

**CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES EN EL
RESGUARDO INDÍGENA DE PITAYÓ Y PROPUESTA DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL
PARA UNA VIVIENDA DE INTERÉS CULTURAL**

Sebastián Alejandro Piamba Mayorga

Mario Fernando Ortega Muñoz

MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
Facultad de Ingeniería Civil
Ingeniería Civil
2025

**CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES EN EL
RESGUARDO INDÍGENA DE PITAYÓ Y PROPUESTA DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL
PARA UNA VIVIENDA DE INTERÉS CULTURAL**

Sebastián Alejandro Piamba Mayorga

Mario Fernando Ortega Muñoz

Directora:

Ing. Yessica M. Menza C.

Codirector:

Ing. Roger Ortega C.

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
Facultad de Ingeniería Civil
Ingeniería Civil
2025

Dedicatoria

Sebastián Alejandro Piamba

Dedico este trabajo de grado a todas las personas que hicieron parte de mi camino universitario y aportaron, de una u otra forma, a mi crecimiento personal y profesional. A Dios pues me ilumino en cada etapa crucial de mi carrera, dándome fuerzas de donde no las tenía, A mi familia, mi mayor motor y motivo para nunca rendirme: a mi madre, por su amor incondicional y su presencia constante; a mi padre, por su esfuerzo diario y su ejemplo de perseverancia. A mi novia, quien en los momentos más difíciles fue mi pilar y mi refugio. A mis amigos, por su compañía, apoyo y palabras de aliento en cada etapa de este proceso. Este logro no es solo mío, es el resultado de un esfuerzo colectivo, de quienes creyeron en mí incluso cuando yo dudaba. A todos, gracias por ser parte fundamental de este sueño cumplido.

Mario Fernando Muñoz

A mis padres, por su apoyo incondicional. Gracias por su amor infinito, su sacrificio silencioso y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado del compromiso, la honestidad y la humildad. Su confianza en mí fue el impulso que me ayudó a seguir cuando el camino se hizo difícil. Cada logro alcanzado es reflejo del camino que ustedes me ayudaron a construir con esfuerzo, valores y dedicación.

A mis hijos, quienes son la verdadera razón para luchar y superarme cada día. Su presencia ilumina mi vida y su alegría me recuerda el por qué vale la pena cada esfuerzo. Quise ser ejemplo para ustedes, y en ese deseo encontré la fuerza para persistir hasta alcanzar esta meta. Este logro también les pertenece.

Y a Dios, por acompañarme en cada paso, darme la fortaleza para no rendirme y llenar de propósito y fe este camino. Sin su guía, este sueño no se habría hecho realidad.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Cauca y a la Facultad de Ingeniería Civil, por brindarnos el respaldo académico, logístico y administrativo necesario para llevar a cabo este proyecto. Su compromiso con la investigación y la proyección social permitió que este estudio se desarrollara con el rigor y la pertinencia que exige una propuesta de vivienda de interés cultural.

De manera especial agradecemos al Cabildo Indígena de Pitayó, en cabeza de la Gobernadora Claudia Mostacilla, por su confianza y disposición para permitirnos trabajar en el territorio. También extendemos nuestro reconocimiento a los líderes locales y a la comunidad Nasa de Pitayó, por compartir con generosidad sus saberes sobre los sistemas constructivos tradicionales y acompañarnos en el proceso de caracterización. Su participación fue clave para que esta propuesta respondiera a las necesidades y particularidades culturales del resguardo.

A nuestra directora de tesis, Yessica M. Menza Calambás, por su acompañamiento constante, su guía académica y su compromiso con el enfoque intercultural de este trabajo. Su orientación crítica y su apoyo humano fueron clave en cada etapa del proceso. Del mismo modo, agradecemos a nuestro codirector, Roger Ortega Caraballo, por sus aportes técnicos, su experiencia en el área estructural y su disposición permanente para fortalecer la calidad del proyecto.

Finalmente, agradecemos a Dios, por guiarnos con sabiduría, protegernos en cada paso del camino y permitirnos culminar este proceso con éxito. Su presencia ha sido una fuente constante de fortaleza, esperanza y gratitud.

A todos, muchas gracias.

Tabla de contenido

Resumen.....	10
Abstract.....	11
1. Introducción.....	12
1.1. Formulación del problema	13
1.2. Justificación.....	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. Marco Teórico Preliminar.....	16
2. Metodología.....	19
3. Reconocimiento del territorio.....	22
4. Caracterización de viviendas tradicionales.....	26
4.1. Formas de vivienda	36
4.2. Tipo de construcciones.....	37
4.3. Tipos de madera.....	38
4.4. Localizaciones por fuera de la vivienda	40
4.5. Cimentaciones y muros	42
4.6. Pisos	43
4.7. Otras patologías	44
5. Levantamiento arquitectónico de viviendas seleccionadas	46
6. Revisión de literatura y normativa vigente.....	48
6.1. Sistemas Constructivos Tradicionales: Bahareque y Adobe.....	48
6.2. Propiedades físicas y mecánicas del adobe y bahareque.....	51
6.2.1. Adobe.....	51
6.2.1.1. Composición del subsuelo para el adobe.....	52
6.2.1.2. Composición del agua en las mezclas.....	53
6.2.1.3. Fibras y agregados en la mezcla de adobe.....	54
6.2.1.4. Ensayo de resistencia a la compresión.....	55
6.2.1.5. Ensayo de resistencia a la tracción	56
6.2.1.6. Módulo elástico	56

6.2.1.7.	Coeficiente de Poisson	57
6.2.1.8.	Ensayos de resistencia al corte.....	57
6.2.1.9.	Ensayos de resistencia a la flexión	58
6.2.2.	Bahareque	59
6.2.2.1.	Propiedades Mecánicas del Bahareque	59
6.2.2.2.	Propiedades físicas del bahareque	67
6.3.	Cal.....	70
6.4.	Aceite de linaza en madera y pisos	71
6.5.	Efectos de los sismos en una vivienda	72
6.6.	Selección del terreno para construir	72
6.6.1.	Propiedades de la tierra.....	73
6.6.2.	Estados hídricos, cohesión y estabilización	73
6.6.3.	Análisis de la tierra objetivo	75
6.7.	Características de la vivienda autóctona en bahareque.....	75
6.7.1.	Madera en los muros	76
6.7.2.	Uniones en madera.....	78
6.7.2.1.	Tipos de uniones en estructuras de madera.....	78
6.7.2.2.	Uniones en la cimentación	82
6.7.2.3.	Uniones en cubiertas y muros.....	82
6.7.3.	Madera-Secado, corte, preservación y métodos de preservación	83
6.7.3.1.	Secado al aire libre o natural y secado artificial.....	84
6.7.4.	Varas - Cañas / Bambú.....	84
6.7.5.	Cimentaciones	85
6.7.6.	Sobrecimentación	87
6.7.7.	Estructura y relleno - Bahareque tradicional.....	88
6.7.8.	Estructura y relleno - bahareque convencional	89
6.7.9.	Cubierta.....	89
6.7.10.	Revestimientos	92
6.7.10.1.	Preparación.....	93
6.7.10.2.	Primera capa (Capa de Nivelación).....	93
6.7.10.3.	Incisiones	94
6.7.10.4.	Segunda capa (Afinado).....	94
6.7.10.5.	Sellado	94

6.7.11.	Andén o acera	94
6.7.12.	Pisos.....	95
6.7.13.	Cieloraso	97
6.8.	Características de vivienda autóctona en adobe.....	99
6.8.1.	Cimentaciones	99
6.8.2.	Sobrecimientos	101
6.8.3.	Estructura	101
6.8.4.	Cubierta.....	106
6.8.5.	Revestimiento de muros	106
6.8.6.	Mortero	107
7.	Propuesta arquitectónica del modelo de vivienda de interés cultural.....	108
8.	Desarrollo de la propuesta del sistema estructural.....	111
8.1.	Propuesta de localización de la construcción de vivienda VIC.....	111
8.2.	Propuesta de cimentación	114
8.3.	Propuesta de sobrecimentación	114
8.4.	Propuesta estructural para los muros	116
8.4.1.	Uniones estructurales	117
8.4.2.	Relleno de los muros.	118
8.4.3.	Revestimiento de protección.....	118
8.4.4.	Curado y preservación de la madera	119
8.5.	Propuesta estructural de la cubierta.	120
9.	Conclusiones	123
10.	Bibliografía	125

Lista de Tablas

Tabla 1: <i>Materiales identificados</i>	26
Tabla 2: <i>Viviendas en el Inventario general del proyecto y en el censo del Cabildo Indígena de Pitayó</i>	33
Tabla 3: <i>Viviendas preseleccionadas para el levantamiento</i>	46
Tabla 4: <i>Resumen de composición del subsuelo para mezclas de adobe</i>	52
Tabla 5: <i>Resumen de composición de agua en las mezclas</i>	53
Tabla 6: <i>Resumen de fibras y agregados en la mezcla de adobe</i>	54
Tabla 7: <i>Resumen de datos obtenido del ensayo de resistencia a la compresión</i>	55
Tabla 8: <i>Resumen de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la tracción</i>	56
Tabla 9: <i>Resumen de los resultados obtenidos en el módulo elástico</i>	56
Tabla 10: <i>Resumen de los datos obtenidos del coeficiente de Poisson</i>	57
Tabla 11: <i>Resumen de los datos obtenidos del ensayo de resistencia al corte</i>	58
Tabla 12: <i>Resumen de los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión</i>	58
Tabla 13: <i>Resistencia, fuerza de fluencia, capacidad de desplazamiento y desplazamiento de fluencia de los muros de bahareque ensayados</i>	66
Tabla 14: <i>Proporciones recomendadas de los morteros de cal</i>	71

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: <i>Diagrama de la metodología de investigación</i>	19
Ilustración 2: <i>Localización de Pitayó Y Silvia</i>	23
Ilustración 3: <i>Sectores de Pitayó</i>	25
Ilustración 4: <i>Ubicación de veredas del Resguardo</i>	27
Ilustración 5: <i>Resumen de las rutas planteadas</i>	28
Ilustración 6: <i>Encuesta realizada a vivienda clasificada como tradicional</i>	29
Ilustración 7: <i>Encuesta realizada a vivienda clasificada como no tradicional</i>	32
Ilustración 8: <i>Diagrama de levantamiento y censo de viviendas (Porcentaje de viviendas tradicionales vs no tradicionales en cada vereda)</i>	35
Ilustración 9: <i>Cimientos contruidos en vivienda de bahareque</i>	43
Ilustración 10: <i>Levantamiento arquitectónico de la vivienda 1</i>	47
Ilustración 11: <i>Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)</i>	65
Ilustración 12: <i>Plasticidad, Cohesión, Compactación</i>	73
Ilustración 13: <i>Estados hídricos, cohesión y estabilización</i>	73
Ilustración 14: <i>Esquema de muros estructurales arriostrados</i>	76
Ilustración 15: <i>Estructura y detalle de unión con pasadores</i>	77
Ilustración 16: <i>Esqueleto de madera con franjas horizontales de guadua (TSH)</i>	78
Ilustración 17: <i>Esquema de distintos tipos de uniones</i>	78
Ilustración 18: <i>Empalme tipo flauta</i>	82
Ilustración 19: <i>Ensamble cortado a inglete y flotado</i>	82
Ilustración 20: <i>Acoplamientos con clavijas y claves</i>	82
Ilustración 21: <i>Construcción de cimientos</i>	86
Ilustración 22: <i>Elaboración de cimiento y sobrecimiento</i>	87

Ilustración 23: Construcción de sobrecimiento	88
Ilustración 24: Elementos de cubierta	90
Ilustración 25: Comportamiento común de los sistemas estructurales de tejado que ejercen empuje	91
Ilustración 26: Relación de los Materiales de cubierta con las pendientes	91
Ilustración 27: Importancia de los andenes en una casa.	94
Ilustración 28: Recubrimientos de pisos en Uganda.	95
Ilustración 29: Pisos en baldosa artesanal.	97
Ilustración 30: Tipos de Cieloraso presentes en casas de bahareque.	98
Ilustración 31: Tipo de sobrecimientos y cimientos presentes en estructuras de adobe	100
Ilustración 32: Refuerzos verticales y horizontales	102
Ilustración 33: Instalación para levantamiento de muro de adobe	103
Ilustración 34: Malla natural mediante caña y cuerdas y Mejoramiento interno mediante caña de bambú.....	104
Ilustración 35: Vigas de Cerramiento en viviendas de adobe	105
Ilustración 36: Fachada principal del diseño arquitectónico.....	108
Ilustración 37: Vista lateral del diseño arquitectónico	108
Ilustración 38: Módulos del diseño arquitectónico	109
Ilustración 39: Propuesta de ampliación del diseño arquitectónico.....	110
Ilustración 40: Ubicación falla del romeral	111
Ilustración 41: Indicación de terreno inestable, conjunto de fallas y ubicación de veredas propuestas	112
Ilustración 42: Localización en Google Earth de las veredas propuestas	113
Ilustración 43: Ubicación recomendada en la vereda Méndez.....	113
Ilustración 44: Ubicación recomendada en la vereda Buenavista.....	113
Ilustración 45: Propuesta de cimentación Para vivienda de Resguardo de Pitayó.....	115
Ilustración 46: Propuesta de anclaje de sobrecimiento con estructura de muros con varilla rosca.....	115
Ilustración 47: Propuesta de sobrecimentación en vivienda de Resguardo de Pitayó.	115
Ilustración 48: Propuesta de Niveles del suelo en el interior y exterior de la vivienda propuesta en el Resguardo de Pitayó.....	115
Ilustración 49: Propuesta de diseño de muro para vivienda de bahareque.....	116
Ilustración 50: Propuesta de 4 tipo de uniones en madera rolliza utilizando corte boca de pescado.	117
Ilustración 51: Propuesta de anclaje de muros con sobrecimientos.	118
Ilustración 52: Propuesta del relleno en los muros de bahareque.	119
Ilustración 53: Propuesta de vigas soleras en la vivienda	121
Ilustración 54: Propuesta de cerchas para cubierta en vivienda VIC.	122
Ilustración 55: Propuesta de vigas secundarias en la cubierta	122
Ilustración 56: Propuesta de disposición de las correas	122
Ilustración 57: Propuesta de diseño de las teleras en caña brava.....	122
Ilustración 58: Propuesta de cubierta terminada con teja tradicional de barro.	122

Lista de fotografías

Fotografía 1: <i>Vivienda tradicional</i>	37
Fotografía 2: <i>Casa en adobe con teja y repello</i>	38
Fotografía 3: <i>Construcción de casa en bareque</i>	39
Fotografía 4: <i>Espacio de cocina de vivienda construida en casa de bahareque</i>	40
Fotografía 5: <i>Localización externa del baño en una vivienda construida en bareque</i>	41
Fotografía 6: <i>Localización externa del baño en una vivienda construida en bahareque</i>	41
Fotografía 7: <i>Grietas en los muros</i>	44
Fotografía 8: <i>Conexiones eléctricas inseguras, exceso de humedad</i>	45

Resumen.

La población indígena en el Departamento del Cauca en Colombia representa un 21% de su población total, exaltando así la necesidad de preservar las tradiciones culturales en los distintos territorios. Este proyecto se enfocó en el Resguardo Indígena de Pitayó, donde se buscó analizar la integración de técnicas constructivas tradicionales con requisitos fundamentales de las normativas sismo resistentes vigentes. El estudio abordó tres aspectos claves: la comprensión del conocimiento local en la construcción de viviendas tradicionales, la relación de estas viviendas con su entorno cultural y social, y la adaptación a metodologías de diseño modernas. Como parte de la metodología, se realizó una caracterización de las viviendas tradicionales del territorio, seguido de una revisión de literatura sobre las técnicas constructivas, avances tecnológicos y normatividad vigente. A partir de estos datos, se desarrolló una propuesta estructural para la vivienda de interés cultural en el Resguardo Indígena de Pitayó, la cual buscó promover prácticas constructivas que incluyeran el respeto por las tradiciones y costumbres, pero ajustándola a las recomendaciones de las normas de construcción vigentes y de estudios técnicos hallados en la revisión de la literatura.

Palabras Clave: Vivienda de interés cultural- VIC, Resguardo Indígena de Pitayó, Técnicas constructivas tradicionales, bahareque, adobe, normativas sismo resistente, integración cultural, conservación del patrimonio.

Abstract

The indigenous population in the Department of Cauca in Colombia represents 21% of its total population, thus highlighting the need to preserve cultural traditions in the different territories. This project focused on the Pitayó Indigenous Reserve, where the integration of traditional construction techniques with the fundamental requirements of current earthquake resistant regulations was analyzed. The study addressed three key aspects: the understanding of local knowledge in the construction of traditional houses, the relationship of these houses with their cultural and social environment, and the adaptation to modern design methodologies. As part of the methodology, a characterization of the traditional dwellings in the territory was carried out, followed by a literature review on construction techniques, technological advances and current regulations. Based on these data, a structural proposal was developed for housing of cultural interest in the Pitayó Indigenous Reserve, which sought to promote construction practices that included respect for traditions and customs but adjusted to the recommendations of current construction standards and technical studies found in the literature review.

Key words: Housing of cultural interest - VIC, Pitayó Indigenous Reserve, traditional construction techniques, wattle and daub, adobe, earthquake resistant regulations, cultural integration, heritage conservation.

1. Introducción.

La arquitectura vernácula de las comunidades indígenas en Colombia constituye una manifestación tangible de su identidad cultural, cosmovisión y relación armónica con el entorno. En este contexto, el Resguardo Indígena de Pitayó, ubicado en el municipio de Silvia, departamento del Cauca, representa un escenario donde las técnicas constructivas tradicionales, como el bahareque y el adobe, siguen vigentes como formas de habitar profundamente enraizadas en el territorio y la memoria colectiva del pueblo Nasa.

Este estudio hace parte de un proyecto marco denominado *Modelo de Vivienda de Interés Cultural para el Desarrollo y Preservación de la Identidad en el Resguardo Indígena de Pitayó, Silvia – Cauca*, que tiene como propósito desarrollar una propuesta global para la construcción de un prototipo de vivienda VIC. Este modelo se construye desde un enfoque interdisciplinar que articula componentes como arquitectura, estructuras, antropología y ambiental. En este proyecto participan profesores y estudiantes de las facultades de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad del Cauca.

Sin embargo, estas formas de construcción enfrentan importantes desafíos técnicos y normativos frente a fenómenos naturales, a los cambios climáticos y a la necesidad de garantizar condiciones mínimas de seguridad y habitabilidad. A ello se suman las limitaciones propias de una región de difícil acceso y población dispersa, lo cual encarece el uso de materiales convencionales y limita la adopción de modelos constructivos industrializados.

En respuesta a esta realidad, el presente trabajo de grado tiene como propósito caracterizar los sistemas constructivos tradicionales empleados en el Resguardo Indígena de Pitayó y, a partir de este análisis, proponer un sistema estructural para una vivienda de interés cultural (VIC) adaptada a las características particulares de esta zona, respetando las técnicas constructivas tradicionales, pero mejorando algunos aspectos que garanticen un adecuado comportamiento estructural. La propuesta busca ser una solución técnica viable, sostenible y

culturalmente pertinente, que permita fortalecer la identidad arquitectónica del territorio sin renunciar a criterios fundamentales de resistencia sísmica y durabilidad.

Este estudio se desarrolló mediante una metodología mixta que incluyó el reconocimiento del territorio, la recopilación de información mediante visitas y entrevistas con la comunidad, el inventario de viviendas existentes, y una revisión de literatura detallada sobre construcción con tierra y madera. De esta manera, se articulan los saberes ancestrales con los principios contemporáneos de la ingeniería civil, en la búsqueda de modelos de vivienda más resilientes, apropiados y respetuosos con el legado cultural del pueblo Nasa.

1.1. Formulación del problema

Según el censo de 2018 del DANE, la población que en Colombia se auto reconoce como indígena es de 1.905.617, este valor corresponde al 4,4% de la población total del país. El Cauca, con 248.532 indígenas es el segundo departamento en Colombia con mayor población indígena, la cual equivale al 21% de la población total del departamento del Cauca (DANE, 2018). Lo anterior, explica la importancia de revisar y realizar estudios que contribuyan a la preservación de la cultura, cosmovisión y costumbres de las comunidades indígenas del departamento.

En esta perspectiva, la ingeniería civil puede contribuir desde sus diversos enfoques al desarrollo de estas comunidades, mediante el análisis de sus viviendas tradicionales. Para lograrlo, primero, es necesario comprender el conocimiento local detrás del diseño y la construcción de estas viviendas, que incluye las técnicas y tradiciones constructivas específicas de cada comunidad. Segundo, se debe examinar cómo estas viviendas se relacionan con su entorno, integrando aspectos culturales y sociales que son fundamentales para la vida comunitaria. Por último, es importante explorar cómo las comunidades indígenas están respondiendo a los cambios sociales y culturales recientes, adaptándose a nuevas realidades mientras preservan sus tradiciones (Gutiérrez, et al., 2013).

La VIC se caracteriza por su conexión estrecha con el entorno y las condiciones climáticas locales. Su diseño y construcción reflejan las costumbres, técnicas y materiales tradicionales de la comunidad y la mano de obra local. Según la Ley 2079 de 2021, es fundamental que en las normativas técnicas se reconozcan estas particularidades para garantizar la seguridad de los residentes, sin comprometer el valor cultural de las viviendas.

En este escenario, el Resguardo Indígena de Pitayó enfrenta un desafío específico. Las viviendas tradicionales construidas con técnicas como el bahareque y el adobe no solo sirven como refugios, sino que también son expresiones vivas del conocimiento y la cultura de la comunidad Nasa. La implementación de materiales modernos, como el ladrillo y la mampostería, ha sido una respuesta parcial a la demanda normativa y al déficit de vivienda, pero ha generado problemas significativos en el entorno cultural. Estos materiales no solo aumentan los costos debido a los altos precios de transporte y acarreo en un territorio donde las familias están dispersas, sino que también provocan una desconexión con la identidad cultural de la comunidad. Para los habitantes de Pitayó, una casa construida en mampostería puede representar una pérdida de su esencia cultural y espiritual, lo que lleva a su rechazo o subutilización.

