pernos en piezas de cerchas.



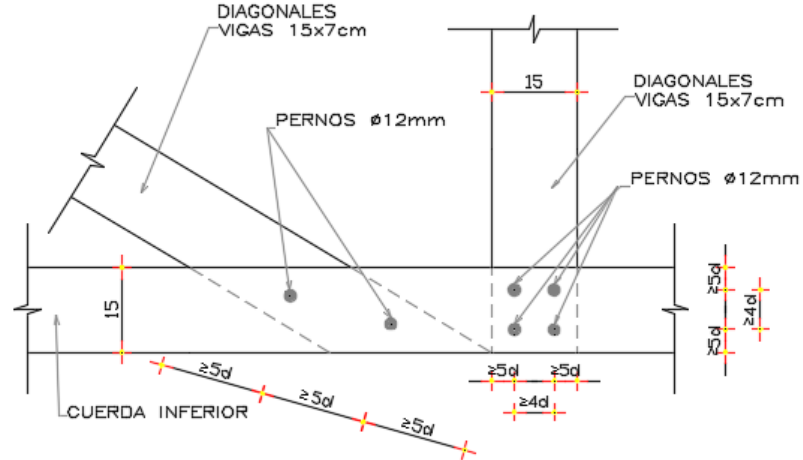
Nota. Fuente Propia

Figura 10. Espaciamiento de pernos en extremos a compresión de la cercha.



Nota. Fuente Propia

Figura 11. Espaciamiento de pernos en extremos a tracción de la cercha.



Nota. Fuente Propia

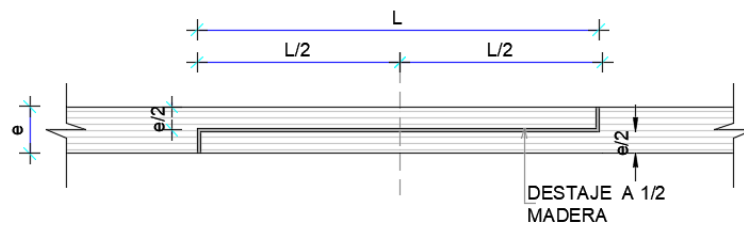
4.6.2. Diámetro de perforación:

El orificio debe ajustarse al diámetro del perno, con una tolerancia máxima de 1mm. Un diámetro mayor genera holguras que disminuyen la resistencia y pueden provocar que el perno se mueva o que la pieza se deforme.

4.6.3. Profundidad del rebaje:

El corte o rebaje de media madera no debe sobrepasar la sección resistente por debajo de lo permitido por la normativa. Si el rebaje es excesivo o demasiado profundo, la pieza pierde resistencia y aumenta la probabilidad de fallas prematuras en la unión. El rebaje se ejecuta de manera simétrica en ambas piezas, de modo que cada elemento reduce su sección en un máximo del 50% de su espesor original, manteniendo así una sección efectiva suficiente para resistir las solicitaciones actuantes. Este criterio permite, además, asegurar un adecuado contacto madera-madera, favoreciendo la correcta transferencia de cargas y evitando que el perno actúe como el único elemento resistente de la unión.

Figura 12. Detalle de destaje a media madera.



Nota. Fuente Propia

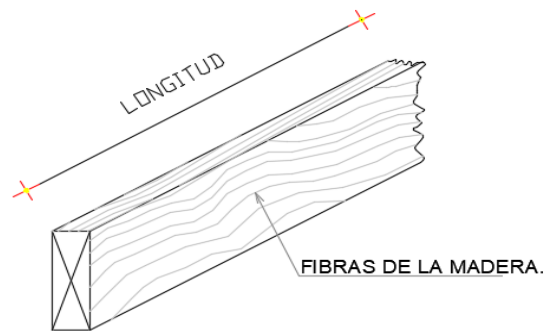
4.6.4. Espesores mínimos de las piezas:

Se deben respetar espesores adecuados para evitar aplastamiento, desgarro o fisuración de la madera. La normativa establece valores mínimos según el tipo de elemento de la cercha, el diámetro del perno y la fuerza en la unión.