El Resguardo de Pitayó, como muchas comunidades indígenas en Colombia, enfrenta desafíos significativos en cuanto a vivienda. Las construcciones tradicionales, si bien arraigadas en su cultura, a menudo requieren mejoras para garantizar la seguridad y el bienestar de sus habitantes frente a los fenómenos naturales. Por lo anterior, este estudio se justificó en la necesidad apremiante de proporcionar soluciones habitacionales oportunas y efectivas para la comunidad de Pitayó desde el punto de vista técnico.

En este orden de ideas, con este proyecto se buscó responder a la pregunta: ¿Cómo generar una propuesta de un sistema estructural, para la VIC del Resguardo Indígena de Pitayó, a partir de la caracterización cultural del territorio?

1.2. Justificación

La preservación de las técnicas constructivas tradicionales, como el bahareque y el adobe, es crucial no solo por su valor cultural, sino también por razones prácticas y económicas en comunidades con vías de difícil acceso. Estas técnicas perfeccionadas por generaciones están adaptadas al clima y el territorio de cada comunidad. La VIC, busca integrar de manera efectiva el uso de materiales locales con la mano de obra local y con los sistemas estructurales tradicionales, adaptando la propuesta de diseño a la normativa vigente. Lo anterior, podría traducirse en una posible reducción de costos de construcción en comunidades dispersas, pues se aprovecharían los recursos disponibles de las zonas aledañas y la mano de obra local. Esta estrategia es necesaria con el fin de garantizar la adecuación de la vivienda al entorno geográfico y climático, además, permite contribuir al fortalecimiento de la identidad cultural y a la sostenibilidad de las soluciones habitacionales de distintos grupos étnicos.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, utilizar materiales ecológicos y técnicas constructivas de bajo impacto ambiental, permite respetar la relación armónica de una comunidad con su entorno. La VIC busca que, a partir del uso racional de materiales locales se conserven los estilos de construcción, apuntando a técnicas tradicionales que reducen el impacto ambiental de los materiales convencionales. Lo anterior, guardando cumplimiento con los principios de diseño estructural vigentes, para asegurar que la vivienda cumpla con los estándares de seguridad y habitabilidad establecidos por las normas de diseño actuales.

Por lo anterior, en este proyecto se desarrolló una propuesta estructural para la VIC en el Resguardo Indígena de Pitayó, logrando un equilibrio entre la preservación de las técnicas constructivas tradicionales y las recomendaciones técnicas de investigaciones previas y de normas o manuales de construcción vigentes.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Proponer un sistema estructural para la vivienda de interés cultural del resguardo indígena de Pitayó de acuerdo a la caracterización del territorio y revisión de literatura.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Reconocer el territorio del Resguardo Indígena de Pitayó para comprender las condiciones territoriales que influyen en el diseño y construcción de las viviendas tradicionales.
- Documentar los sistemas constructivos tradicionales empleados en el Resguardo Indígena de Pitayó, incluyendo los materiales y técnicas de construcción locales.
- Realizar una revisión de la literatura sobre sistemas estructurales tradicionales no industrializados, en otras regiones, con énfasis en aquellos que se adaptan al entorno, condiciones y materiales de la zona en estudio.

1.4. Marco Teórico Preliminar

Según Arango K.R. (2020) la construcción de viviendas en comunidades indígenas de Colombia se caracteriza por la coexistencia de dos estilos principales: las viviendas convencionales, influenciadas por modelos urbanos, y las viviendas tradicionales, construidas con técnicas ancestrales como el adobe y el bahareque.

El adobe es una técnica que utiliza bloques de tierra no cocida con paja, unidos con mortero similar, previa verificación de la humedad adecuada. El bahareque, en cambio, es un sistema artesanal que combina una estructura de madera, caña o ramas con un recubrimiento de tierra y fibras vegetales, destacando por el uso de materiales locales y la ausencia de encofrados. (Arango K. R., 2020).

La comunidad Nasa, representa uno de los grupos indígenas más extensos en el país, con cerca de 140.000 miembros, quienes mantienen una rica tradición constructiva adaptada a su entorno. El Resguardo Indígena de Pitayó como parte de la comunidad Nasa, continúa empleando estas técnicas ancestrales, adaptándolas a las condiciones específicas de su territorio (Orozco, Paredes, & Tocancipá, 2013).

En el ámbito nacional, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2015) señaló en la Encuesta Nacional de Calidad de Vida – ECV, que el uso del bahareque es limitado, clasificándolo como un material predominante en áreas de asentamiento de la población indígena. Sin embargo, este enfoque específico no lo reconoce como un sistema técnico-constructivo completo.

Esta visión limitada contribuye a una subestimación de materiales tradicionales como la tierra y el adobe, dificultando su integración en las normativas vigentes (Maca & Salas, 2021). La falta de reconocimiento impide una valoración más profunda de estas técnicas constructivas ancestrales, subestimando su adaptabilidad y el potencial que tienen para integrarse adecuadamente en las normas modernas de construcción.

En un artículo publicado en la sección de vivienda del periódico *El Tiempo* (2002), se destaca que el bahareque ofrece ventajas significativas en comparación con los métodos de construcción tradicionales. En particular, se menciona que el bahareque es hasta un 60% más seguro y un 30% menos costoso. Además, el peso del bahareque es aproximadamente un 60% menor que el de los materiales convencionales utilizados actualmente en la construcción.

En este sentido, en el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, de acuerdo con el Decreto-Ley 1400 de 1984 prevalecía la creencia de que solo los edificios de mayor altura necesitaban ser diseñados para resistir sismos. Esta concepción fue refutada por los terremotos de finales de 1979 y los eventos sísmicos en Popayán en 1983, lo que llevó a la actualización de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98), incluida en la Ley 400 de 1997. Estas normas establecieron procedimientos para evaluar y

reforzar edificaciones anteriores a la normativa, marcando un avance en la protección sísmica (ASI, 2002).

En Colombia, hay un considerable número de edificaciones construidas con técnicas vernáculas, como el adobe y la tapia pisada. En regiones como el Antiguo Caldas, el bahareque predomina, caracterizado por cimentaciones superficiales en piedra y concreto ciclópeo con escasos refuerzos para la resistencia sísmica. Este tipo de construcciones abarca tanto viviendas como edificaciones más grandes, como iglesias y colegios, que presentan retos adicionales en términos de seguridad estructural (ASI, 2002).

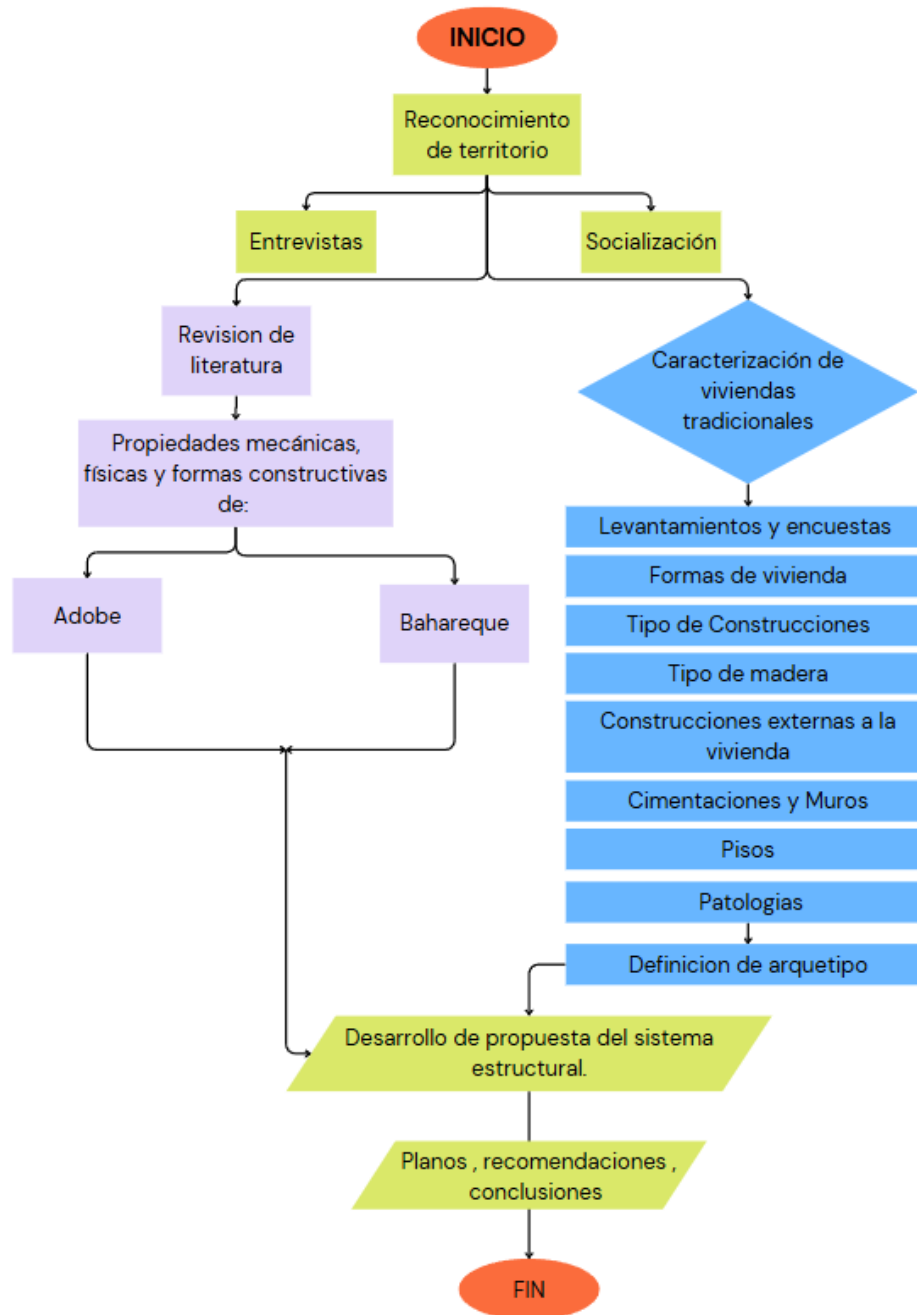
Adicional a lo anterior, las construcciones de viviendas en territorios indígenas deben reflejar tanto el respeto por su tradición, cultura y cosmovisión, como la necesidad de garantizar sistemas sismorresistentes considerando su contexto económico. No se pretende imponer la utilización de cierto tipo de materiales y desconocer el uso de los tradicionalmente utilizados, sino presentar propuestas técnicas o nuevos enfoques metodológicos de diseño para promover en estos territorios, prácticas constructivas que incluyan requisitos normativos correspondientes.

Esta sección corresponde a un marco teórico preliminar que permite contextualizar los principales conceptos abordados en el presente trabajo de tesis. La revisión de literatura completa, con un análisis más detallado y amplio de los referentes teóricos y estudios previos, se desarrolla en el capítulo 6.

2. Metodología

A continuación, en la Ilustración 1 se presenta la metodología desarrollada en esta investigación para lograr los objetivos propuestos:

Ilustración 1: Diagrama de la metodología de investigación.



a. Reconocimiento de territorio

En esta etapa se realizó un reconocimiento del territorio del Resguardo Indígena de Pitayó, que incluyó la recopilación de información sobre la geografía y el clima de la región, así como entrevistas con miembros de la comunidad para comprender sus características y necesidades específicas. Los datos obtenidos permitieron contextualizar el entorno en el que se encuentran las viviendas y entender mejor las condiciones que influyen en su diseño y construcción. Este proceso fue fundamental para adaptar el enfoque de evaluación estructural a las particularidades del terreno y el clima local.

b. Caracterización de viviendas tradicionales

Durante la fase de caracterización de las viviendas tradicionales, se realizó un inventario detallado que incluyó un registro fotográfico, encuestas a los residentes y la identificación de patologías visibles. Esta recopilación de datos permitió catalogar las viviendas según su tipo, estado y condición estructural. A partir de este inventario, se procedió a evaluar los aspectos estructurales claves de las viviendas tradicionales, incluyendo la descripción de muros, materiales, dimensiones, altura, cubierta, cimentaciones y uniones estructurales. Con base en esta evaluación, se identificaron los distintos tipos de viviendas, de acuerdo con la asesoría de los profesionales del componente de estructuras y arquitectura, del proyecto de vivienda en VIC. Finalmente, se definieron, en conjunto con estos profesionales, recomendaciones para ajustar los aspectos estructurales en la propuesta de vivienda definido, buscando un equilibrio entre la preservación de las técnicas tradicionales y el cumplimiento de las normativas modernas.

c. Revisión de literatura

Se realizó un análisis extenso de la literatura técnica y normativa vigente sobre la construcción y resistencia sísmica de sistemas tradicionales. Se investigaron diversos sistemas estructurales, incluyendo cimentaciones, uniones y técnicas de reforzamiento, con énfasis en

normativas internacionales y materiales tradicionales. Lo anterior, permitió identificar avances aplicables a la preservación y adaptación de la VIC en el Resguardo Indígena de Pitayó.

La revisión bibliográfica siguió una metodología en cinco pasos, desde la definición del alcance hasta la síntesis de hallazgos, organizando los resultados en construcciones con adobe, bahareque y métodos tradicionales.

d. Desarrollo de la propuesta estructural

En esta fase se desarrolló, con la asesoría de los profesores del componente estructural, una propuesta técnica para definir la estructura de la vivienda tradicional del Resguardo Indígena de Pitayó. Se integraron las técnicas constructivas tradicionales con las recomendaciones de las normativas sísmicas vigentes. Se priorizó la identificación de soluciones que respetaran la tradición cultural sin descuidar los estándares modernos de seguridad estructural. Además, en esta etapa se elaboraron planos de la propuesta y se formularon recomendaciones para llevar a cabo la construcción del prototipo. También, se analizó el diseño arquitectónico verificando que se cumplieran las recomendaciones de la revisión de la literatura. Finalmente, con la información del reconocimiento y caracterización del resguardo, se sugirió una posible zona del territorio para construir el prototipo de la vivienda tradicional, a partir de las recomendaciones técnicas para la implantación de edificaciones.

3. Reconocimiento del territorio

Inicialmente, se llevó a cabo una investigación a partir de entrevistas con algunos líderes comunitarios, con el objetivo de recopilar información sobre la ubicación, delimitación territorial, creencias, costumbres y principios de la comunidad. Posteriormente, se realizaron búsquedas adicionales para contrastar, complementar o corregir los datos obtenidos. Dentro de este proceso, se contactó a cuatro miembros destacados de la comunidad, quienes aportaron información clave sobre el contexto local: el Sr. Haiver Menza técnico en construcción y estudiante de arquitectura Universidad Nacional , ex cabildante y expresidente de la JAC de Pitayó Centro; el Sr. Hugo Corpus, Licenciado en educación , exrector de la Institución Educativa Renacer Páez; la Sra. Maribel Correa, licenciada en educación y magister en educación y la Sra. Claudia Mostacilla, actual gobernadora del Cabildo.

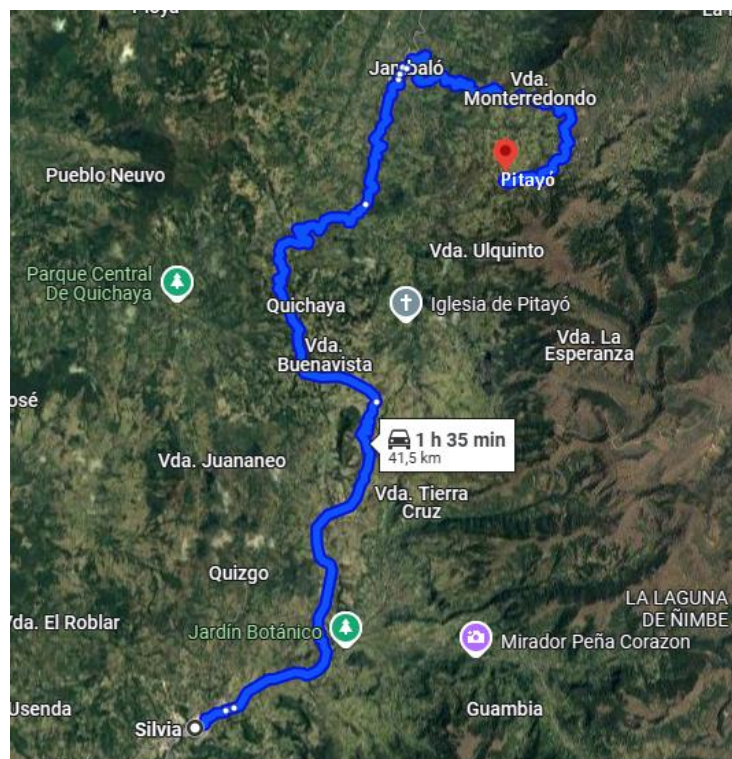
De acuerdo con Haiver Menza, uno de los habitantes del resguardo entrevistados, “el Resguardo Indígena de Pitayó está situado en las estribaciones de la cordillera Occidental de los Andes, en la zona nororiental del departamento del Cauca y al suroeste de Colombia. Su altitud promedio es de 2.700 m.s.n.m., lo que influye directamente en su clima, ecosistemas y condiciones geográficas” (H. Menza, comunicación personal, 11 de marzo de 2025).

Durante la entrevista, la Señora Maribel Correa narró que “el Resguardo Indígena de Pitayó, desde el punto de vista administrativo, forma parte del Municipio de Silvia, y que este se encuentra aproximadamente a 25 km de la cabecera Municipal y a 85 km de Popayán, la capital del departamento (Ilustración 2)” (M. Correa, comunicación personal, 11 de marzo de 2025). Asimismo, explicó que el resguardo limita con otros territorios indígenas, integrándose en una red de comunidades Nasa caracterizada por estrechas relaciones históricas, culturales y económicas. Entre los resguardos más cercanos se destacan Jambaló, ubicado a 12.2 km; Pueblo Nuevo, a 7 km; Quichaya, a 8 km; y Caldono, a 51 km. Históricamente, estos resguardos conformaban el antiguo Cacicazgo de Pitayó, una unidad territorial y política de los pueblos

indígenas en la región. Además, según lo indicado por el señor Hugo Corpus, “existen otros resguardos cercanos que también forman parte de esta red comunitaria, como Jambaló, Guambia y Mosoco”. (H.Corpus, comunicación personal, 11 de marzo de 2025)

Durante la entrevista con Haiver Menza, él proporcionó información valiosa acerca de los recursos hídricos del resguardo. Según sus declaraciones, la cabecera del resguardo se abastece de varias fuentes de agua, entre las cuales se destacan las Quebradas Chicuetiu y Bichayú, que son fundamentales para el suministro de agua potable, la agricultura y otras actividades comunitarias. Además, existen otras fuentes hídricas fuera del centro del resguardo que también desempeñan un papel importante en el territorio, como el Río Quintero, la Quebrada Calambás, la Quebrada Asmenga, el Río Ancho y el Río Pisno. Estos cuerpos de agua contribuyen significativamente a las dinámicas locales y al aprovechamiento de los recursos naturales de la región.

Ilustración 2: Localización de Pitayó Y Silvia



El resguardo cuenta con una temperatura media de 12°C y una humedad relativa del 75%. No obstante, han notado variaciones significativas en la temperatura en los últimos años. Según su percepción, cuando las temperaturas disminuyen, la sensación térmica resulta más fría en comparación con el pasado, mientras que, durante los periodos de calor, el aumento de la temperatura se percibe con mayor intensidad. Estas fluctuaciones podrían estar relacionadas con cambios en los patrones climáticos, posiblemente provocados por factores como la deforestación, el cambio climático global o modificaciones en el uso del suelo dentro del territorio.

Según Hugo Corpus, la ubicación del “Resguardo de Pitayó en la Cordillera Occidental lo expone a diversos fenómenos naturales que representan riesgos tanto para la infraestructura como para la población” (H. Corpus, comunicación personal, 11 de marzo de 2025). Tal como sugiere el Sr. Haiver Menza, “el territorio de Pitayó está influenciado por la cercanía a la falla de Romeral” (H. Menza, comunicación personal, 11 de marzo de 2025)., convirtiendo la sismicidad en una de las principales amenazas del territorio. La proximidad a esta falla activa ubica a la región en una zona de alta amenaza sísmica, lo cual incrementa la vulnerabilidad de las edificaciones y áreas residenciales frente a movimientos telúricos de gran magnitud, por lo que resulta esencial aplicar en su diseño criterios de construcción sismo-resistente.

Otro riesgo significativo en la zona es la remoción en masa, resultado de la combinación de pendientes pronunciadas, que en promedio oscilan entre el 25% y el 50%, y la elevada humedad del suelo. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2010) en terrenos con pendientes superiores al 25%, la estabilidad del suelo puede verse comprometida, especialmente cuando se presentan precipitaciones intensas. Esta situación incrementa la probabilidad de deslizamientos de tierra, lo que podría afectar vías de comunicación, viviendas y áreas dedicadas a la agricultura.

Los entrevistados explicaron que el territorio del resguardo está dividido en tres sectores principales, una clasificación que responde más a criterios políticos que a factores topográficos o climáticos (Ilustración 3). Esta organización surgió con el objetivo de optimizar la administración

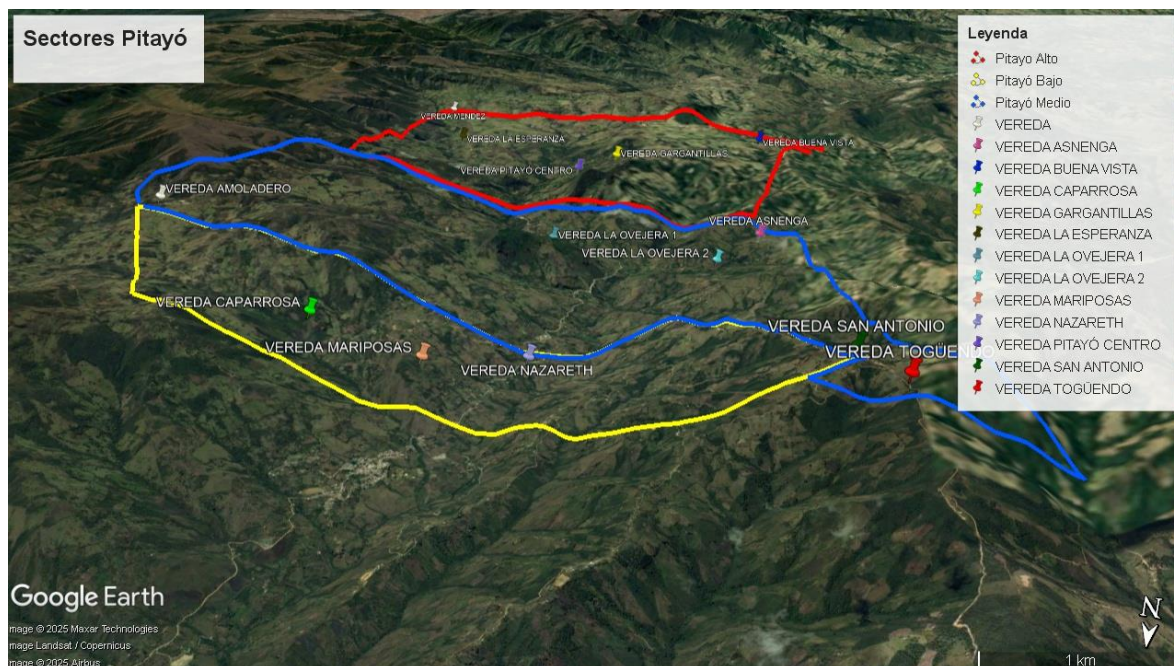
política del resguardo, facilitando la coordinación de votaciones, reuniones y otras actividades comunitarias.

Los sectores se distribuyen de la siguiente manera:

- ✓ Pitayó Alto: Comprende las veredas Méndez, La Esperanza, Buena Vista, Gargantillas, Pitayó Centro y Ulquinto.
- ✓ Pitayó Medio: Incluye las veredas Páramo Amoladero, Ovejera 1 y 2, Asnenga y Togüengo.
- ✓ Pitayó Bajo: Abarca las veredas Caparrosa, La Palma, Nazaret, Mariposas, Calambás, Lomalarga y San Antonio.

Esta división política permite una mejor organización de las dinámicas comunitarias y garantiza una gestión más eficiente del territorio.

Ilustración 3: Sectores de Pitayó



El Resguardo de Pitayó cuenta con una notable diversidad de materiales utilizados en la construcción de viviendas tradicionales, información que se obtuvo mediante la socialización con

los habitantes y se verificó a través de visitas a diversas viviendas dentro del territorio. Este análisis permitió identificar materiales que destacan por su uso frecuente en las edificaciones, influenciado tanto por su disponibilidad local como por las condiciones del terreno y el clima.

A continuación, en la Tabla 1 se presentan los principales materiales de construcción registrados en el resguardo:

Tabla 1: *Materiales identificados*

Materiales	Componente de la estructura
Teja, losa y zinc	CUBIERTA
Paja	
Adobe	MUROS
Ladrillo	
Bahareque	
Tierra	CIMIENTOS
Madera	
Piedra y cemento	
Concreto Ciclópeo, Piedra	
Pisos en tierra	ACABADOS
Baldosa	
Ventanas en metal	
Repello	
Puertas en madera	

4. Caracterización de viviendas tradicionales

Para iniciar esta fase, en la que se buscaba realizar un inventario detallado de las viviendas del Resguardo Indígena de Pitayó, fue fundamental conocer su territorio y su distribución. El primer paso consistió en identificar y ubicar las distintas veredas que conforman el resguardo (Ilustración 4); comprendiendo no solo su localización geográfica, sino también sus características particulares, tales como el tipo de acceso, y la cantidad de viviendas existentes.

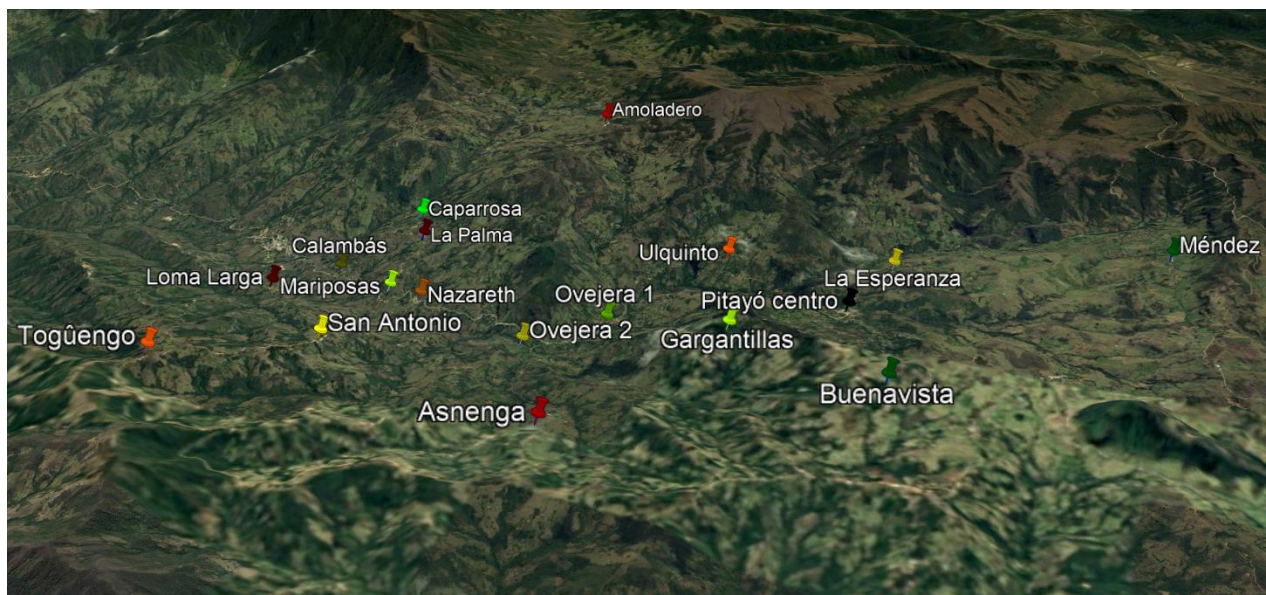
Este proceso permitió desarrollar un cronograma estructurado que serviría como guía para la ejecución del trabajo de campo. La planificación detallada de las visitas a cada vereda

fue esencial para optimizar los recursos y garantizar que se lograra un levantamiento de información exhaustivo y representativo de la diversidad arquitectónica y estructural presente en la comunidad.

Asimismo, se diseñó un plan de trabajo en el que se establecieron prioridades para organizar de manera eficiente las visitas a cada sector del resguardo. Para ello, se consideraron factores clave como la accesibilidad a las distintas zonas, las condiciones climáticas y la disponibilidad de los habitantes para participar activamente en el proceso. El acompañamiento de un guía local de cada vereda fue fundamental en cada recorrido, y en esta actividad se logró una correcta comunicación con miembros de las Juntas Acción Comunal (JAC).

El cronograma detallado de actividades, presentado en el Anexo 1, fue estructurado con el propósito de garantizar una cobertura integral y equitativa de las diferentes áreas del resguardo. Su elaboración contó con la valiosa colaboración de la ingeniera Yésica Menza, nativa de la región y directora del proyecto, cuya experiencia y conocimiento del territorio fueron fundamentales para definir rutas óptimas y establecer una secuencia lógica en las visitas.

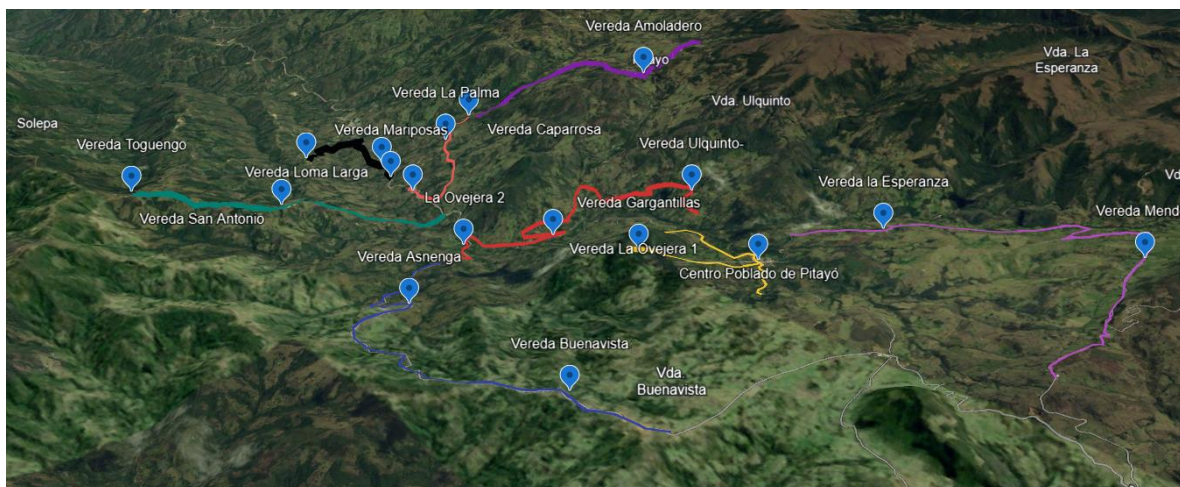
Ilustración 4: *Ubicación de veredas del Resguardo*



Además, el proceso se enriqueció con la participación de la comunidad de Pitayó, cuyos miembros contribuyeron con información clave sobre la distribución de las viviendas y las dinámicas comunitarias, facilitando así el desarrollo de un estudio más preciso y representativo. Para cada una de las visitas, se contó con el apoyo de estudiantes de semilleros de investigación (SIES y Reintegrarq), bajo la coordinación de los profesores Roger Ortega (Ingeniero) y Javier Barrera (Arquitecto). Con este equipo técnico fue posible recorrer y caracterizar 15 de las 18 veredas que conforman el resguardo.

La ingeniera Yessica Menza, definió las rutas de trabajo (Ilustración 5) y elaboró los formatos para el levantamiento de información detallada sobre las viviendas encuestadas, como se presenta en la Ilustración 6. Estos formatos fueron diseñados con el propósito de recopilar datos clave que permitieran no solo clasificar las viviendas dentro del resguardo, sino también analizar su estado actual, su relación con las técnicas constructivas tradicionales y su posible integración en futuras fases del proyecto.

Ilustración 5: *Resumen de las rutas planteadas*



El formulario incluyó parámetros esenciales como la vereda en la que se encontraba la vivienda, su número dentro del registro de la vereda, el uso que se le daba (residencial, mixto, otros), el sistema estructural empleado, el material de construcción predominante y la

clasificación de la vivienda como tradicional o no tradicional. En el caso de las viviendas identificadas como tradicionales, es decir, aquellas construidas con bahareque, adobe u otros materiales que cumplen con los criterios culturales del pueblo Nasa, se realizó un registro fotográfico lo más completo posible, tanto del interior como del exterior de la edificación.

Además de la documentación visual, se llevó a cabo un levantamiento de información adicional, registrando datos de georreferenciación para ubicar con precisión la vivienda en el territorio. Se consignaron también datos del propietario, el número de personas que habitaban en la vivienda y un contacto telefónico, con el fin de facilitar futuras visitas en caso de ser necesario un análisis más detallado.

También en este proceso se incluyó un apartado de observaciones en el que se destacaban elementos llamativos de las viviendas tradicionales. Estas observaciones abarcaban aspectos como su método de construcción, el año en que fue edificada, particularidades en su diseño, técnicas constructivas empleadas y cualquier otra información relevante proporcionada por los habitantes o identificada durante la inspección.

Ilustración 6: *Encuesta realizada a vivienda clasificada como tradicional*

PROYECTO: MODELO DE VIVIENDA DE INTERES CULTURAL PARA EL DESARROLLO Y PRESERVACION DE LA IDENTIDAD EN EL RESGUARDO INDÍGENA DE PITAYÓ, SILVIA – CAUCA. ETAPA 1						
Actividad: Realizar el inventario de las viviendas de la región en una muestra representativa de la región						
Vereda:	CAPARROSA					
Vivienda #	5					
	Residencial	Mixta	Otro	Nombre del encuestador (es) : * Javier Barrera Guzman * Juan Esteban Camacho Mera		
Uso	X					
	Muros	Pórticos	Combinado			
Sistema estructural	X					
	Adobe	Bahareque	Mampostería	Concreto	Acero	Otro
Material	X					
	SI	NO				
Vivienda tradicional	X					
Fotografías						
(Solo de la fachada, donde sea posible identificar el sistema estructural)						
Referencie el # de fotografía según el registro en la cámara						
						
INFORMACIÓN SOLO PARA VIVIENDA TRADICIONAL						
Georreferenciación				Observaciones: No se presenta persona en la vivienda, por lo que el líder de la comunidad procede a facilitarnos parte la información.		
Nombre del propietario	Arvey Fernandez					
Número de personas que habitan	4					
Contacto (#Celular)	No presenta					
Fotografías de la vivienda tradicional						
(Fotografías de la fachada, vistas laterales y posterior y si es posible del interior de la vivienda)						
Referencie el # de fotografía según el registro en la cámara						
						
						
						

Por otro lado, si una vivienda no cumplía con los criterios para ser clasificada como tradicional, el levantamiento de datos se limitaba a tomar una única fotografía de su fachada, sin profundizar en detalles adicionales, como se muestra en la Ilustración 7. Esto permitía centrar los esfuerzos en la documentación de aquellas estructuras que representaban fielmente el legado arquitectónico del resguardo, contribuyendo así a la preservación del conocimiento ancestral en la construcción de viviendas y al reconocimiento de su importancia en el objetivo de la investigación.

En el Anexo 2 se puede visualizar una base de datos donde se encuentran todos los formatos de las veredas donde se realizó el levantamiento

Después de completar el levantamiento en las 15 veredas del Resguardo Indígena de Pitayó, se llevó a cabo un análisis de las viviendas tanto tradicionales como no tradicionales. Este análisis tuvo como objetivo cuantificar el número total de viviendas inspeccionadas y su distribución en función de su tipología constructiva.

Para darle continuidad este análisis y obtener una visión más amplia del total de viviendas dentro del resguardo, se trabajó en conjunto con las autoridades locales y la comunidad para acceder al censo oficial de viviendas. Este censo permitió contrastar los datos obtenidos en campo con el registro general del resguardo, lo cual facilitó la identificación de posibles discrepancias y la planificación de futuras visitas para completar la información faltante.

Ilustración 7: Encuesta realizada a vivienda clasificada como no tradicional

PROYECTO: MODELO DE VIVIENDA DE INTERES CULTURAL PARA EL DESARROLLO Y PRESERVACION DE LA IDENTIDAD EN EL RESGUARDO INDÍGENA DE PITAYÓ, SILVIA – CAUCA. ETAPA 1							
Actividad: Realizar el inventario de las viviendas de la región en una muestra representativa de la región							
Vereda:	CAPARROSA						
Vivienda #	8						
	Residencial	Mixta	Otro	Nombre del encuestador (es) : * Javier Barrera Guzman * Juan Esteban Camacho Mera			
Uso	X						
	Muros	Pórticos	Combinado				Otro
Sistema estructural		X					
	Adobe	Bahareque	Mampostería	Concreto	Acero	Otro	
Material	X		X				
	SI	NO					
Vivienda tradicional		X					
Fotografías (Solo de la fachada, donde sea posible identificar el sistema estructural)							
Referencie el # de fotografía según el registro en la cámara							
INFORMACIÓN SOLO PARA VIVIENDA TRADICIONAL							
Georreferenciación							
Nombre del propietario							
Número de personas que habitan							
Contacto (#Celular)							
Fotografías de la vivienda tradicional (Fotografías de la fachada, vistas laterales y posterior y si es posible del interior de la vivienda)							
Referencie el # de fotografía según el registro en la cámara							
							

Los datos recopilados permitieron determinar las viviendas que aún no habían sido inspeccionadas y calcular el porcentaje de viviendas levantadas en relación con el censo total. Este análisis permitió establecer el alcance del trabajo realizado hasta el momento y los resultados de este cálculo quedaron consignados en la Tabla 2, proporcionando un panorama claro sobre el avance del levantamiento.

Tabla 2: *Viviendas en el Inventario general del proyecto y en el censo del Cabildo Indígena de Pitayó*

Vereda	Inventario del proyecto			Censo del Cabildo	Viviendas restantes	Porcentaje respecto al censo
	Viviendas tradicionales	Viviendas no tradicionales	Total de viviendas	Total de viviendas		
Gargantillas	20	5	25	75	50	33.33%
Buenavista	9	22	31	170	139	18.24%
Togüendo	11	1	12	117	105	10.26%
Centro Pitayó	21	30	51	448	397	11.38%
Amoladero	16	13	29	53	24	54.72%
Asnenga	22	2	24	187	163	12.83%
Caparrosa	22	7	29	67	38	43.28%
La Esperanza	25	13	38	156	118	24.36%
Ovejera1	10	47	57	239	182	23.85%
Ovejera 2	12	2	14	60	46	23.33%
Mariposas	13	16	29	73	44	39.73%
Méndez	17	23	40	171	131	23.39%
Nazareth	7	4	11	224	213	4.91%
San Antonio	12	11	23	153	130	15.03%
Ulquinto	26	16	42	122	80	34.43%
Total			455	2315	1860	19.65%

El análisis de la información muestra que, en total, se visitaron 455 viviendas frente a las 2,315 registradas en el censo oficial del Cabildo, lo que representa un 19.65% de cobertura para

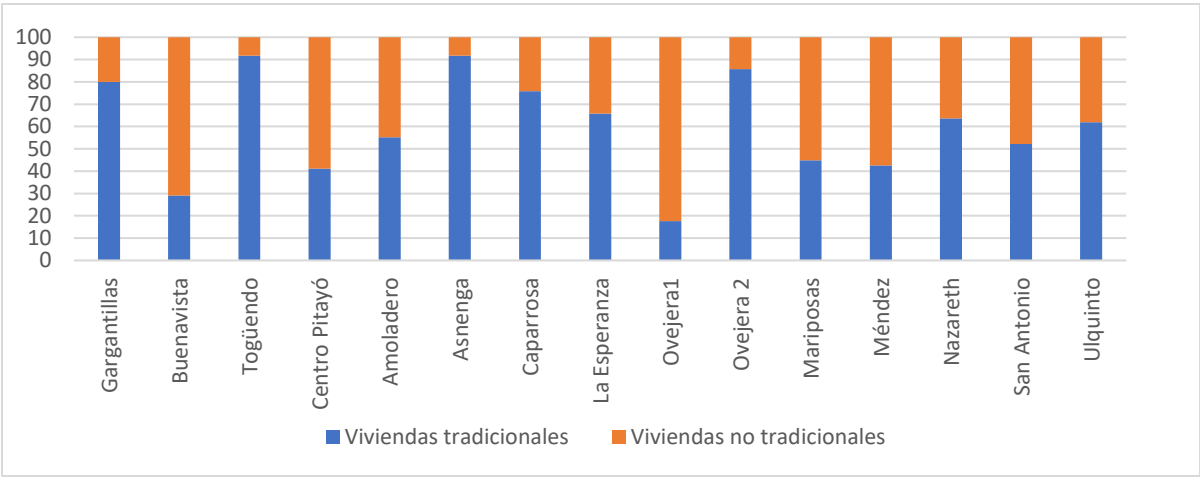
todo el Resguardo Indígena de Pitayó en este proyecto. Sin embargo, este porcentaje no se distribuye de manera uniforme entre las distintas veredas. Por ejemplo:

- El Amoladero, alcanza la mayor cobertura con un 54.72% (29 de 53 viviendas), lo que sugiere que se logró un acceso más completo y una buena disposición de los habitantes para el levantamiento de información. Además, esta vereda ubicada en la ladera del páramo tiene la condición de tener la menor cantidad viviendas conformando un caserío bien definido con pocas viviendas dispersas.
- Por el contrario, en la vereda Nazareth, se obtuvo la cobertura más baja con apenas 4.91% (11 de 224 viviendas), reflejando una menor representatividad de esta vereda en los datos actuales. Este resultado se debe a la dispersión de las viviendas en un área muy amplia y con grandes pendientes, además de problemas logísticos durante la visita.
- En veredas como Carparrosa (43.28%), Mariposa (39.73%), Ulquinto (34.43%) y Gargantilla (33.33%), se observa un rango de cobertura medio-alto, lo que indica un avance significativo en la recolección de datos, aunque con una parte considerable de viviendas fuera del inventario.
- En contraste, veredas como Togûendo (10.26%), Pitayó Centro (11.38%) y Asnenga (12.83%) obtuvieron porcentajes de cobertura relativamente bajos. Lo anterior, debido a distintos factores como el clima, las condiciones de acceso a las viviendas, y el tamaño de la vereda y la dispersión de las viviendas en el territorio.
- El resto de las veredas, incluyendo Buenavista (18.24%), Ovejera 1 (23.85%), Ovejera 2 (23.33%), La Esperanza (24.36%), Méndez (23.39%) y San Antonio (15.03%), presentan porcentajes que rondan entre el 15% y el 25%, lo que sugiere un avance aceptable en esta fase.

En la Ilustración 8, se resume en términos de porcentaje, las viviendas tradicionales y no tradicionales del total de viviendas del inventario de la investigación. Este cálculo permitió

cuantificar el grado de conservación de las técnicas constructivas ancestrales en comparación con la adopción de métodos modernos de construcción. Esta información es clave para concluir que el Resguardo Indígena de Pitayó aún conserva su patrimonio cultural y que un proyecto de VIC está plenamente justificado para esta comunidad.