4.6.5. Orientación de la fibra:

Las fibras de la madera deben mantenerse o seguir la misma dirección que los esfuerzos principales. Los cortes transversales o las desviaciones en la ejecución reducen la capacidad resistente del elemento y pueden propiciar la formación de fisuras.

Figura 13. Detalle de fibras en la madera.

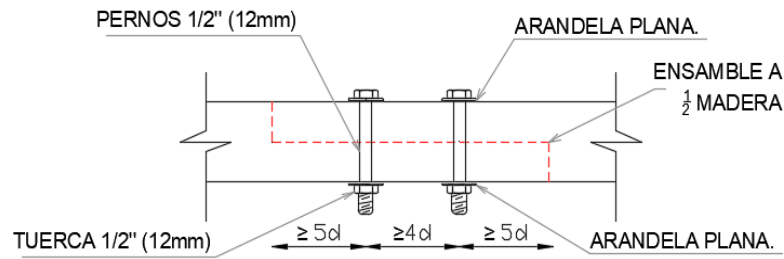


Nota. Fuente Propia

4.6.6. Uso de arandelas:

Es necesario el uso de arandelas metálicas bajo la cabeza del perno y la tuerca, con el fin de distribuir uniformemente la presión y evitar daños localizados en la madera. Además, se recomienda que las arandelas sean de tipo plano y de diámetro mayor al de la tuerca, especialmente en maderas blandas o en zonas cercanas al borde, para reducir el riesgo de aplastamiento o fisuras. El uso de arandelas también facilita el reapriete de los pernos durante el mantenimiento o inspecciones futuras, asegurando la resistencia del ensamble.

Figura 14. Detalle de pernos y arandelas.



Nota. Fuente Propia

4.6.7. Recomendaciones prácticas complementarias:

Además de los criterios normativos, este manual didáctico propone medidas de taller y obra que facilitan la correcta ejecución:

- Realizar un marcado previo con plantilla para asegurar la precisión en cortes y perforaciones.
- Utilizar brocas calibradas para evitar desviaciones en el diámetro de los orificios.
- Verificar la alineación de las piezas antes de colocar el perno.
- Ajustar la tuerca con firmeza, pero sin sobre apriete, para evitar aplastamiento de la madera.

4.7. Procedimiento constructivo paso a paso

El presente manual propone una secuencia constructiva clara y ordenada, basada en criterios normativos, con el fin de asegurar que la unión perno-media madera se ejecute de manera correcta y segura.

4.7.1. Inspección visual y selección de la madera

- Revisar que la madera esté libre de grietas, nudos grandes, pudrimiento o humedad excesiva.
- Usar piezas clasificadas visualmente según los parámetros básicos de calidad.
- La normativa vigente recomienda que la madera tenga un contenido de humedad controlado para evitar deformaciones posteriores.

4.7.2. Marcado de las piezas según la geometría de la unión

- Trazar las líneas de corte con escuadra y lápiz, asegurando precisión.
- Se aconseja usar plantillas o guías para mantener uniformidad en las uniones.

4.7.3. Ejecución del corte de media madera respetando profundidades recomendadas

- Realizar el rebaje con herramientas manuales o eléctricas, cuidando que no se exceda la profundidad permitida.
- Un rebaje excesivo de la pieza reduce la resistencia, mientras que uno insuficiente dificulta el contacto adecuado.
- Mantener las superficies planas para lograr un buen ajuste entre las piezas.

4.7.4. Perforación alineada de las piezas, evitando desviaciones

- Marcar previamente los puntos de perforación.
- Usar brocas del diámetro correcto, con tolerancia máxima de 1 mm respecto al perno.
- Mantener la perforación perpendicular a la superficie para evitar desajustes.

4.7.5. Colocación del perno, arandelas y tuerca

- Insertar el perno en el orificio, colocando arandelas metálicas en ambos extremos.
- Las arandelas distribuyen la presión y evitan daños localizados en la madera.
- Ajustar la tuerca hasta lograr firmeza, sin generar aplastamiento.