Ilustración 8: Diagrama de levantamiento y censo de viviendas (Porcentaje de viviendas tradicionales vs no tradicionales en cada vereda)



El análisis de los datos revela que existe una diversidad considerable en la distribución de viviendas tradicionales versus no tradicionales entre las veredas del resguardo. En veredas como Toguendo (91.67%), Asnenga (91.67%), Ovejera 2 (85.71%), Carparrosa (75.86%) y Gargantilla (80.00%), predomina claramente el uso de técnicas constructivas tradicionales, lo que indica una fuerte conservación de la identidad cultural y del saber ancestral. Por el contrario, en veredas como Buenavista (29.03%), Centro Pitayo (41.18%), Ovejera 1 (17.54%), Mariposas (44.83%) y Méndez (42.50%), se observa una mayor presencia de viviendas no tradicionales, lo que sugiere una inclinación hacia métodos constructivos más modernos en esas áreas. Esta condición está estrechamente relacionada con la ubicación de estas veredas cerca a la vía principal de acceso al territorio, con aceptables conexiones a tanques de almacenamiento de agua comunitaria y redes de alcantarillado. Lo anterior, sugiere que estas veredas han ido

cambiando su forma de construcción tradicional con la llegada de nuevas técnicas constructivas propias de áreas semiurbanas.

Al promediar los datos de las 15 veredas, se observa que alrededor del 60 % de las viviendas corresponden a construcciones tradicionales. lo que evidencia que, en términos generales, la mayoría de las edificaciones en el resguardo mantienen las técnicas constructivas ancestrales. Este predominio subraya la importancia de preservar y fortalecer estas prácticas tradicionales para mantener la esencia cultural del pueblo Nasa de Pitayó.

4.1. Formas de vivienda

Durante el proceso de observación y análisis, se evidenció un patrón arquitectónico predominante en las viviendas tradicionales de la zona. Estas edificaciones, mayormente de un solo nivel, están construidas con materiales como bahareque, adobe y ladrillo, como se puede evidenciar en la Fotografía 1. Siendo el bahareque el más utilizado debido a su disponibilidad y “propiedades térmicas”. La distribución interna de las viviendas es sencilla, contando generalmente con una sala comúnmente dos habitaciones.

En estas viviendas suelen habitar más de tres personas, o incluso algunas por más de 5. En la parte exterior, es común encontrar corredores amplios que rodean la estructura, proporcionando áreas de tránsito y esparcimiento. En cuanto a la disposición arquitectónica, predominan las formas en "L" o en "C", las cuales favorecen la integración de los espacios abiertos con los cerrados. Las ventanas están presentes en algunas habitaciones, aunque en ciertos casos las viviendas carecen de ellas o son muy pequeñas, especialmente en zonas frías.

Las cubiertas son inclinadas, generalmente con una configuración a dos aguas, incorporando una abertura en la parte superior para facilitar la circulación del aire y la evacuación de humo.

Por último, es importante destacar la antigüedad de estas viviendas, ya que muchas de ellas superan los 20 años de existencia, e incluso en algunas veredas se encontraron casas con más de 50 años.

Fotografía 1: *Vivienda tradicional*



4.2. Tipo de construcciones

En cuanto a los tipos de construcción, se reconocieron tres categorías principales. La primera corresponde a las viviendas de mampostería, edificadas con bloques de cemento o ladrillo. La segunda abarca las viviendas de adobe, donde la tierra cruda mezclada con paja o fibra natural es el componente predominante en la elaboración de los muros. Por último, se identificaron viviendas de bahareque, que utilizan una estructura de madera o caña recubierta con tierra (Fotografía 2). Dentro de las viviendas tradicionales, el bahareque predominaba ampliamente sobre el adobe, lo que indica una mayor preferencia y conocimiento de esta técnica constructiva entre los maestros de obra locales.

Se evidenció una distribución geográfica diferenciada entre estos tipos de viviendas. Las construcciones de mampostería eran más comunes en las zonas cercanas a las carreteras y al centro de Pitayó, donde el acceso a materiales industriales y a técnicas modernas de

construcción es más fácil. En contraste, a medida que se avanzaba hacia áreas más alejadas, aumentaba significativamente la presencia de viviendas tradicionales, lo que sugiere una mayor permanencia de las técnicas ancestrales en los sectores menos urbanizados.

Fotografía 2: *Casa en adobe con teja y repello*



Un aspecto relevante es que los maestros de obra de la comunidad evidencian un mayor dominio y familiaridad con la construcción en bahareque en comparación con otras técnicas, lo que refuerza su papel como el sistema constructivo más arraigado en la región. Esta preferencia puede estar vinculada a factores como la disponibilidad de materiales locales, el conocimiento transmitido de generación en generación y la adaptación de la técnica a las condiciones climáticas y geográficas del territorio.

4.3. Tipos de madera

Un elemento común en las viviendas tradicionales, tanto de adobe como de bahareque, es el uso de madera en su estructura (Fotografía 3). La madera desempeña un papel fundamental en la construcción local, utilizándose para vigas, columnas, cimentaciones y

cubiertas. Entre las especies más empleadas se encontraban el eucalipto blanco y rojo, el pino aserrado, el aliso, el motilón, el encenillo, y el pino de páramo. Esta observación coincidió con los testimonios recogidos en la entrevista realizada durante la fase de reconocimiento del resguardo, donde los habitantes destacaron la preferencia por maderas rectas y resistentes.

Fotografía 3: *Construcción de casa en bareque*



En construcciones más antiguas, era común encontrar el uso del motilón, una madera altamente valorada por su fortaleza y abundancia en la región. Su durabilidad es evidente en muchas viviendas tradicionales donde las vigas y columnas de motilón aún se encuentran en excelentes condiciones a pesar del paso del tiempo. Sin embargo, debido a regulaciones impuestas por la autoridad ambiental, el uso de esta madera ha disminuido drásticamente en las nuevas edificaciones y en la actualidad se encuentra totalmente restringida la tala de esta especie nativa.

Actualmente, el eucalipto y el pino han tomado mayor protagonismo en la construcción debido a su disponibilidad y facilidad de acceso. Esto ha generado una transición en los materiales utilizados, aunque se mantiene el principio estructural tradicional de integrar la madera

como un componente esencial en las viviendas, el agotamiento de las especies nativas se ha limitado en la actualidad.

4.4. Localizaciones por fuera de la vivienda

Otro aspecto que resaltó en la caracterización de las viviendas tradicionales fue la ubicación externa de la cocina y el baño. Según cuentan los mismos constructores de la zona, esta es una disposición que responde a factores funcionales, constructivos y culturales. La cocina, separada de la casa principal, permite reducir el riesgo de incendios, mejorar la ventilación y evitar la acumulación de humo y olores en los espacios habitables (Fotografía 4).

Fotografía 4: *Espacio de cocina de vivienda construida en casa de bahareque*



En las viviendas dispersas, fue usual observar la disposición de los baños por fuera de la vivienda, como se muestra en la Fotografía 5 y

Fotografía 6. Lo anterior, debido a la ausencia de sistemas de alcantarillado, ayudando a prevenir la infiltración de humedad en las estructuras de adobe o bahareque, y por razones de higiene y salubridad.

Esta organización espacial se complementa con la presencia de jardines y materas alrededor de las casas, proporcionando un entorno más fresco y armonioso. En las zonas más alejadas del centro poblado, las viviendas cuentan con terrenos amplios donde se cultivan productos autóctonos de la región, lo cual les permite una vida autosuficiente sin depender de tiendas o mercados. Aunque en los centros poblados, el área de uso alrededor de la vivienda es menor, típicamente las viviendas cuentan al menos con un área pequeña para la huerta tul, usualmente localizada en la parte posterior del lote de la vivienda.

Fotografía 5: *Localización externa del baño en una vivienda construida en bareque*



Fotografía 6: *Localización externa del baño en una vivienda construida en bahareque*



Además, se evidenció que, a mayor distancia de las carreteras y los núcleos urbanos, el autoabastecimiento agrícola era más común, reforzando la conexión entre la vivienda, su entorno y las prácticas tradicionales de la comunidad. Así, la distribución de los espacios en estas casas

no solo obedecía a criterios de funcionalidad, sino que también reflejaba un modo de vida arraigado en la autosuficiencia y la adaptación al territorio.

4.5. Cimentaciones y muros

Las construcciones en adobe y bahareque presentan algunas deficiencias en su cimentación, lo que podría ocasionar afectaciones en la estructura o cimentación. Durante las visitas realizadas, se evidenció que muchas de estas viviendas carecen de una cimentación adecuada o de un sistema de confinamiento que garantice una correcta distribución de cargas. La cimentación se realiza excavando zanjas superficiales a lo largo del perímetro de las paredes portantes, en las que se colocan piedras de río o bloques irregulares asentados sobre el terreno natural. Estas piedras se intercalan a veces con fragmentos de ladrillo y se rellenan con tierra apisonada, sin utilizar mortero o concreto hidráulico. Sobre esta base empírica se levantan las hiladas iniciales de adobe o el entramado de cañas del bahareque.

Uno de los principales problemas de este método es la falta de un anclaje sólido entre la base y los muros (Ilustración 9), lo que podría generar inestabilidad en los postes de los muros. Al no existir un elemento que reparta de manera uniforme las cargas de la vivienda, estas se transmiten directamente al terreno, provocando asentamientos o grietas en los muros. Este problema se agrava en suelos de baja capacidad portante o con alta presencia de humedad, ya que la erosión puede desestabilizar aún más la base de la construcción.

En el caso del adobe, al ser un material pesado y de baja resistencia a esfuerzos de tracción, la falta de una cimentación adecuada aumenta el riesgo de fallas estructurales ante movimientos sísmicos. Por otro lado, el bahareque, aunque más liviano y flexible, también sufre problemas similares, especialmente cuando el contacto directo con la humedad del suelo deteriora la madera utilizada en su estructura y debilitando la conexión entre los elementos verticales y horizontales.

Estos problemas evidencian la necesidad de incorporar técnicas de cimentación más eficientes en la construcción de viviendas de adobe y bahareque en el Resguardo Indígena de Pitayó. Sin una cimentación adecuada, las viviendas tradicionales podrían presentar problemas estructurales que ponen en riesgo la seguridad de sus habitantes y reducen su vida útil considerablemente.

Ilustración 9: *Cimientos construidos en vivienda de bahareque.*



4.6. Pisos

Los pisos en estas viviendas tradicionalmente eran acabados directamente sobre la tierra, sin la aplicación de materiales adicionales para nivelación o refuerzo. En muchas casas, el suelo se dejaba expuesto, mientras que en otras se realizaba un intento básico de nivelación compactando la misma tierra. En algunos casos, especialmente en viviendas más recientes, se

encontraron pisos con cerámica, aunque era poco común que estos contaran con una capa de mortero de nivelación adecuada, lo que generaba desniveles, problemas de adherencia con el tiempo y fisuras en la cerámica.

Es notable que la ausencia de un buen suelo trae consigo varios inconvenientes. En primer lugar, la falta de una barrera contra la humedad facilita la absorción de agua del subsuelo, lo que puede debilitar tanto los muros de adobe como la madera en las viviendas de bahareque, como se observa en la Fotografía 7. Además, la acumulación de polvo y la dificultad para mantener una superficie uniforme afectan las condiciones de habitabilidad, generando problemas de higiene y confort térmico.

Fotografía 7: *Grietas en los muros*



4.7. Otras patologías

Por último, se evidenciaron otras deficiencias que, aunque no estrictamente estructurales, afectan significativamente la habitabilidad y seguridad de las viviendas. Entre ellas destacan las conexiones eléctricas expuestas y mal instaladas, con cables a la vista y sin mecanismos de

protección adecuados, lo que representa un alto riesgo de cortocircuitos e incendios, como se evidencia en la Fotografía 8.

Fotografía 8: *Conexiones eléctricas inseguras, exceso de humedad*



5. Levantamiento arquitectónico de viviendas seleccionadas

Luego de completar el análisis de las viviendas del inventario general, se procedió a realizar una pre- selección de las casas que serían objeto de un levantamiento de sus dimensiones y detalles constructivos más cuidados. Estos datos se consignan en la Tabla 3 . Este proceso se basó en los criterios establecidos en la fase inicial, buscando identificar aquellas viviendas que, por sus características constructivas, fueran representativas de la VIC para el territorio.

Tabla 3: *Viviendas preseleccionadas para el levantamiento*

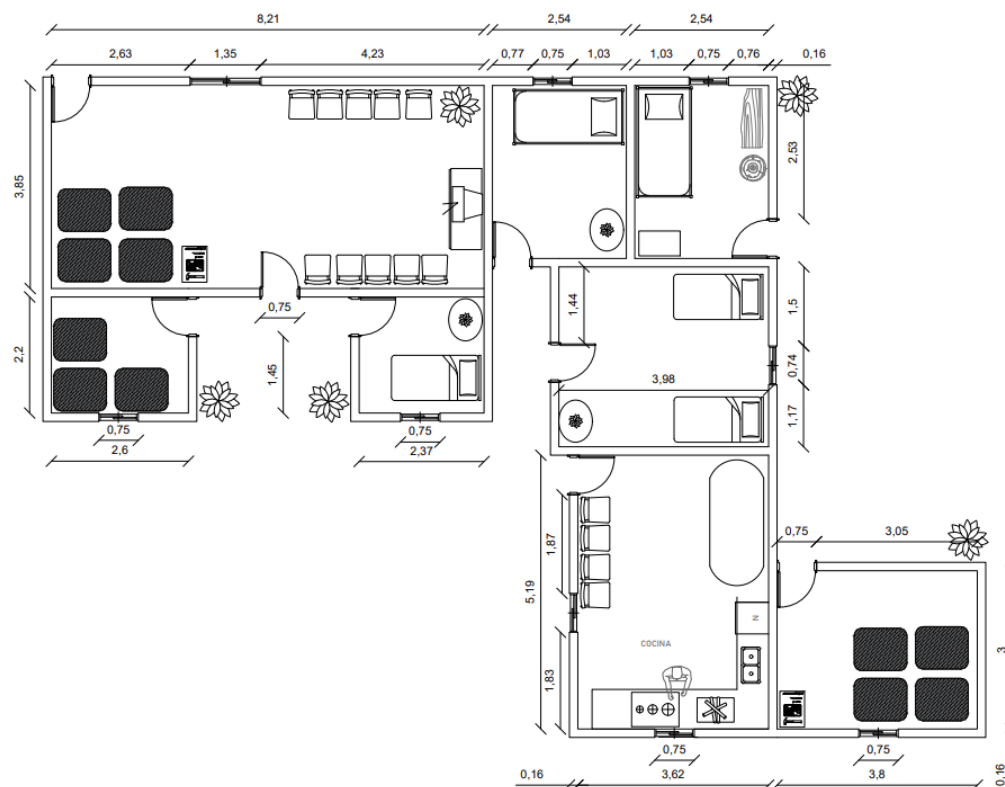
Vereda	Identificación de las viviendas según el inventario general	Observaciones
Centro Pitayó	#19, #51, #5, #13	Viviendas con distribución en planta en L, de un solo piso y construidas en bahareque.
La Esperanza	#38, #35, #29	Viviendas con cubierta a dos aguas y con buen estado de conservación.
Ulquinto	#1 #8	Viviendas con distribución arquitectónica tradicional y representativa del territorio, con amplios corredores y con una antigüedad superior a los 30 años.
Ovejera 1	#3 #6	Viviendas con una antigüedad estimada superior a los 30 años, aparentemente en buenas condiciones estructurales.
Buena vista	#25	Vivienda construida en bahareque con distribución arquitectónica en planta tipo C, con detalles arquitectónicos representativos de la cultura Nasa.

El segundo levantamiento consistió en la identificación y selección de las viviendas que serían nuevamente visitadas para recolectar datos más específicos y profundizar en el análisis de su estructura y construcción. Durante esta fase, se prestó especial atención a aquellos elementos arquitectónicos que mejor preservaban las técnicas constructivas ancestrales y a las viviendas que mantenían la identidad cultural del pueblo Nasa de Pitayó.

Una vivienda seleccionada fue la Casa 25 ubicada en el área rural del Centro Poblado de Pitayó (Pinos verdes), como se evidencia en el levantamiento presentado en la Ilustración 10. Las coordenadas de esta vivienda son de 2.712805, -76.317235. En este caso, se tomaron medidas detalladas y se elaboraron manualmente esquemas, los cuales posteriormente fueron digitalizados en AutoCAD (Ver Anexo 2), permitiendo reconocer propuestas de viviendas que reflejan las técnicas tradicionales

La vivienda, de un solo piso y construida en bahareque con una distribución irregular, sirve de referencia por su coherencia con las dinámicas de vida familiar tradicional, alberga más de cuatro personas y cuenta con los siguientes espacios: como cocina, baño, zonas comunes, varias habitaciones, un área de almacenamiento y una huerta en su exterior destinada al cultivo de productos de autoconsumo.

Ilustración 10: Levantamiento arquitectónico de la vivienda 1



6. Revisión de literatura y normativa vigente

Este capítulo presenta los principales referentes teóricos y técnicos que fundamentan el desarrollo del proyecto. Los temas abordados en esta revisión han sido seleccionados por su relevancia para la comprensión de los sistemas constructivos tradicionales y el diseño de propuestas acordes al contexto del Resguardo Indígena de Pitayó. Para una consulta más detallada de los contenidos revisados, se remite al Anexo 4.

6.1. Sistemas Constructivos Tradicionales: Bahareque y Adobe.

A lo largo de la historia, el ser humano ha demostrado su ingenio al construir viviendas utilizando tierra y materiales vegetales disponibles en su entorno. Estas construcciones, con diversas formas y diseños, son un testimonio de la inteligencia y adaptabilidad de las culturas constructivas a lo largo del tiempo (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

El bahareque es una técnica constructiva utilizada por los Mayas hace más de 3.500 años, principalmente para construir sus viviendas. Esta técnica se extendió por gran parte del territorio chiapaneco, así como por otros estados del sureste de México y Centroamérica. El bahareque también es conocido en diferentes países de Latinoamérica, Europa y África (González A. L., 2015).

En diversas partes del mundo, se puede apreciar este legado arquitectónico y su continua aplicación a pesar de los desafíos de la naturaleza, especialmente los terremotos. Esta técnica de construcción (estructura y relleno) recibe diferentes nombres según la región, como "quincha" en Perú, "cuje" en Cuba, "bahareque" en El Salvador, "pao pique" en Brasil o tabiquería en otros países. A pesar de la variedad de nombres y formas, todas estas construcciones comparten características similares (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Está comprobado que el bahareque y sus variantes tienen un buen desempeño ante los sismos, ya que sus características físico-mecánicas son adecuadas. Esto ha sido evidenciado

en terremotos recientes, como los ocurridos en América Central, y confirmado por estudios científicos. Por lo tanto, el propósito de la guía de construcción elaborada por Carazas Aedo & Rivero Olmos (2002) es proporcionar apoyo técnico y teórico a constructores, albañiles y cualquier persona que desee construir su vivienda utilizando esta técnica.

La construcción con tierra y elementos vegetales es una tradición arquitectónica global que sigue vigente a pesar de los desafíos, como los terremotos. Esta técnica, conocida por diferentes nombres en distintas regiones, ha demostrado su eficacia en zonas sísmicas y esta guía busca brindar las herramientas necesarias para que cualquier persona pueda construir su vivienda de forma segura y eficiente utilizando este sistema constructivo (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

El bahareque se distingue por su notable adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y geográficas, lo que ha permitido su permanencia a lo largo del tiempo. Su capacidad para integrarse armónicamente con el entorno y aprovechar recursos locales lo convierte en un valioso referente dentro de la arquitectura vernácula y el patrimonio cultural de múltiples comunidades. (Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2020).

En la región de la Orinoquía (Arauca, Casanare, Meta, Guaviare y Vichada), la arquitectura tradicional llanera combina elementos indígenas con aportes jesuitas del siglo XVII, utilizando adobe, bahareque y tapia pisada como materiales predominantes. En Casanare, alrededor del 18 % de las viviendas rurales aún emplean adobe. A pesar de su legado cultural y su presencia en ciertas regiones, el adobe enfrenta un retroceso en su uso debido a la modernización y la falta de reconocimiento normativo (Rivera Salcedo, Valderrama Gutiérrez, Daza Barrera, & Plazas Jaimes, 2021)

El adobe ha sido considerado más una manifestación tradicional que una opción arquitectónica contemporánea en Colombia, lo que ha llevado a su desuso debido a la falta de normativas que validen su uso en viviendas urbanas y rurales. Según el Censo Nacional Agropecuario de 2014, solo el 25,5 % de las viviendas rurales en Colombia usan materiales como

tapia pisada, adobe o bahareque, evidenciando una reducción con respecto a 2005, cuando representaban el 31,9 %. Este reemplazo progresivo por materiales industriales refleja la pérdida de este sistema constructivo (Rivera Salcedo, Valderrama Gutiérrez, Daza Barrera, & Plazas Jaimes, 2021).

Históricamente, en Bogotá, hasta el siglo XIX, el adobe fue clave en la construcción de iglesias y edificaciones urbanas, consolidando su papel en el patrimonio arquitectónico colombiano. Sin embargo, tras la independencia, su uso decayó con la llegada de nuevas técnicas constructivas de la Revolución Industrial (Rivera Salcedo, Valderrama Gutiérrez, Daza Barrera, & Plazas Jaimes, 2021).

El término actual "adobe" proviene del árabe "attoba", que significa "ladrillo de barro crudo". Su uso se extendió desde Egipto y el Lejano Oriente hacia Europa a través de Grecia y Roma. El adobe es un material de construcción antiguo y ampliamente utilizado, con evidencia de su uso desde el 8000 A.C. en unidades de barro secadas al sol. Es común en zonas propensas a desastres y en construcciones rurales de bajos ingresos. En México, culturas prehispánicas lo emplearon en grandes templos y pirámides como la de Cholula y la del Sol en Teotihuacán (González A. L., 2015).