4.7.6. Ajuste final sin sobre apriete

- Verificar que las piezas queden bien alineadas y en contacto.
- El apriete debe ser firme pero moderado, evitando que la madera se agriete o se deforme.
- Se recomienda revisar periódicamente el estado de la unión durante la vida útil de la estructura.

4.7.7. Recomendaciones adicionales

- Mantener las herramientas en buen estado para asegurar cortes y perforaciones precisas.
- Trabajar sobre superficies estables y seguras, evitando improvisaciones en obra.
- Acompañar cada etapa con esquemas simples que muestren la secuencia de trabajo, lo que facilita la comprensión de maestros y técnicos.
- Registrar las uniones ejecutadas como parte del control de calidad en obra.

4.8. Aplicación del manual en viviendas patrimoniales

La aplicación del manual didáctico contribuye a mejorar la calidad de las intervenciones de las cerchas a dos aguas en cubiertas patrimoniales, al establecer criterios técnicos uniformes que respetan la tipología original. De esta manera se evita la ejecución empírica, se promueven

buenas prácticas constructivas y se beneficia la conservación y prolongación de la vida útil de las cerchas existentes. Además, el manual facilita la transferencia de conocimientos normados hacia los maestros y técnicos de obra, asegurando que las reparaciones y refuerzos se realicen con procedimientos claros y comprobados. Esto no solo fortalece la seguridad estructural, sino que también preserva el valor arquitectónico y cultural de las edificaciones.

4.9. Aporte del manual al sector de la construcción local

La propuesta representa un aporte significativo al sector constructivo local, pues facilita la transferencia de conocimientos técnicos normados y fortalece las capacidades de los constructores en el uso adecuado de la madera. Al establecer criterios claros y accesibles, se reduce la dependencia de prácticas empíricas y se promueve la aplicación de procedimientos respaldados por la normativa vigente como la NEC-SE-MD y los distintos manuales utilizados como respaldo de la investigación. Al mismo tiempo, fomenta la conservación de técnicas constructivas propias de la región andina, reforzando la identidad cultural y el valor histórico de las construcciones.

Además, el manual se convierte en un recurso formativo que facilita la transmisión de saberes entre generaciones de maestros de obra y técnicos, promoviendo un sector más preparado, responsable y consciente de la importancia de preservar el patrimonio arquitectónico local.

4.10. Síntesis del capítulo

En este capítulo se presentó la propuesta de un manual didáctico para la ejecución de la unión perno a media madera en cerchas tradicionales a dos aguas, aplicada a viviendas patrimoniales de la parroquia de Zámiza. En el desarrollo del manual se abordó desde un enfoque

tecnológico y constructivo, basado en la normativa vigente y en criterios técnicos adaptados a la práctica local. El manual está orientado a apoyar a maestros de obra y técnicos, aportando a la correcta ejecución de este tipo de unión y favoreciendo la seguridad, durabilidad y conservación de las estructuras de cubierta en edificaciones patrimoniales.

Capítulo V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

A partir del análisis de las cerchas tradicionales existentes y del desarrollo del manual didáctico propuesto, se concluye que la unión perno a media madera constituye una solución viable y técnicamente adecuada para cerchas tradicionales a dos aguas empleadas en viviendas patrimoniales de la parroquia de Zámboza, siempre que sea realizada bajo criterios técnicos claros y controlados. El diagnóstico demostró que las fallas recurrentes observadas en obra no se deben a la ineficiencia del método constructivo en sí, sino a una ejecución empírica realizada tradicionalmente carente de lineamientos normativos y de control dimensional.

Desde el punto de vista normativo, se determinó que tanto la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-M) como los lineamientos técnicos difundidos por la JUNAC contemplan criterios suficientes para el diseño y ejecución de uniones en madera. No obstante, estos documentos presentan un lenguaje técnico especializado que dificulta su aplicación directa por parte de maestros de obra y constructores empíricos, lo que genera una brecha entre la normativa vigente y la práctica constructiva local llevado a cabo en Zámboza.