El adobe se define como un material de construcción elaborado a partir de bloques de tierra cruda, generalmente mezclada con paja u otros estabilizadores, que se moldean y se dejan secar al sol para alcanzar la resistencia necesaria. Esta técnica milenaria ha sido utilizada en diferentes partes del mundo, especialmente en regiones áridas y templadas, por su bajo costo, sostenibilidad y su capacidad para regular las temperaturas internas de las viviendas, lo que la convierte en una opción ecológica y económica (Arango K. R., 2020)

Los sistemas tradicionales de construcción abarcan un conjunto de métodos y técnicas transmitidos de generación en generación, basados en el aprovechamiento de materiales locales y en la adaptación al entorno natural y cultural de cada comunidad. Más que soluciones habitacionales funcionales y sostenibles, representan un valioso reflejo del conocimiento

ancestral y de la identidad cultural de los pueblos. Preservarlos es esencial para mantener la memoria colectiva y el legado arquitectónico, contribuyendo al desarrollo y la resiliencia de las comunidades indígenas (Orozco, Paredes, & Tocancipá, 2013)

Las definiciones previamente expuestas coinciden con la mayoría de las investigaciones revisadas en la literatura. Los resúmenes de estos estudios revelan un enfoque común, aunque con alguna variación en los objetivos específicos. Algunas investigaciones se centran en el mejoramiento de las estructuras construidas mediante sistemas tradicionales, otras abordan el proceso constructivo en detalle, y algunas más investigan las propiedades mecánicas y físicas de los materiales empleados. En conjunto, estos trabajos convergen en la promoción, la optimización y la preservación de los sistemas constructivos tradicionales, subrayando su importancia en la conservación del patrimonio cultural y el desarrollo sostenible de las comunidades.

6.2. Propiedades físicas y mecánicas del adobe y bahareque.

6.2.1. Adobe.

En el ámbito de la construcción con tierra, el adobe se destaca como un material ecológico y sostenible. Esta revisión ofrece información detallada sobre su integridad estructural y sus propiedades físicas y mecánicas, con el propósito de identificar los factores clave que influyen en su uso y promover mejoras en los métodos constructivos. El adobe está compuesto por una mezcla de tierra, agua y fibras naturales, cuyos componentes le proporcionan características particulares de resistencia y durabilidad. Debido a su relevancia como material estructural, la construcción de muros de adobe ha sido objeto de numerosos estudios que exploran su comportamiento y eficiencia en distintos contextos (Dente & Donahue, 2019)

Diversos investigadores han abordado las implicaciones del uso del adobe como material de construcción (Zeghari, et al., 2021). La mayoría de estos estudios se han enfocado en mejorar

el rendimiento estructural del adobe, mientras que pocos han explorado su comportamiento higrotérmico. En esta sección, se analizarán detalladamente las proporciones de los componentes del adobe reportadas en la literatura, con el propósito de comprender su influencia en la calidad y desempeño del material.

6.2.1.1. Composición del subsuelo para el adobe.

La composición del subsuelo utilizada en la elaboración del adobe se recopiló a partir de una revisión de literatura, en la cual se identificaron diferentes mezclas. Un resumen de estas composiciones se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: *Resumen de composición del subsuelo para mezclas de adobe*

Autor	Composición del subsuelo (%)	Comentarios
Saxton	30% grava, 35% arena, 35% limo y arcilla	Define una composición típica del suelo en su estudio sobre adobe.
Alassaad et al. (2022)	- ML: Plasticidad 24%, IP 3.6% - SM: Plasticidad 21%, IP 2.7%	Analizaron dos tipos de suelo con composición mineral similar (cuarzo, mica, feldespato, oxihidróxidos de hierro, limonita).
Quagliarini et al. (2010)	34% arcilla, 17% arena, 49% limo, IP 19%, IL 38%	Estudiaron adobe histórico y replicaron una mezcla similar con ligera variación en proporciones.
Réplicas de Quagliarini et al.	36% arcilla, 13.5% arena, 50.5% limo, IP 21%, IL 42%	Mezcla experimental basada en su estudio anterior.
Alhumayani et al. (2020)	Uso de 80 kg de subsuelo	No se especifican porcentajes, solo la cantidad de material utilizado.
Miccoli et al. (2012, 2014, 2019)	18% arena y grava, 61% limo, 21% arcilla	Probaron una mezcla de materiales para adobe.
Ben-Alon et al. (2018)	50% arcilla	Alto contenido de arcilla para construir un metro cuadrado de adobe.
Medero et al. (2009)	24.4% grava, 19.7% arena gruesa, 32.5% arena fina	Composición evaluada en un estudio sobre suelo.

Autor	Composición del subsuelo (%)	Comentarios
Sangma & Tripura (2019, 2021)	60.5% arena, 22.25% limo, 14.25% arcilla, IP 11.43%	Mezcla optimizada para mejorar el desempeño estructural del adobe.
Alqenaee & Memari (2022)	38.53%-52.63% arcilla, 11.11%-17.73% arena, 7.08%-11.63% cal	Varias mezclas probadas en impresión 3D. Mezcla óptima: 49% arcilla, 15.31% arena, 10% cal.
Gomaa et al. (2021)	19-20% arcilla, 80-81% agregado/arena	Enfoque en tierra imprimible en 3D para construcción de baja altura.

6.2.1.2. Composición del agua en las mezclas.

La composición de agua en las mezclas fue recopilada mediante revisión bibliográfica, identificando diferentes proporciones. El resumen aparece en la Tabla 5.

Tabla 5: *Resumen de composición de agua en las mezclas*

Autor	Agua en las mezclas (%)	Comentarios
Akinkulore et al. (2006)	No especificado	Añadir fibras a mezclas con alto contenido de humedad mejora cohesión y resistencia del adobe.
Goodhew et al. (2021)	19%-40% (estructural), 62.1%-131.3% (higrotérmico)	Comparación entre contenido de agua en mezclas estructurales e higrotérmicas.
Zeghari et al. (2021)	19%-40% (estructural), 62.1%-131.3% (higrotérmico)	Destacan la necesidad de estudios adicionales sobre el efecto del agua en el rendimiento del adobe.
Alassaad et al. (2022)	Relación agua/suelo de 0.3	Determinaron un factor proporcional para la mezcla de adobe.
Alhumayani et al. (2020)	20 kg de agua (relación 1:4)	Probaron esta proporción en su investigación sobre adobe.
Weismann & Bryce (2006)	Relación agua/suelo de 1:4	Recomendaron una proporción similar en sus estudios.
Vinceslas et al. (2018)	No especificado	Aplicaron la norma NF P 94-050 para medir el contenido de agua en adobe secado a 105°C.

Autor	Agua en las mezclas (%)	Comentarios
Gomaa et al. (2021)	22%-28% (óptimo: 25%)	Determinaron el contenido de agua ideal para impresión 3D de adobe.
Alqenaee & Memari (2022)	24.19%-34.25%	Analizaron variaciones de contenido de agua en adobe impreso en 3D.
Gomaa et al. (2021) (extrusión)	No especificado	Observaron reducción del contenido de humedad en adobe impreso debido a la presurización de la mezcla.

6.2.1.3. Fibras y agregados en la mezcla de adobe.

La composición de fibras y agregados en la mezcla de adobe se recopiló a partir de revisión bibliográfica, identificando diversos tipos y cantidades. Un resumen de esta información se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6: *Resumen de fibras y agregados en la mezcla de adobe.*

Autor	Fibras y agregados en la mezcla	Comentarios
Ancheza & Fenu (2006); Aymerich et al. (2012)	Fibra de algas, lana de oveja, hierba de residuos de tabaco	Se ha investigado la influencia de distintos tipos de fibras en el desempeño estructural, higrotérmico y ambiental del adobe.
Sagma & Tipura (2020, 2021); Tchiotsop et al. (2022); Goodhew et al. (2020, 2021); Zeghari et al. (2019, 2021)	Paja de cáñamo, lino, trigo y arroz, fibra de coco, junco	Evaluaron cómo estos materiales mejoran las propiedades mecánicas y térmicas del adobe.
Alassaad et al. (2022)	2,5 % de paja de lino (relación con la masa de suelo seco)	Uso de paja de lino para mejorar las características estructurales del adobe.
Ben-Alon et al. (2018)	10,1 kg de paja de trigo en 256 kg de suelo rico en arcilla (proporción suelo/fibra de 0,039)	Evaluaron la influencia de la paja de trigo en la resistencia del adobe.
Goodhew et al. (2021)	Incremento en la cantidad de fibra en mezclas	Investigación orientada a mejorar el aislamiento térmico del adobe.

Autor	Fibras y agregados en la mezcla	Comentarios
Zeghari et al. (2021)	Ocho mezclas de adobe con paja de cáñamo, lino, trigo y junco	Diseñaron mezclas estructurales y aislantes para mejorar el desempeño térmico y mecánico del material.
Zeghari et al. (2021); Goodhew et al. (2021)	Contenido de agua en mezclas estructurales (19 %-40 %) vs. mezclas para pruebas higrotérmicas (62,1 %-131,3 %)	Compararon la cantidad de agua en función del propósito de la mezcla.
Sangma & Tipura (2020, 2021)	Fibras de coco y paja	Determinaron que la fibra de coco mejora más el rendimiento estructural que la paja.

6.2.1.4. Ensayo de resistencia a la compresión.

Los datos sobre la resistencia a la compresión se recopilaron mediante revisión bibliográfica, mostrando diferentes valores según las mezclas estudiadas. Un resumen de estos datos se presenta en Tabla 7.

Tabla 7: *Resumen de datos obtenido del ensayo de resistencia a la compresión*

Autor	Prueba de compresión realizada	Resultados
Vinceslas et al. (2018)	Compresión (UCS) en adobes fibrosos	0,50 MPa - 0,76 MPa
Miccoli et al. (2014, 2019)	Compresión según norma EN 1052-1 (CEN 1998), velocidad 0,25 mm/min	1,55 MPa - 1,63 MPa (promedio 1,59 MPa)
Saxton (1995)	Compresión en función del contenido de humedad (15%)	0,35 MPa - 1,75 MPa
Weismann & Bryce	Compresión	0,77 MPa
Sangma & Tipura (2021)	Compresión en muestras estabilizadas con cemento	1,35 MPa - 2,98 MPa
Sangma & Tipura (2020)	Compresión en mezclas con fibra de coco	1,25 MPa - 1,63 MPa
Sangma & Tipura (2020)	Compresión en mezclas con fibra de paja	1,18 MPa - 1,34 MPa
Akinkurolere et al. (2006)	Compresión	0,6 MPa - 2,2 MPa
Keefe	Compresión	0,6 MPa - 1,4 MPa
Wright	Compresión en mezclas con diferente contenido de paja	1,22 MPa - 1,53 MPa
Wright	Compresión en muestras con variación suelo-arcilla	0,77 MPa - 2,45 MPa
Houben & Guillaud (1994)	Compresión	0,10 MPa - 0,40 MPa

Autor	Prueba de compresión realizada	Resultados
Quagliarini et al. (2010)	Compresión	0,10 MPa - 0,40 MPa
Miccoli et al. (2019)	Compresión según norma DIN 18945	1,59 MPa ($\pm 0,03$ MPa)
Sangma & Tripura (2021)	Tracción en unidades estabilizadas con cemento (IS 5816)	0,13 MPa - 0,31 MPa
Sangma & Tripura (2021)	Tracción en mezclas con fibra de coco	0,48 MPa - 0,75 MPa
Sangma & Tripura (2021)	Tracción en mezclas con fibra de paja	0,29 MPa - 0,35 MPa
Gomaa et al. (2021)	Compresión en adobes impresos en 3D	0,83 MPa - 0,89 MPa

6.2.1.5. Ensayo de resistencia a la tracción

Los resultados del ensayo de resistencia a la tracción se recopilaron a partir de revisión bibliográfica, mostrando diversos valores según los materiales y técnicas usadas. Un resumen de esta información se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8: Resumen de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la tracción

Autor	Prueba de resistencia a la tracción	Resultados
Alqenaee & Memari (2022)	Tracción indirecta en muestras impresas en 3D (ASTM-C496/C496 M)	0,083 MPa - 0,145 MPa
Alqenaee & Memari (2022)	Tracción indirecta en muestras fundidas/trabajadas en sitio	0,014 MPa - 0,090 MPa

6.2.1.6. Módulo elástico

Los valores del módulo elástico se recopilaron mediante revisión bibliográfica, mostrando variaciones según los tipos de mezcla y materiales empleados. Un resumen se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9: Resumen de los resultados obtenidos en el módulo elástico

Autor	Prueba de modulo elástico realizada	Resultados
Ziegert	Módulo elástico	170 MPa - 335 MPa

Autor	Prueba de modulo elástico realizada	Resultados
Coventry	Módulo elástico con CoV del 3% al 10%	0,48 MPa - 1,24 MPa
Quagliarini et al. (2010)	Módulo elástico	4,0 MPa - 40 MPa
Pullen & Scholz (2011)	Módulo elástico	11 MPa - 69 MPa
Minke (2021)	Módulo elástico	60 MPa - 850 MPa
Miccoli et al. (2019)	Módulo elástico con CoV del 68%	651 MPa
Rizza & Bottger (2015)	Módulo elástico	71 MPa
Quagliarini & Maracchini (2018)	Módulo elástico	16,9 MPa (CoV del 4%)
Vinceslas et al.	Módulo elástico	110 MPa - 350 MPa
Gomaa et al. (2021)	Módulo elástico en especímenes impresos en 3D (CoV del 10%)	22,9 MPa (máximo de 25,3 MPa)

6.2.1.7. Coeficiente de Poisson

Los valores del coeficiente de Poisson se recopilaron mediante revisión bibliográfica, presentando diferentes resultados según las características de las mezclas. Un resumen se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Resumen de los datos obtenidos del coeficiente de Poisson

Autor	Método de obtención de datos	Resultados	Comentarios
Miccoli et al. (2014)	Análisis de grabación de vídeo con sistema fotogramétrico	$0,15 \pm 0,04$	La medición se realizó con técnicas avanzadas de análisis de imagen.
Miccoli et al. (2012)	Ensayos en cuatro muestras	0,09 - 0,23	Muestra variabilidad según las condiciones del material.
Quagliarini & Maracchini (2012)	Ensayos experimentales	0,12	Se requiere confirmar si la fuente correcta es Miccoli et al. (2012).
Gomaa et al. (2021)	Ensayos experimentales	0,16 - 0,28 (media: 0,22)	Valores más elevados que en otros estudios, posiblemente por diferencias en la composición del adobe.

6.2.1.8. Ensayos de resistencia al corte

Los datos sobre la resistencia al corte se recopilaron mediante revisión bibliográfica, mostrando variaciones según los materiales y técnicas empleadas. Un resumen se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11: Resumen de los datos obtenidos del ensayo de resistencia al corte

Autor	Parámetro medido	Resultado	Desviación estándar	Comentarios
Miccoli et al. (2019)	Resistencia al corte	0,50 MPa	$\pm 0,10$ MPa	Valor medio dentro del rango esperado para materiales de tierra.
Miccoli et al. (2019)	Módulo de corte G1/3	420 MPa	± 137 MPa	Muestra alta variabilidad en las muestras.
Miccoli et al. (2019)	Deformación por corte γ 1/3	0,041 %	$\pm 0,006$ %	Deformación relativamente baja, indicando cierto grado de rigidez.
Alqenaee & Memari (2022)	Resistencia al corte en muestras cilíndricas (ASTM-C496/C496 M)	0,083 - 0,145 MPa (3D) / 0,014 - 0,090 MPa (fundidas)	-	La insuficiencia del tiempo de secado afectó las muestras fundidas.

6.2.1.9. Ensayos de resistencia a la flexión

Los datos sobre la resistencia a la flexión se recopilaron a partir de revisión bibliográfica, presentando diferentes valores según las mezclas y métodos utilizados. Un resumen aparece en la Tabla 12.

Tabla 12: Resumen de los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión

Autor	Método de ruptura utilizado	Edad de la muestra	Resultados	Comentarios
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga curva impresa en 3D (ASTM-C293/C293 M)	21 días	0,359 MPa	La resistencia aumenta con el tiempo de curado.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga curva impresa en 3D	28 días	0,407 MPa	Indica mejora de propiedades mecánicas con el tiempo.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga recta impresa en 3D	7 días	0,124 MPa	Resistencia inicial baja.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga recta impresa en 3D	14 días	0,552 MPa	Aumento significativo en resistencia.

Autor	Método de ruptura utilizado	Edad de la muestra	Resultados	Comentarios
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga recta impresa en 3D	21 días	0,786 MPa	Continúa la mejora estructural.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga recta impresa en 3D	28 días	0,903 MPa	Alcanzando su resistencia máxima.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga fundida	7 días	0,014 MPa	Mucho menor que las muestras 3D.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga fundida	14 días	0,041 MPa	Baja resistencia debido a curado insuficiente.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga fundida	21 días	0,159 MPa	Mejora con el tiempo, pero sigue siendo inferior a la impresión 3D.
Alqenaee & Memari (2022)	Módulo de ruptura en viga fundida	28 días	0,269 MPa	Sigue con resistencia menor que las vigas impresas.

6.2.2. Bahareque

6.2.2.1. Propiedades Mecánicas del Bahareque

a) Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión del bahareque ha sido ampliamente estudiada, encontrándose una notable variabilidad en los resultados según los materiales y técnicas utilizadas. López & Pérez (2018) analizaron muestras de bahareque estabilizado con aditivos naturales, reportando valores de resistencia que oscilaron entre 1.0 MPa y 1.5 MPa. En contraste, en muestras sin estabilizantes, los valores disminuyeron a un rango de 0.7 MPa a 0.9 MPa.

Por su parte, García et al (2019) evaluaron muestras de bahareque reforzado con fibras naturales como fique y cabuya, obteniendo resistencias promedio de 1.2 MPa, lo que representó una mejora del 30 % en comparación con muestras sin refuerzo. De igual manera, Pérez et al. (2020) realizaron ensayos con diferentes proporciones de tierra y arena, encontrando que una relación 60-40 ofrecía la mejor resistencia, con valores de 1.4 MPa.

En otra investigación, Ramírez & Torres (2021) determinaron que el curado adecuado y la compactación del material influyen directamente en su resistencia mecánica, logrando incrementos de hasta un 40 % en comparación con materiales sin tratamiento. Además, Martínez et al (2022) evaluaron diferentes tipos de entramados en el bahareque, concluyendo que aquellos reforzados con caña o madera presentaban resistencias significativamente mayores, con valores cercanos a 1.6 MPa.

b) Resistencia a la Flexión

La resistencia a la flexión del bahareque ha sido ampliamente estudiada con el objetivo de mejorar su comportamiento estructural. Torres & Ramírez (2020) analizaron la influencia de diversos tipos de refuerzos en la resistencia a la flexión, encontrando que los muros con entramado de madera alcanzaron valores de 0.6 MPa, mientras que aquellos sin refuerzo apenas lograron 0.3 MPa.

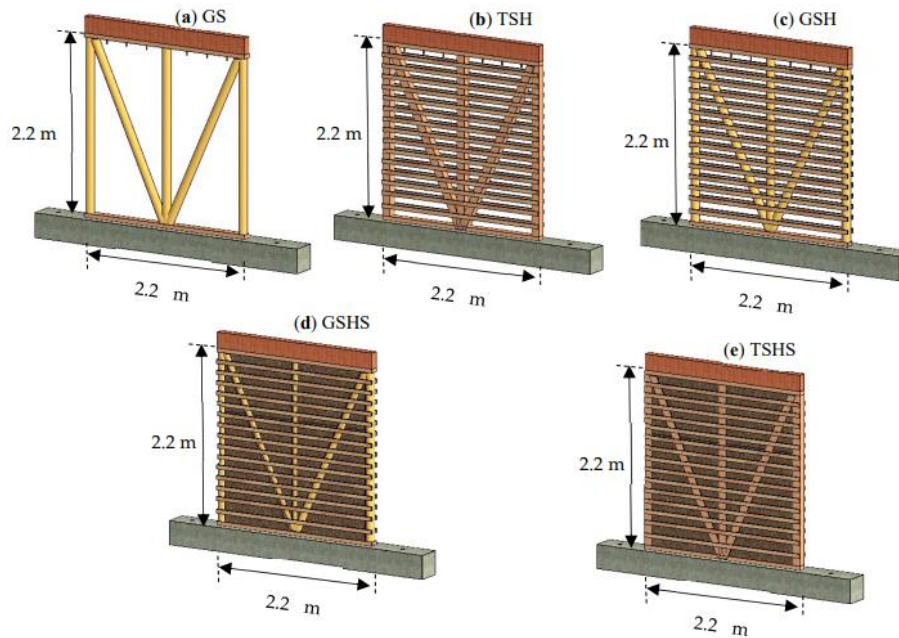
Por su parte, López et al. (2021) realizaron ensayos a escala real en viviendas de bahareque, demostrando que la aplicación de una mezcla de barro con aditivos como la cal aumentó la resistencia a la flexión en un 25 %. Pérez et al. (2020) investigaron el efecto de la humedad en la resistencia a la flexión, evidenciando una reducción del 15 % en materiales expuestos a condiciones de alta humedad.