En lo constructivo, el levantamiento de información de campo permitió identificar errores frecuentes en la ejecución de las uniones de las cerchas, tales como rebajes o cortes excesivos y desalineados en la madera, ausencia y mal uso de clavos, mal dimensionamiento de pernos y ausencia de arandelas, presencia de humedad y apollillamiento, etc. Estas prácticas comprometen la sección resistente de las piezas, reducen la capacidad de transferencia de esfuerzos y afectan el desempeño estructural y la durabilidad de las cerchas tradicionales.

Con los antecedentes antes mencionados se concluye que la elaboración de un manual gráfico, secuencial y adaptado al lenguaje de obra facilita la correcta comprensión y ejecución de la unión perno a media madera, incluso sin recurrir a cálculos estructurales complejos. El uso de esquemas claros y un procedimiento paso a paso constituye una herramienta práctica para mejorar la calidad de construcción empírica y fortalecer los procesos de autoconstrucción local.

Finalmente, desde el enfoque patrimonial, se establece que la propuesta desarrollada es compatible con los principios de conservación de viviendas inventariadas, ya que no altera la tipología original de las cerchas tradicionales ni introduce sistemas ajenos al contexto histórico. Por el contrario, el uso de pernos en combinación con la unión a media madera favorece la reversibilidad, el mantenimiento y la preservación de la autenticidad constructiva de las cubiertas.

5.2. Recomendaciones

Partiendo de los resultados obtenidos, se manifiestan las siguientes recomendaciones orientadas a mejorar la práctica constructiva, la gestión institucional y el desarrollo académico en el ámbito de las cerchas de madera tradicionales a dos aguas:

Desde el aspecto técnico, se recomienda el uso obligatorio de pernos acompañados de arandelas en las uniones perno a media madera, evitando el empleo de clavos mal colocados u otros elementos improvisados que no garantizan un comportamiento estructural adecuado. Asimismo, se sugiere respetar los criterios mínimos establecidos por la normativa vigente en cuanto a espaciamientos, profundidades de rebaje y tolerancias en la perforación.

Desde el punto de vista constructivo, se recomienda realizar procesos básicos de capacitación dirigidos a maestros de obra y carpinteros que intervienen en viviendas patrimoniales,

con énfasis en la correcta ejecución de uniones estructurales en madera. El manual didáctico desarrollado en este estudio puede ser utilizado como guía práctica en intervenciones de mantenimiento, rehabilitación o refuerzo de cerchas tradicionales a dos aguas.

Desde lo institucional, se sugiere que entidades como el Gobierno Autónomo Descentralizado del Distrito Metropolitano de Quito, el MIDUVI o las instancias de patrimonio como lo es el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) que estimulen la difusión del manual como material de apoyo técnico. Su inclusión en cartillas técnicas locales o programas de asistencia a viviendas permitiría ampliar su alcance y contribuir a la mejora de la calidad constructiva en sectores patrimoniales.

Desde la perspectiva académica, se recomienda replicar el presente estudio en otras parroquias rurales o urbanas con presencia de viviendas tradicionales en madera, a fin de contrastar resultados y enriquecer el conocimiento sobre prácticas constructivas locales. De igual manera, se sugiere desarrollar manuales didácticos similares para otros tipos de uniones estructurales en madera, fortaleciendo la transferencia de conocimiento técnico hacia sectores con limitada formación técnica.

5.3. Limitaciones del estudio

El presente trabajo de titulación presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación de sus resultados:

No se realizaron ensayos de laboratorio para evaluar la resistencia mecánica de las uniones perno a media madera, por lo que las conclusiones se basan en observación de campo, análisis

normativo y literatura técnica existente. Además, no se evaluó el comportamiento estructural global de las cerchas ni su respuesta frente a cargas específicas de viento o sismo.

Adicionalmente, el estudio se centró únicamente en una tipología de unión estructural, por lo que sus resultados no pueden generalizarse a otros sistemas de conexión en madera sin un análisis concreto.

Finalmente, la investigación se limitó a viviendas inventariadas en la parroquia de Zámbriza, lo que restringe su aplicación directa a contextos con características constructivas diferentes.