Adicionalmente, Ramírez & Torres (2021) concluyeron que la combinación de fibras naturales con refuerzos horizontales en los muros de bahareque incrementó la resistencia a la flexión hasta en un 40 % en comparación con muestras sin refuerzo. Finalmente, Martínez et al (2019) realizaron pruebas de carga cíclica en muros de bahareque, demostrando que los sistemas reforzados con caña mantenían una mejor integridad estructural bajo condiciones de carga lateral repetitiva.

c) Ensayos en muro de bahareque

Cristancho et al. (2024) ensayaron muros en bahareque, evaluando desplazamiento máximo, desplazamiento de fluencia, resistencia y fuerza de fluencia. Los prototipos (

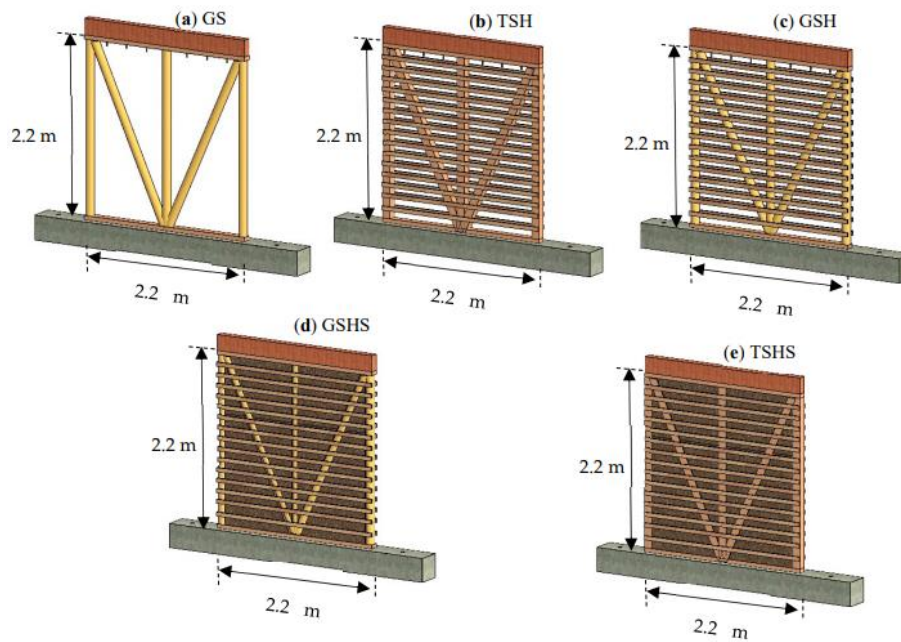
Ilustración 11: *Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)*



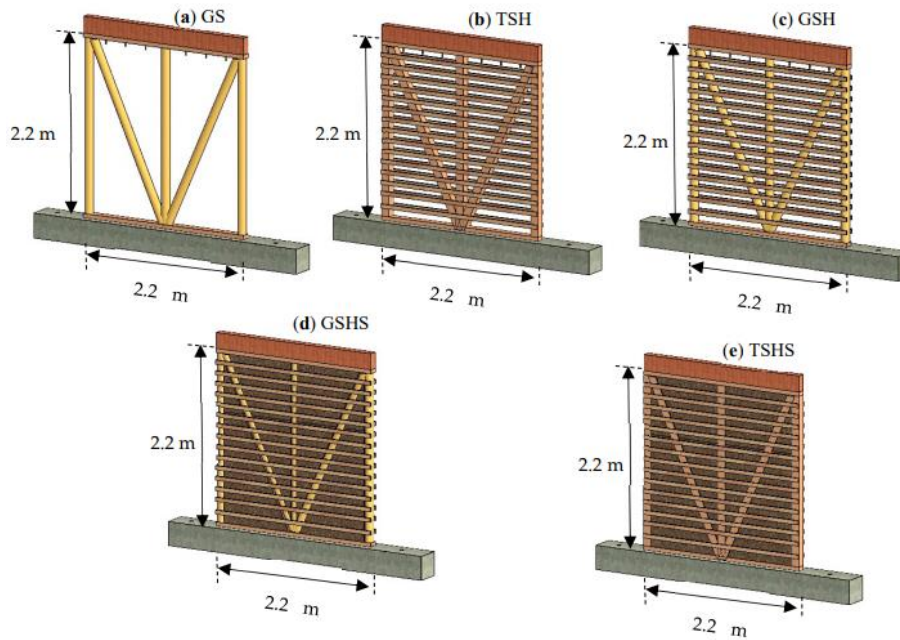
) medían 2.2 m de alto y ancho, con dos paneles de 1.1 m y vigas soleras de madera (10×5 cm). Aunque fue una prueba preliminar en Jamundí, Valle del Cauca, sus resultados aportan al análisis estructural en contextos similares.

Descripciones detalladas de cada prototipo realizada por Cristancho, et al (2024):

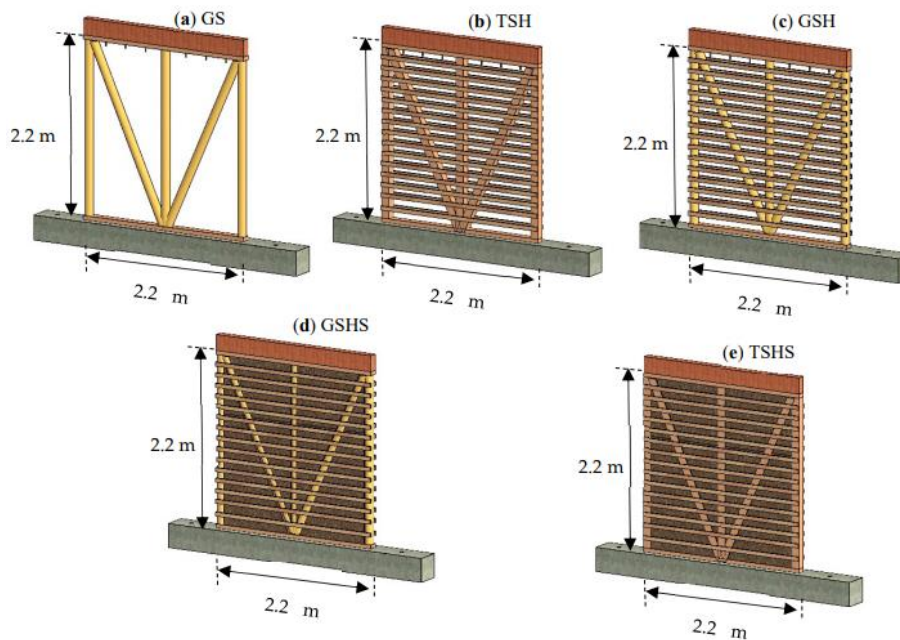
- **GS:** Prototipo compuesto por dos paneles de guadua (10 cm de diámetro), unidos con tres elementos verticales, dos arriostres diagonales y vigas soleras de madera aserrada. No se incluyeron tiras de guadua ni relleno de tierra (
- Ilustración 11: *Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)*



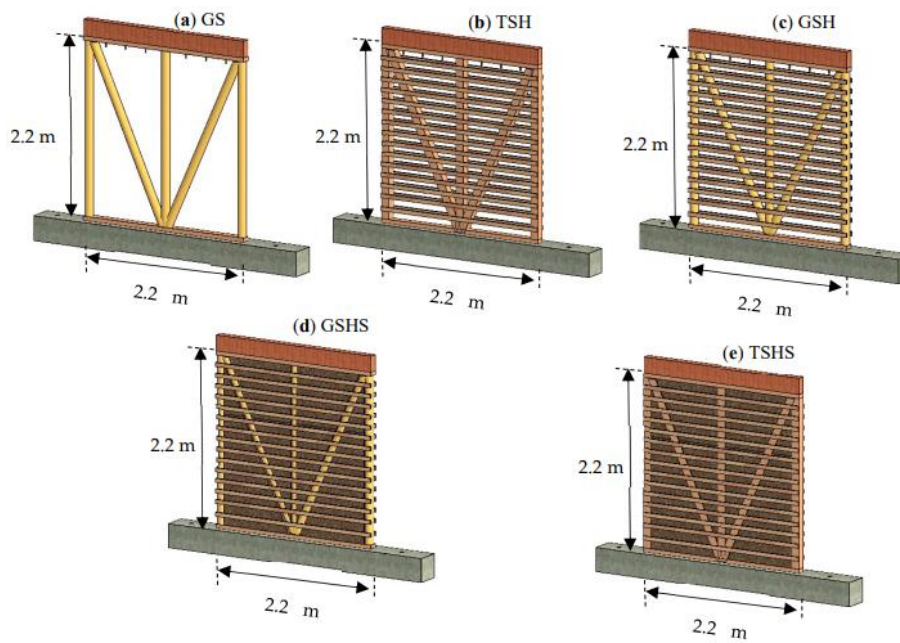
- a).
- **TSH:** Contaba con elementos verticales de madera aserrada (10×10 cm) y tiras horizontales de guadua espaciadas entre 9 y 10 cm, con un ancho de 4–5 cm y grosor de 1–2 cm (
- Ilustración 11: *Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)*



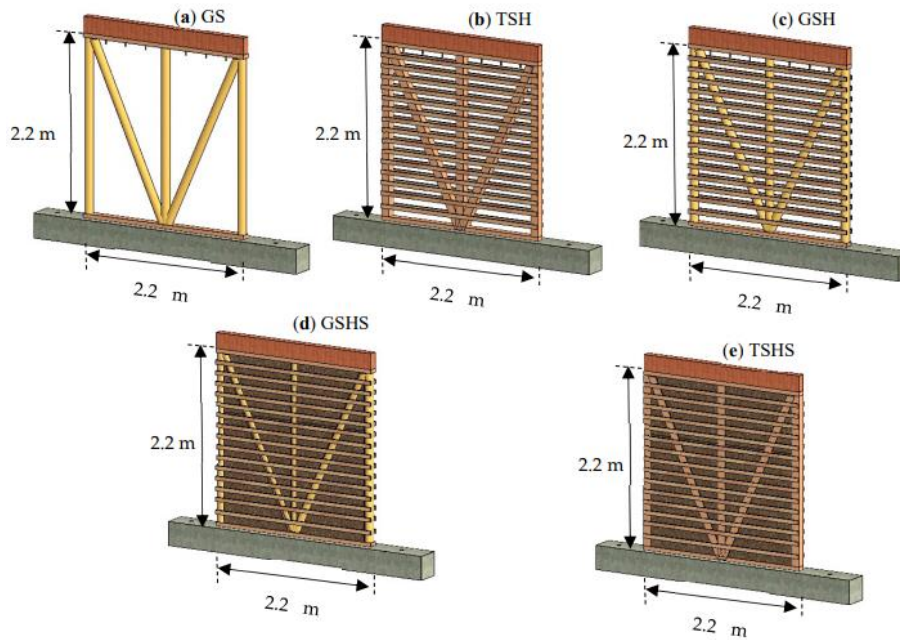
- b).
- **GSH:** Incluía tres elementos verticales y dos diagonales de guadua (≈ 10 cm de diámetro), con tiras horizontales instaladas como en el prototipo TSH. (
- Ilustración 11: *Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)*



- c).
- **GSHS:** Contaba con tres elementos verticales y dos diagonales de guadua, además de tiras horizontales espaciadas entre 9 y 10 cm (4–5 cm de ancho y 1–2 cm de grosor), con relleno de tierra y fibras naturales, según lo descrito en la metodología (
- Ilustración 11: *Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)*

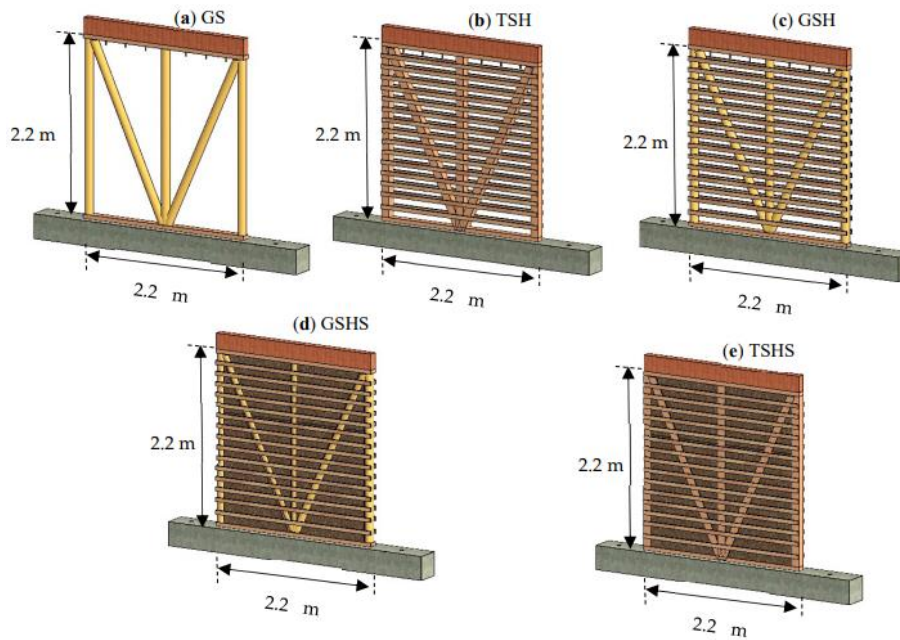


- d).
- **TSHS:** Formado por elementos verticales y dos diagonales de madera aserrada (10×10 cm). Como en los prototipos TSH, GSH y GSHS, incluía tiras de guadua y relleno de tierra con fibras (
- Ilustración 11: *Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)*



- e).

Ilustración 11: Prototipos realizados por Cristancho, et al (2024)



La Tabla 13 resume los resultados de cada muro de bahareque ensayado, considerando las siguientes variables: desplazamiento máximo y mínimo alcanzado (Max. Displ. +/- Min. Displ.

–), desplazamiento de fluencia (Yield Displ. +/-), resistencia máxima (strength +/-) y fuerza de fluencia (Yield Force +/-) (Cristancho et al., 2024).

Tabla 13: Resistencia, fuerza de fluencia, capacidad de desplazamiento y desplazamiento de fluencia de los muros de bahareque ensayados.

Bahareque Wall	Strength + (kN)	Strength – (kN)	Yield Force + (kN)	Yield Force – (kN)	Max. Displ. + (mm)	Min. Displ. + (mm)	Yield Displ. + (mm)	Yield Displ. – (mm)
GS	3.4	–5.1	2.1	–3.0	85.0	–83.4	7.5	–10.5
TSH	7.7	–8.1	4.9	–5.4	126.0	–126.0	14.9	–15.4
GSH	6.8	–6.0	4.0	–4.7	125.6	–126.1	19.5	–15.5
GSHS	6.4	–8.4	4.3	–5.8	103.0	–104.7	20.2	–20.7
TSHS	6.7	–8.3	4.1	–5.3	165.1	–166.1	20.0	–15.4

Los resultados generales se resumen a continuación.

- El muro GS presenta la menor capacidad de carga y desplazamiento, con fuerzas de 3.4 a 5.1 kN y un desplazamiento de 85 mm.
- Los muros TSH y GSH (esqueleto de madera y esqueleto de guadua con tiras horizontales) demuestran un rendimiento intermedio, logrando fuerzas de 8.1 kN y 6.8 kN, respectivamente, y capacidades de desplazamiento de 126 mm.
- En contraste, los muros GSHS y TSHS (aquellos con relleno de mezcla de tierra) exhiben las mayores capacidades, alcanzando fuerzas máximas de alrededor de 8.4 kN y capacidades de desplazamiento de hasta 166 mm.

d) Comportamiento ante cargas laterales

El bahareque ha sido objeto de múltiples estudios para evaluar su comportamiento ante cargas laterales, especialmente en zonas sísmicas. González et al. (2017) realizaron simulaciones de carga cíclica en muros de bahareque con y sin refuerzo, encontrando que los muros reforzados con anclajes en las uniones lograron reducir su deformación en un 30 %.

Asimismo, López & Pérez (2018) llevaron a cabo ensayos en una mesa vibratoria con diversas configuraciones de refuerzo, concluyendo que el uso de diagonales de madera dentro del entramado mejoró la estabilidad estructural en un 50 %. Por otro lado, Rojas & Herrera (2021)

analizaron viviendas de bahareque afectadas por sismos recientes, determinando que aquellas con refuerzo de malla geotextil presentaron menor agrietamiento y mejor integridad estructural.

Además, Pérez et al. (2020) simularon movimientos sísmicos mediante software de elementos finitos, hallando que los muros con entramados densos y morteros de cal mostraron un mejor desempeño frente a cargas laterales. Finalmente, (Ramírez & Torres (2021) emplearon sensores en estructuras de bahareque para medir desplazamientos bajo cargas laterales, encontrando que aquellos muros con refuerzos horizontales de madera y técnicas de compactación avanzadas lograron reducir las deformaciones en un 45 %.

6.2.2.2. Propiedades físicas del bahareque

a) Densidad y porosidad

La densidad y porosidad del bahareque presentan una considerable variabilidad en función de la composición del material y los métodos de compactación empleados. Pérez et al. (2020) determinaron que la densidad del bahareque varía entre 1100 y 1300 kg/m³, con una porosidad promedio del 30 %.

En un estudio realizado por Rojas & Herrera (2021) se evidenció que la incorporación de fibras naturales, como el bagazo de caña, en la mezcla de arcilla reduce la porosidad y aumenta la densidad en un 10 %. Por su parte, Martínez et al. (2022) evaluaron diferentes proporciones de agregados y concluyeron que la adición de arena en un 20 % mejora la densidad estructural sin comprometer el comportamiento mecánico del material.

Así mismo, se llevaron a cabo los análisis microscópicos del bahareque, identificando una relación inversa entre la porosidad y la resistencia a la compresión, lo que evidencia que mayores densidades suelen mejorar la durabilidad estructural. Finalmente, Torres et al. (2023) investigaron el impacto de la compactación mecánica en la densidad del bahareque, concluyendo que el uso de vibradores manuales favorece la distribución uniforme del material y reduce la presencia de vacíos internos.

b) Desempeño sísmico

El estudio realizado por Cristancho et al. (2024) proporciona una evaluación integral del desempeño sísmico de muros de bahareque contruidos con guadua y marcos de madera. Según sus hallazgos, el prototipo TSHS, que combina un esqueleto de madera con tiras horizontales de guadua y un relleno de mezcla de tierra, presenta una capacidad de desplazamiento significativamente superior, alcanzando valores máximos de hasta 166 mm, en comparación con los 83 mm registrados en modelos sin estos refuerzos.

El análisis de los bucles de histéresis reveló que los sistemas que incorporan guadua y relleno presentan bucles mucho más anchos, lo cual indica una mayor disipación de energía durante la carga cíclica y, en consecuencia, una respuesta sísmica mejorada. Además, se observó que la resistencia del sistema de bahareque con esqueleto de madera supera en promedio en un 23 % a la obtenida en sistemas basados exclusivamente en guadua. Asimismo, la incorporación de relleno de tierra junto con tiras de guadua permite alcanzar resistencias máximas al corte de hasta 8,4 kN.

c) Resistencia a la humedad y capilaridad

La absorción de humedad es una de las principales limitaciones del bahareque como material de construcción. Pérez et al. (2020) realizaron pruebas de absorción capilar en muros de bahareque con diferentes tipos de recubrimiento, encontrando que el uso de revoques de cal redujo la absorción en un 40%. López y Pérez (2018) evaluaron la degradación del material en condiciones de alta humedad, concluyendo que el uso de estabilizantes naturales como el cactus y la linaza prolongaban la vida útil del bahareque en climas húmedos. Martínez et al (2019) realizaron ensayos de capilaridad, encontrando que la tasa de absorción disminuía significativamente con el uso de impermeabilizantes naturales.

d) La cal en el bahareque

La incorporación de cal en la mezcla de bahareque ha sido ampliamente estudiada debido a sus beneficios en la mejora de la resistencia mecánica, la durabilidad y el comportamiento frente a la humedad. López et al. (2021) realizaron pruebas utilizando diferentes proporciones de cal en la mezcla de barro, encontrando que una proporción del 10 % aumentaba la resistencia a la compresión en un 35 %.

Por su parte, López y Pérez (2018) evaluaron el impacto de la cal en la resistencia a la flexión, determinando que el refuerzo con cal incrementaba la resistencia en un 20 % y mejoraba la cohesión del material. Rojas et al. (2021) realizaron pruebas de durabilidad con ciclos de humedecimiento y secado, concluyendo que los muros estabilizados con cal presentaban una menor erosión y mayor resistencia al deterioro.

Además, Martínez et al (2019) investigaron el uso de cal en combinación con fibras naturales, observando que la presencia de ambos materiales mejoraba la ductilidad del sistema y aumentaba su resistencia sísmica. Finalmente, Herrera et al. (2022) compararon el comportamiento de muros de bahareque con y sin cal en pruebas sísmicas, evidenciando que aquellos que contenían cal mostraban una mejor absorción de energía y menor agrietamiento estructural.

e) Beneficios y sostenibilidad del bahareque

El bahareque se consolida como una alternativa constructiva sostenible que reduce significativamente las emisiones contaminantes. Según García & Rodríguez (2018), una vivienda de 100 m² construida con esta técnica evita la emisión de hasta 5 toneladas de CO₂ frente a métodos convencionales, gracias al uso de materiales locales de bajo impacto energético.

Investigaciones del IRCE (2020) indican que estas edificaciones generan un ahorro energético del 30 % en calefacción y refrigeración, debido a su alto aislamiento térmico. Esta

eficiencia posiciona al bahareque como una opción viable ante los retos de la construcción sostenible.

Desde lo socioeconómico, la Universidad de Costa Rica (2021) reporta que cada proyecto de bahareque genera unos 15 empleos directos y 30 indirectos, fortaleciendo las economías rurales. Además, la UNAM (2018) destaca que estas construcciones pueden durar entre 50 y 100 años, superando incluso a edificaciones de concreto y acero.

El PNUMA (2020) señala que el bahareque puede reducir hasta un 60 % los residuos de construcción, debido a su simplicidad técnica y uso de materiales reutilizables, favoreciendo una gestión ambiental responsable.