Referencias Bibliográficas

- Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, JUNAC (Junta del acuerdo de Cartagena). (2020). Junta Informe técnico sobre construcción informal en el Ecuador. Quito: Junta Nacional de la Construcción.
- NEC-SE-M. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción – Madera. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2019). Guía de buenas prácticas constructivas para vivienda de interés social. Quito: MIDUVI.
- Sánchez Paladines, M. (2022). Uniones estructurales de madera en la vivienda ecuatoriana: diagnóstico y propuestas. Quito: Editorial Universitaria.
- Ponce Tamayo, A., & Panamá, R. (2023). Manual de construcción sostenible para maestros de obra. Quito: Ediciones Técnicas del Ecuador.
- Zuluaga, J. A. (2020). Diseño de estructuras de madera. Bogotá: Editorial Escala.
- Torres, D. (2021). Construcción y técnicas tradicionales en madera en zonas rurales del Ecuador. Loja: UTPL.
- Cevallos, M. (2020). Resistencia de materiales para construcciones livianas. Quito: UCE.
- FAO. (2021). Guía técnica para estructuras en madera. Santiago: FAO.
- Vásquez, L. (2019). Elementos de carpintería estructural. Quito: Editorial Técnica Nacional.

Anexo 1.

Manual didáctico para la ejecución de la unión perno a media madera en cerchas tradicionales. (ver elemento físico).

Anexo 2.

Imágenes de ficha de levantamiento de información en campo

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica – PUCE TEC



LEVANTAMIENTO EN CAMPO DE CERCHAS TRADICIONALES EN VIVIENDAS INVENTARIADAS

Parroquia de Zábiza

1. Identificación General

Código de vivienda / Predio: _____

Propietario: _____

Fecha de inspección: _____

2. Características Generales de la Vivienda

Uso de la edificación: Vivienda Mixto Otro: _____

Número de niveles: 1 2 3

Sistema estructural predominante: Tapia-adobe Ladrillo Otro

3. Características de la Cercha

Tipo de cercha: Simple a dos aguas Con tirante Compuesta Otra

Material predominante: Madera Mixto Otro

Estado general de la cercha: Bueno Regular Deficiente Malo

Edad aproximada de la cercha (años): _____

4. Tipo de Uniones

Clavos comunes

Corte mínimo + clavos

Media madera

Empalme improvisado

Otro: _____

5. Patologías Observadas

Humedad en uniones

Presencia de hongos

Fisuras longitudinales

Deformaciones

Desalineación de elementos

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica – PUCE TEC

- Pérdida de sección
- Ataque biológico (insectos)
- Ninguna

Observaciones específicas:

6. Dimensiones y Pendiente

Luz aproximada de la cercha (m): _____

Altura aproximada (m): _____

Pendiente estimada de cubierta (%): _____

7. Evaluación Normativa

Cumple normativa técnica vigente: Sí No Parcialmente

Normativa de referencia (NEC-SE-Madera): _____

Criterio de incumplimiento principal:

- Pendiente mínima
- Sección insuficiente
- Uniones deficientes
- Estado del material
- Otro: _____

8. Conclusión Técnica de la Cercha

- Apta sin intervención
- Requiere mantenimiento
- Requiere refuerzo estructural
- Requiere reemplazo

Justificación:

9. Registro Fotográfico

Foto N°

Anexo 3.

Cuadro resumen de imágenes de predios levantados en campo

| CÓDIGO (Predio) | IMÁGENES DEL PREDIO LEVANTADO | | |
|--------------------|---|--|---|
| V2 (283012) |  |  |  |
| V3 (114812) |  |  |  |
| V4 (108902) |  |  |  |
| V5 (119025) |  |  |  |
| V6 (283054) |  |  |  |
| V7 (110298) |  |  |  |
| V8 (108763) |  |  |  |

| | | | |
|--------------------------|---|--|---|
| <p>V9 (121556)</p> |  |  |  |
| <p>V10 (282911)</p> |  |  |  |
| <p>V11 (110273)</p> |  |  |  |
| <p>V12 (5051216)</p> |  |  |  |
| <p>V13 (543235)</p> |  |  |  |
| <p>V14 (113409)</p> |  |  |  |
| | | | |