Históricamente, el bahareque ha sido utilizado en América Latina para viviendas, iglesias y edificios históricos. Su adaptabilidad, eficiencia térmica y acústica lo hacen ideal para climas extremos y distintas escalas constructivas (Aponte, 2024)

Desde la dimensión cultural, el bahareque representa un patrimonio arquitectónico. Flores (2005) y Pérez (2010) destacan su durabilidad, adaptación al entorno y vínculo con la identidad comunitaria. Olivares (2017) resalta su riqueza estilística presente en diversas regiones del mundo.

No obstante, su uso ha disminuido por la preferencia de métodos modernos. Es clave fomentar su conservación mediante políticas públicas que impulsen la capacitación, investigación y difusión, integrando esta técnica en la arquitectura contemporánea (López, 2019; González, 2020). (López, (2019); González, (2020)).

6.3. Cal

La cal es un material fundamental en la construcción, especialmente en revestimientos y mezclas con tierra, gracias a sus propiedades ligantes, transpirables y resistentes al agua. Se utiliza en forma de lechadas como pintura natural y desinfectante, y en morteros mezclada con

arena, puzolana o tejoletas, lo que mejora su cohesión, durabilidad y comportamiento en ambientes húmedos (Calero Cordeiro, 2007).

Según su composición, la cal puede ser aérea (fragua con aire) o hidráulica (fragua en contacto con agua), siendo esta última ideal para obras expuestas a humedad. Para evitar fisuras por retracción, se recomiendan mezclas con agregados adecuados, como las usadas en la antigüedad y validadas en pruebas de fraguado (Calero Cordeiro, 2007).

Según en el documento de Calero Cordeiro (2007), las proporciones recomendadas para la fabricación de morteros romanos eran las mostradas en la Tabla 14:

Tabla 14: *Proporciones recomendadas de los morteros de cal.*

Proporción	Materiales	Uso principal
1:3	1 parte de cal + 3 partes de arena de cantera	Morteros básicos para construcción
1:2	1 parte de cal + 2 partes de arena de río	Morteros de mejor cohesión
1:2:1	1 parte de cal + 2 partes de arena de río + 1 parte de tejoletas	Mayor resistencia y durabilidad
1:2:1	1 parte de cal + 2 partes de puzolana + 1 parte de tejoletas	Morteros resistentes al agua (obras marítimas)

La cantidad de agua variaba entre 15 y 20%, ajustándose según el clima y el uso específico del mortero.

6.4. Aceite de linaza en madera y pisos

El aceite de linaza es un preservante natural eficaz para la protección de madera y pisos, destacándose por formar una película que mejora la resistencia a la compresión y reduce la absorción de humedad (Sevillanos Blanco & Davila Miguel, 2023).

En pisos, especialmente de tierra, su uso como barniz es común en países como Estados Unidos, donde proporciona una capa impermeable, brillante y duradera, capaz de extender la vida útil del suelo hasta 30 años con mantenimiento periódico cada 3 a 5 años (EarthEnable, 2018).

6.5. Efectos de los sismos en una vivienda

Para que una vivienda resista un sismo, debe construirse con materiales de calidad, técnicas adecuadas y un diseño estructural apropiado. Las formas irregulares en tamaño y altura generan puntos débiles que aumentan la vulnerabilidad estructural. La falta de uniformidad en los muros también compromete la estabilidad, ya que provoca un comportamiento deficiente durante un temblor (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002)

Las paredes largas sin muros intermedios y con uniones débiles son propensas al colapso. Igualmente, los muros altos y delgados reducen la resistencia sísmica por su excesiva flexibilidad (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002). Otros factores que incrementan el riesgo son: formas en planta irregulares (como "T" o "C"), vigas sueltas, falta de sobrecimientos, techos pesados, terrenos inclinados y grandes espacios sin divisiones internas (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002)

Una vivienda sismorresistente debe partir de una forma cúbica, que favorece la estabilidad estructural. A partir de esta se implementan las técnicas necesarias para garantizar un buen desempeño ante un sismo (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002):

6.6. Selección del terreno para construir

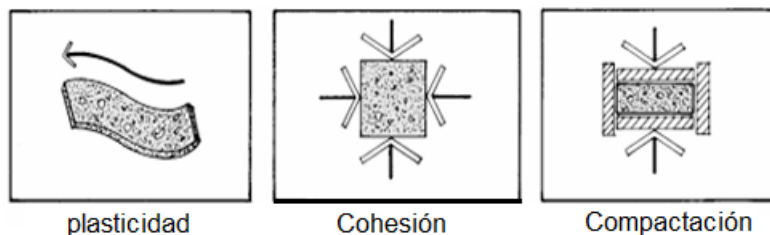
La elección del terreno es clave para la estabilidad y seguridad de una vivienda. Se deben preferir zonas planas, secas y con suelo firme, evitando pantanos, barrancos, áreas cercanas a ríos, zonas mineras o rellenos sanitarios. Construir en suelos blandos o inestables aumenta el riesgo de fallas estructurales, especialmente ante sismos. Los barrancos, formados por materiales deleznales, no son aptos para edificar. Además, la presencia de agua en suelos blandos puede causar licuefacción durante un terremoto, provocando hundimientos y colapsos (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

El análisis del terreno también implica conocer el origen y características del suelo. La tierra usada en construcción proviene de la erosión mecánica y química de la roca madre, que la fragmenta en partículas de distintos tamaños, desde guijarros hasta arcillas finas. Estas se mezclan por acción del viento y el agua, dando lugar a suelos con propiedades variables. Su aptitud para la construcción depende de estas propiedades, por lo que es fundamental evaluarlas mediante pruebas sencillas que identifiquen su composición y comportamiento (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.6.1. Propiedades de la tierra

La tierra presenta diversas propiedades como la plasticidad (capacidad de deformarse sin romperse), cohesión (capacidad de mantenerse unida) y compactación (capacidad de reducir su volumen al ser comprimida) (Ilustración 12). Según la proporción de sus componentes, la tierra se clasifica en gravosa, arenosa, limosa y arcillosa (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

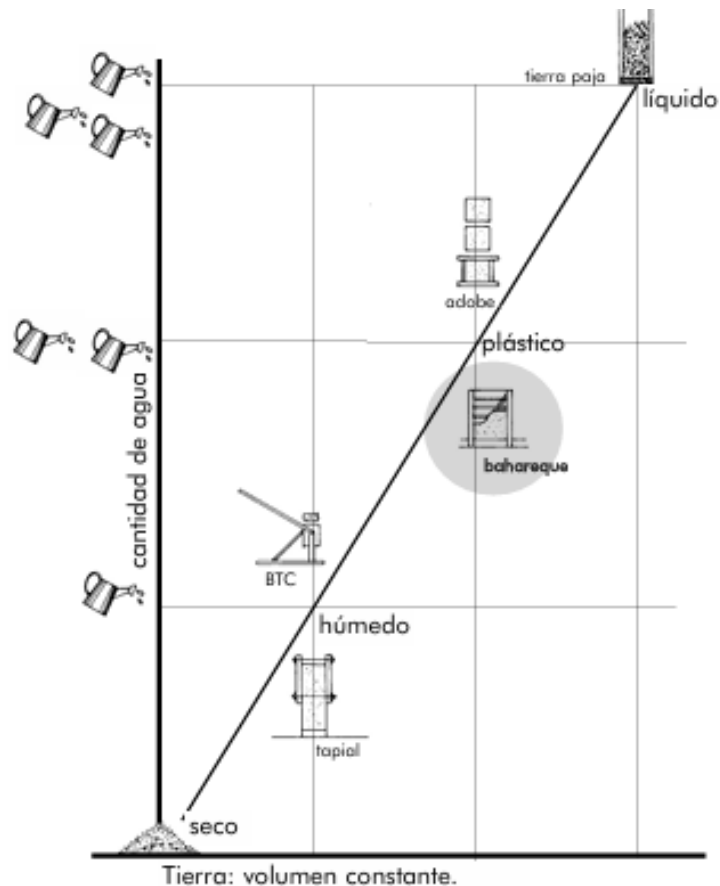
Ilustración 12: *Plasticidad, Cohesión, Compactación*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

6.6.2. Estados hídricos, cohesión y estabilización

Ilustración 13: *Estados hídricos, cohesión y estabilización.*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

La cantidad de agua absorbida por la tierra (entre 20% y 30%) determina su estado hídrico: seco, húmedo, plástico o líquido (Ilustración 13). En estado plástico, la tierra permite una mejor aplicación y adherencia en técnicas como el bahareque. La cohesión, propiedad clave en el mortero de arcilla, actúa en dos fases: primero, la arcilla se hidrata y se hincha; luego, al secarse, se contrae y une los componentes, generando resistencia. Si hay buena interpenetración de los granos, la tierra puede alcanzar resistencias de hasta 3 MPa. En suelos con alto contenido de arcilla, puede haber fisuración al secarse. Para evitarlo, se recomienda estabilizar el material agregando arena (para reducir cohesión) y paja (para controlar el tamaño de las fisuras) (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.6.3. Análisis de la tierra objetivo

Para verificar si la tierra es adecuada en construcción, se aplican pruebas sencillas que evalúan su textura, plasticidad y cohesión. Mediante la manipulación y el olor se identifican sus componentes: la tierra orgánica tiene olor fuerte; la arenosa es rugosa y seca; la limosa, fina y débil al mojarse; y la arcillosa, pegajosa y resistente al agua. La mezcla ideal debe equilibrar arena y arcilla (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

La prueba del cigarro consiste en moldear un cilindro de tierra hidratada y medir el tramo que se desprende al empujarlo. Una longitud entre 10 y 15 cm indica buena plasticidad. En la prueba de la pastilla se moldean discos con tierra en estado plástico y se dejan secar. Se evalúan la contracción y la resistencia. Una tierra adecuada contrae menos de 1 mm y no se deshace fácilmente. (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7. Características de la vivienda autóctona en bahareque

En cuanto a las estructuras patrimoniales, es fundamental considerar las normativas específicas para su intervención y preservación. El documento AIS-610-EP-2017, incorporado al NSR-10, establece los lineamientos para la evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos construidas en bahareque, adobe y tapia pisada. Este documento es esencial para garantizar que las intervenciones en edificaciones patrimoniales se realicen respetando su valor histórico y asegurando su estabilidad estructural.

En Colombia, el bahareque encementado ha sido reconocido por su resistencia sísmica y eficiencia en la construcción de viviendas de uno y dos pisos. El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece en su Título E los requisitos para la construcción sismo resistente de este tipo de edificaciones, proporcionando lineamientos específicos para garantizar la seguridad estructural.

Además, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) ha desarrollado manuales detallados que complementan estas normativas, ofreciendo guías prácticas para la correcta implementación del bahareque encementado en el país.

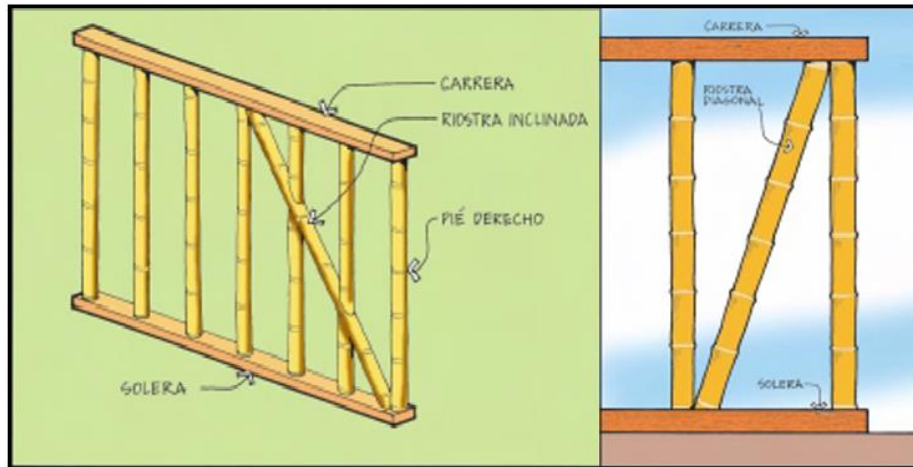
6.7.1. Madera en los muros

La madera, como recurso renovable presente en los bosques tropicales, ofrece una solución viable y sostenible para la construcción de viviendas, gracias a su resistencia, flexibilidad y accesibilidad, siempre que su uso sea responsable (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

En los sistemas de bahareque, se emplean maderas nativas como nogal cafetero, abarco, chanul, comino, zapán, yarumo blanco, guayacán, arrayán, cedro, roble y arboloco, utilizadas en marcos estructurales, pisos y entrepisos (Pineda Uribe, 2017). En estructuras prefabricadas, se recomienda usar madera de pino ($1\frac{1}{2}$ " x 3" x 10') para armar bastidores rectangulares, reforzados internamente con molduras y un entramado de carrizo de 1.5 a 2 cm de grosor por 2.5 m de largo. Para proteger la madera, se aplica aceite quemado o virgen, y se deja secar al menos dos días en un ambiente ventilado, sin exposición directa al sol (Rodríguez Ruiz, Castañeda Hernández, Cruz López, & Neria Hernández, 2020)

Los muros de bahareque encementado pueden incluir estructuras de guadua o combinaciones con madera. Estas se componen de soleras horizontales (la superior también llamada carrera) y pie-derechos verticales, como se muestra en la Ilustración 14. Las guaduas deben tener un diámetro mínimo de 80 mm, y la separación entre pie-derechos debe ser de 300 a 600 mm entre ejes. Las soleras deben ser de madera aserrada, con ancho igual al de la guadua usada y una altura no menor a 100 mm, lo que mejora la rigidez y reduce el riesgo de aplastamiento (Casanova Echavez, 2011).

Ilustración 14: *Esquema de muros estructurales arriostrados*



Fuente: Adoptado de *Construcción sismo resistente de viviendas de uno y dos pisos de bahareque encementado* (p.38), AIS,2000.

En zonas sísmicas como Ecuador, la madera es una alternativa eficiente. Se utiliza madera de pino radiata de bosques cultivados, con tablonés de 10 x 240 cm, unidos con pasadores de madera mediante técnicas tradicionales como caja y espiga, eliminando la necesidad de clavos o tornillos, lo que facilita la autoconstrucción (Ilustración 15). (Astudillo Cordero & Vacacela Albuja, 2015).

Ilustración 15: Estructura y detalle de unión con pasadores

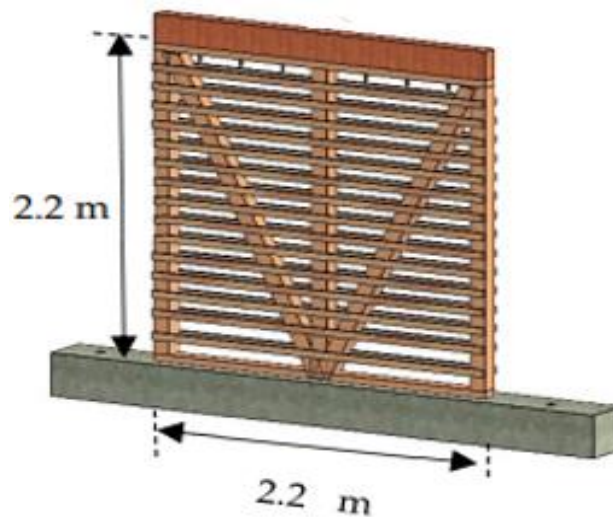


Fuente: Adoptado de *Propuesta de paneles estructurales modulares de bahareque prefabricado de madera* (p.60), Astudillo & Vacacela, 2015

Estudios recientes usaron prototipos de muros de 2.2 m de altura y base, compuestos por paneles de 1.1 m, con soleras inferiores en madera de 10 x 5 cm. Se incorporaron listones horizontales de guadua (4 a 5 cm de ancho), fijados a ambos lados de la estructura con una separación de 9 a 10 cm, permitiendo el relleno manual con tierra (.

Ilustración 16) (Cristancho, et al., 2024).

Ilustración 16: *Esqueleto de madera con franjas horizontales de guadua (TSH)*



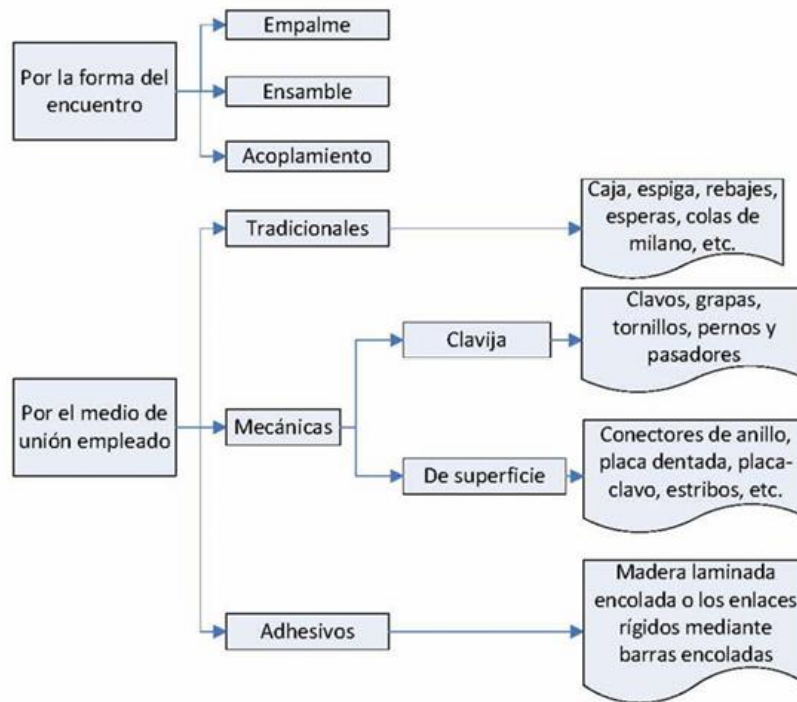
Fuente: Adoptado de *Seismic Behavior of Bahareque Walls Under In-Plane Horizontal Loads* (p.12), Cristancho et al. (2024)

6.7.2. Uniones en madera

6.7.2.1. Tipos de uniones en estructuras de madera.

Las uniones en estructuras de madera pueden clasificarse de dos maneras principales: por el medio de unión empleado, es decir, cómo se unen las piezas de madera; y por la forma de encuentro, que hace referencia a cómo se conectan dichas piezas, en la Ilustración 17 se indica con un esquema la clasificación y tipos de uniones que se pueden trabajar en la madera.

Ilustración 17: *Esquema de distintos tipos de uniones*



Fuente: Adoptado de *Estudio de uniones en estructuras de madera con uso de elementos clavija* (p.36), Domínguez Lorenzo, 2015

a) Según el medio de unión empleado

• Uniones carpinteras o tradicionales:

Este tipo de unión se basa en técnicas propias de la carpintería tradicional que no requieren elementos metálicos, sino que emplean cortes y ensamblajes precisos para lograr una conexión resistente. Las uniones carpinteras destacan por su resistencia mecánica, precisión en el montaje y valor estético. Son ampliamente utilizadas en construcciones tradicionales y muebles debido a su durabilidad y atractivo visual, aunque requieren mayor tiempo de ejecución y un alto nivel de habilidad (Domínguez Lorenzo, 2015) (Arriaga martitegui, Iñiguez gonzález , Herrero, argüelles álvarez, & Fernández Cabo, 2011) (Peraza Sánchez, 1995).

Entre los ejemplos más comunes se encuentran la caja y espiga, donde una prolongación rectangular (espiga) se inserta en un orificio (caja), generando una unión resistente a compresión, ideal para conectar vigas y columnas. La cola de milano, con espigas en forma trapezoidal, es eficaz ante esfuerzos de tracción y se utiliza frecuentemente en muebles por su firmeza y

estética. La media madera, en la cual se rebaja cada pieza a la mitad de su grosor para superponerlas, es adecuada para unir marcos o vigas con esfuerzos ligeros. Por su parte, el pico de flauta, aunque ofrece un acabado visual atractivo, requiere refuerzos adicionales (clavos o abrazaderas) para evitar deslizamientos (Domínguez Lorenzo, 2015) (Arriaga martitegui, Iñíguez gonzález , Herrero, argüelles álvarez, & Fernández Cabo, 2011).

- **Uniones mecánicas:**

Las uniones mecánicas emplean elementos metálicos como clavos, tirafondos, pernos y conectores metálicos para fijar las piezas entre sí. Estas uniones permiten un montaje más rápido y, en muchos casos, desmontaje posterior, aunque pueden afectar la estética de la estructura. Su funcionamiento depende de mecanismos como la fricción, presión o expansión del conector dentro de la madera (Domínguez Lorenzo, 2015).

Entre los elementos más utilizados están los clavos, que se introducen por impacto o presión neumática, generando fricción para evitar el deslizamiento. Los clavos con caña espiral brindan mayor resistencia al arranque. Los tirafondos, similares a tornillos, ofrecen mayor estabilidad al enroscarse y son ideales para cargas pesadas. Los pernos permiten conexiones desmontables y los conectores metálicos (de anillo, placa, dentados, etc.) aumentan el área de contacto, permitiendo distribuir cargas de tracción y compresión eficientemente. Además, los herrajes como angulares, estribos y apoyos de pilares son fundamentales en estructuras complejas (UDELAR, 2019) (Peraza Sánchez, 1995).

No obstante, las uniones mecánicas presentan cierto **deslizamiento** que depende del tipo de fijación. Por ejemplo, las uniones con clavos o pernos permiten más movimiento que las uniones encoladas, lo cual puede aumentar las deformaciones en estructuras como cerchas o uniones en corona, hecho que debe considerarse en el diseño estructural (UDELAR, 2019).

- **Uniones adheridas o encoladas:**

Este tipo de unión emplea adhesivos especiales que permiten unir piezas de madera de forma continua y rígida. Se utilizan especialmente en elementos de madera laminada y en la fabricación de muebles, ya que ofrecen una estética limpia y una transmisión uniforme de cargas. No obstante, su desempeño puede verse afectado por la calidad del adhesivo y condiciones ambientales como la humedad (Domínguez Lorenzo, 2015).

En términos de rigidez, las uniones encoladas superan a las mecánicas, ya que no presentan deslizamientos significativos, lo cual mejora la eficiencia estructural en elementos sometidos a esfuerzos constantes (UDELAR, 2019).

b) Según la forma de encuentro

- **Empalmes:**

Los empalmes son un tipo de unión en el que las piezas de madera se conectan por sus extremos, también conocidos como testas. Su principal función es permitir la prolongación de elementos largos, como vigas o columnas, garantizando la continuidad estructural. Existen diversos tipos de empalmes, entre los que se destacan el empalme recto, el empalme con cola de milano, el empalme a media madera y el empalme tipo flauta (Ilustración 18). Cada uno diseñado para asegurar una conexión eficiente y resistente entre las piezas unidas (Arriaga martitegui, Iñiguez gonzález , Herrero, argüelles álvarez, & Fernández Cabo, 2011) (Peraza Sánchez, 1995) (Domínguez Lorenzo, 2015).

- **Ensamblés**

Las uniones en las cuales las piezas se cortan en ángulo permiten un encaje dentro de la otra de manera precisa. Este tipo de conexión es especialmente útil para unir elementos en esquinas o ángulos específicos, garantizando estabilidad y firmeza. Algunos ejemplos comunes de este tipo de unión son inglete y flotado (Ilustración 19). La caja y espiga, la media madera y la cola de milano (Domínguez Lorenzo, 2015) (Peraza Sánchez, 1995) (Arriaga martitegui, Iñiguez gonzález , Herrero, argüelles álvarez, & Fernández Cabo, 2011).

- **Acoplamientos**

Los acoplamientos son un tipo de unión en el que las piezas se superponen una sobre la otra, generalmente en superficies planas. Este tipo de conexión se emplea con el objetivo de incrementar el área de contacto entre los elementos, lo que a su vez mejora la transmisión de fuerzas a lo largo de la estructura (Ilustración 20). (Arriaga martitegui, Iñiguez gonzález , Herrero, argüelles álvarez, & Fernández Cabo, 2011) (Domínguez Lorenzo, 2015) .

Ilustración 18: *Empalme tipo flauta*



Ilustración 19: *Ensamble cortado a inglete y flotado*

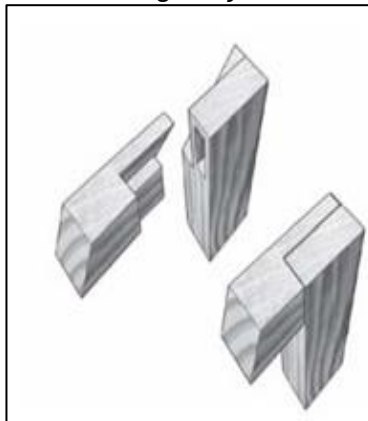
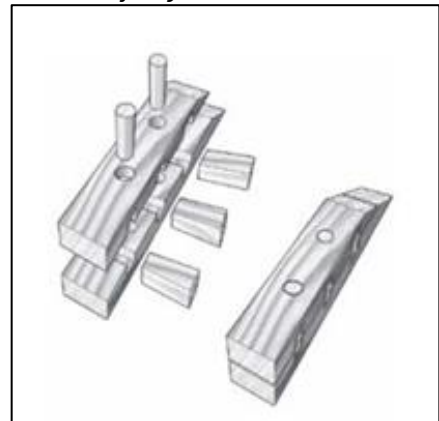


Ilustración 20: *Acoplamientos con clavijas y claves*



Fuente: Adoptado de *Estudio de uniones en estructuras de madera con uso de elementos clavija* (p.36), Domínguez Lorenzo, 2015

6.7.2.2. Uniones en la cimentación

Para asegurar la estructura de madera a los cimientos, se utilizan pernos embebidos en concreto o placas metálicas atornilladas, garantizando una conexión sólida y segura. Los pernos anclados al hormigón brindan estabilidad y evitan movimientos laterales, mientras que las placas metálicas permiten ensamblajes seguros y desmontables. Además, estas placas evitan el contacto directo entre la madera y el concreto, lo que contribuye a prevenir problemas de humedad y degradación, aumentando así la durabilidad de la estructura (López Muñoz, 2015).

6.7.2.3. Uniones en cubiertas y muros

Las uniones en cubiertas y muros son fundamentales para garantizar la estabilidad y seguridad estructural en edificaciones de madera.

a) Uniones en cubiertas:

Se emplean placas dentadas, tirafondos y, en construcciones tradicionales, ensambles tipo caja y espiga o cola de milano, reforzados con pernos. Estas uniones permiten resistir fuerzas dinámicas como viento y sismos (López Muñoz, 2015).

b) Uniones entre muros (mismo plano)

Se utilizan pernos, tuercas y arandelas, con al menos dos conexiones por unión, distribuidas en cada tercio de la altura del muro. Los pernos deben tener un diámetro mínimo de 9.5 mm. Si se usa guadua, los cañutos deben rellenarse con mortero para mayor rigidez (López Muñoz, 2015).

c) Uniones entre muros

Se conectan con pernos y tuercas en una sola dirección o con un elemento adicional en la intersección para fijarlos en ambas direcciones. También requieren dos conexiones por punto de encuentro, en cada tercio de altura, para asegurar distribución de cargas (López Muñoz, 2015).

d) Uniones entre muros y cubiertas:

Se usan amarres, conectores de anillo o clavos en ángulo entre otros para fijar las vigas superiores de los muros a las vigas de cubierta, garantizando una conexión firme y estable. (López Muñoz, 2015).

6.7.3. Madera-Secado, corte, preservación y métodos de preservación

La madera, una vez cortada, debe pasar por un proceso de secado para mejorar su calidad y evitar deformaciones. Este proceso no solo elimina la savia y reduce la humedad, sino que también prepara la madera para su uso final, adaptándola a las condiciones ambientales a las que se enfrentará. Sin embargo, es crucial controlar el proceso de secado, ya que puede causar cambios en las dimensiones de la madera y, en consecuencia, generar imperfecciones en la pieza (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7.3.1. Secado al aire libre o natural y secado artificial

El tratamiento de la madera incluye cuatro procesos esenciales: secado, corte, preservación e inmunización, que garantizan su durabilidad estructural. El secado puede ser natural, evitando el sol directo y utilizando apilados adecuados sobre terrenos limpios y drenados, o artificial, en hornos con control de temperatura y humedad, lo que reduce el tiempo de secado y baja el contenido de humedad (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002)

El corte debe hacerse en menguante y en temporada seca, cuando la savia es menor. Tras el corte, se recomienda dejar el tronco sobre suelo seco durante 30 días, sin retirar la corteza, para evitar deformaciones. La preservación, o inmunización, busca proteger la madera contra organismos dañinos. Para ello, debe estar seca y cortada, permitiendo que los preservantes (químicos o mezclas) penetren profundamente. Los métodos de preservación son: por aplicación directa (brocha, inmersión, pulverización o baños) o por presión en autoclave (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002)

Estas prácticas coinciden con la NSR-10, que también destaca la importancia de reducir la humedad y aplicar preservantes en la madera seca. Se sugiere complementar con control de calidad y tecnologías actualizadas.

6.7.4. Varas - Cañas / Bambú

Las cañas de bambú, por su resistencia, ligereza y facilidad de manejo, son ampliamente utilizadas en la construcción. Su corte debe realizarse durante la estación seca y en luna menguante, preferiblemente cuando la planta ha alcanzado la madurez. Se recomienda cortar entre 30 y 40 cm sobre el suelo y después de un nudo, utilizando herramientas afiladas para evitar dañar el tallo. Tras el corte, se realiza un curado vertical de 4 a 8 días sin contacto con el suelo para reducir la savia (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

El secado es crucial para evitar deformaciones, rajaduras y ataques biológicos. Puede hacerse al aire libre, bajo techo y en ambientes ventilados, o mediante calor controlado, acelerando el proceso a 2 a 3 semanas (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

La preservación busca aumentar la durabilidad del material. En exteriores, se introducen productos como fungicidas e insecticidas en el interior del tallo, mientras que para interiores basta con eliminar azúcares y almidones. Los métodos incluyen inmersión en soluciones conservantes, el procedimiento "Boucherie", y el llenado de tallos con sustancias protectoras. Astudillo Cordero & Vacacela Albuja (2015) recomiendan usar bórax y ácido bórico en solución acuosa durante 48 horas, finalizando con aceite de linaza para protección climática.

Entre las especies más usadas en América Central se destacan *Arundo donax*, *Gynerium sagittatum*, *Phragmites communis*, *Guadua angustifolia* y *Chusquea spp.*, debido a su adaptabilidad y propiedades estructurales (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

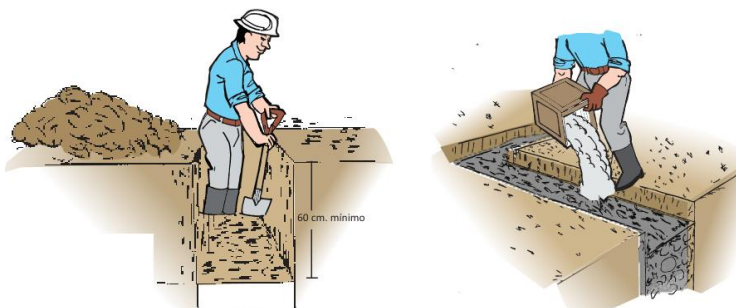
6.7.5. Cimentaciones

En zonas rurales, las cimentaciones suelen ser improvisadas, usando zanjas de piedra con cal, pilastras de ladrillo o guaduas apoyadas directamente en el suelo, evidenciando autoconstrucción sin asesoría técnica (Pineda Uribe, 2017). Para cimentaciones seguras, se recomienda excavar hasta 60 cm de profundidad y 50 cm de ancho (Ilustración 21), evitando suelos inestables. Se rellena con piedra grande y mezcla de cemento y hormigón, o con albañilería en piedra hasta alcanzar 50 cm de altura. Los cimientos de muros deben hacerse con concreto ciclópeo o (Dirección Nacional de Construcción -Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

La albañilería de piedra, una técnica ancestral, emplea piedras naturales unidas con argamasa (cal y arena) y varía según el tipo de mampostería: en seco (sin mortero) o concertada (con labrado). La argamasa une, da estabilidad, evita filtraciones y permite ajustes. Según su composición, puede incluir aditivos como cemento o yeso para mejorar resistencia y fraguado.

Se aplica en capas uniformes con llana o a mano, manteniendo espesor homogéneo para distribuir bien las cargas (Camacho Mesa, 2008).

Ilustración 21: *Construcción de cimientos*



Fuente: Adoptado de Manual de Construcción-Edificaciones Antisísmicas de adobe (p.19), Dirección Nacional de Construcción -Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010

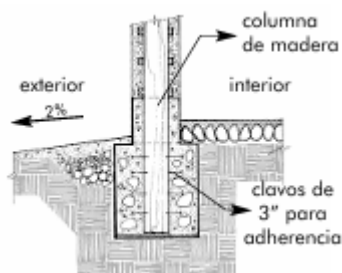
La falta de cimentación adecuada produce humedad ascendente, pudrición, inestabilidad y ausencia de continuidad estructural. Muchas viviendas tienen pilastras sin anclaje o guaduas sobre piedra, sin conexión efectiva entre muros, cimientos y cubierta, aumentando su vulnerabilidad sísmica. Se destaca como buena práctica el uso de riostras diagonales con materiales tradicionales que refuerzan la estabilidad del bahareque. (Pineda Uribe, 2017).

Para mitigar riesgos por humedad e inundaciones, los sobrecimientos deben elevarse al menos 20 cm sobre el nivel exterior. Esto evita que el muro absorba agua por lluvia o que el agua entre si el piso interior está más bajo. El ancho mínimo recomendado para cimientos es de 40 cm, idealmente 1.5 veces el ancho del muro, y la altura mínima de 20 cm (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002)

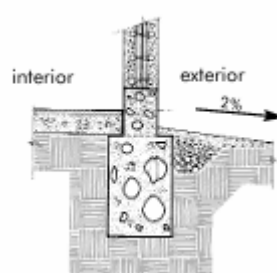
Se proponen soluciones como columnas de madera empotradas en hormigón, cimientos de concreto ciclópeo, sobrecimientos con bloques de 39x19x14 cm rellenos con hormigón, y columnas ancladas al sobrecimiento, ofreciendo opciones accesibles y resistentes según disponibilidad de materiales, costos y rapidez de ejecución (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

La Ilustración 22 muestra cuatro opciones de cimentación: columna de madera empotrada en hormigón, cimiento de hormigón ciclópeo, sobrecimiento con bloques de hormigón rellenos y columna fijada al sobrecimiento. Estas alternativas mejoran la estabilidad y resistencia estructural de la edificación.

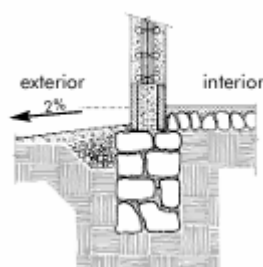
Ilustración 22: *Elaboración de cimiento y sobrecimiento*



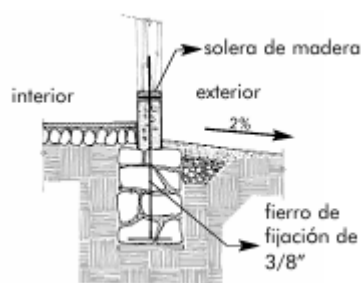
Cimentación: columna empotrada en el hormigón.



Cimiento de hormigón ciclópeo



Sobrecimiento con bloques de hormigón (39x19x14cm) o similar y rellenos con hormigón.



Cimiento con columna de madera fijada al sobrecimiento de hormigón.

Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

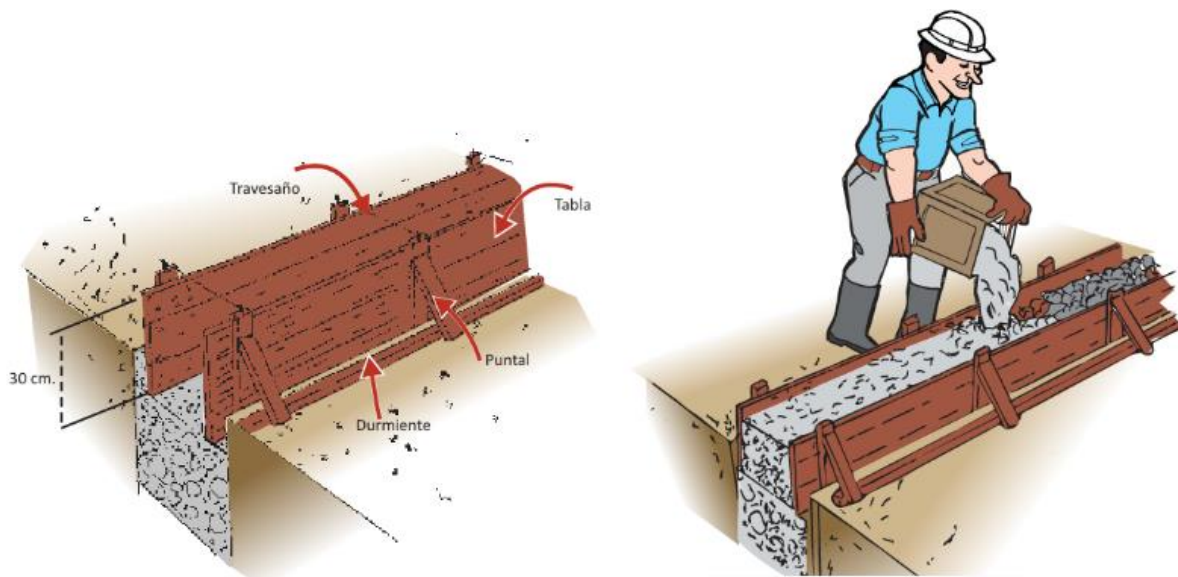
6.7.6. Sobrecimentación

El sobrecimiento en viviendas de bahareque eleva la estructura sobre el nivel del suelo, protege los muros contra la humedad y actúa como encadenado estructural que sostiene las columnas, evitando además el contacto directo de la tierra con las paredes exteriores. Debe construirse con concreto ciclópeo o piedra, sobresaliendo al menos 20 cm sobre el suelo. Se encofra con tablas de mínimo 30 cm, se rellena con piedra mediana y mezcla de concreto, argamasa o barro estabilizado (Ilustración 23). Además, el sobrecimiento cumple la función de

nivelar las hiladas de los muros, facilitando su correcta alineación durante la construcción (Dirección Nacional de Construcción -Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010) (Cardoso Mora, 2015).

Debe anclarse a la cimentación con barras de refuerzo. Las vigas de cimentación se ubican a mínimo 500 mm de profundidad; si el suelo competente está a más de 700 mm, se usa un relleno de concreto ciclópeo de 300 mm de ancho y 200 mm de alto (Casanova Echavez, 2011).

Ilustración 23: Construcción de sobrecimiento



Fuente: Adoptado de Manual de Construcción-Edificaciones Antisísmicas de adobe (p.20), Dirección Nacional de Construcción -Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010

6.7.7. Estructura y relleno - Bahareque tradicional

El bahareque tradicional es una técnica ancestral que forma muros con entramados de madera rolliza o guadua, rellenos con una mezcla de tierra y paja. Esta mezcla se introduce a presión entre dos rejillas de caña o bambú (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

La mezcla de barro, agua y paja picada se adhiere bien a estructuras de guadua o madera. A veces se le agrega estiércol seco para mejorar su cohesión y resistencia. Hoy, algunos constructores incorporan cal o cemento para aumentar la durabilidad (Pineda Uribe, 2017).

Según Rodríguez Ruiz et al. (2020), la paja debe estar seca y cortada finamente, y la tierra debe humedecerse de forma gradual hasta volverse homogénea y "chiclosa". El relleno se aplica desde la base del muro, lanzando bolas de tierra con fuerza para llenar los huecos del entramado, moldeándola con las manos para una distribución uniforme.

6.7.8. Estructura y relleno - bahareque convencional

El bahareque convencional, una adaptación moderna del bahareque tradicional, es una técnica constructiva ampliamente utilizada en la actualidad. Se caracteriza por emplear una estructura de madera aserrada, a la cual se fijan varas de caña o bambú mediante alambres y clavos. Este sistema permite un ensamblaje más preciso y un acabado más prolijo en comparación con el bahareque tradicional (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7.9. Cubierta

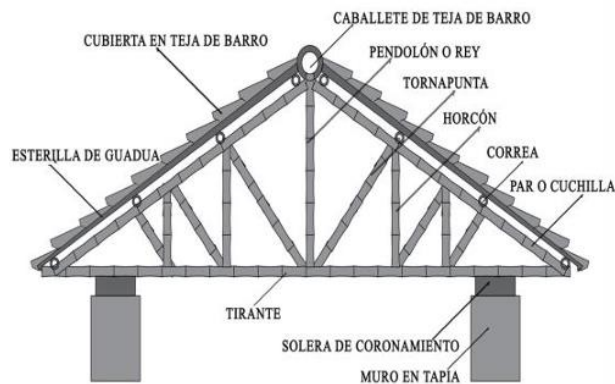
En zonas sísmicas, la cubierta debe actuar como un diafragma, rígido o flexible, capaz de resistir flexión y cizallamiento. Es fundamental que sea liviana y distribuya su peso uniformemente para reducir el riesgo de colapso. Los aleros deben medir entre 50 cm y 1 metro para proteger eficazmente los muros (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002)

Pineda Uribe (2017) destaca que las cubiertas ligeras, como las de teja de barro o paja, con aleros amplios, ayudan a conservar el bahareque al protegerlo de humedad. Desaconseja materiales como asbesto, zinc o fibrocemento. Además, sugiere instalar vigas para evitar que el techo repose directamente sobre los muros, corregir pandeos y prevenir filtraciones por mala instalación.

En el Paisaje Cultural Cafetero, el bahareque usa cerchas de guadua, madera rolliza, aserrada o ambas, que soportan la teja de barro y aleros amplios. Estas cerchas tienen una viga horizontal (tirante) de madera aserrada, vigas inclinadas y cumbrera de guadua, correas, pie

derecho y refuerzos diagonales para las correas. La disposición varía según el constructor (Ilustración 24) (Pineda Uribe, 2017).

Ilustración 24: *Elementos de cubierta*



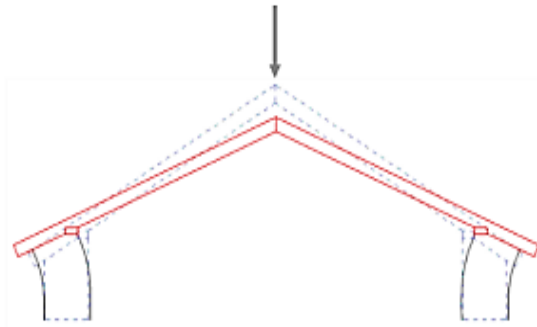
Fuente: Adaptado de *Características y patologías constructivas del bahareque tradicional en la vereda san pedro del municipio de Anserma (caldas)* (p.24), Pineda Uribe, 2017

Según Moreno (2020) indica que la cubierta se construye con cerchas sencillas de madera y guadua, en estructura a dos aguas, cubiertas con esterilla de guadua y teja de barro española. Su peso es aproximadamente 60 kg/m², lo que permite aleros amplios que reducen la carga sobre muros delgados de bahareque.

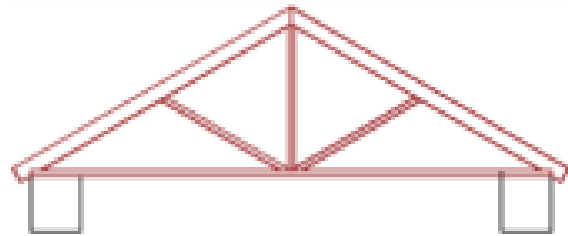
Burbano Figueroa & Ibarra Arias (2023), analizan techos tradicionales, clasificando cubiertas según empuje y peso. Cubiertas livianas con inclinación >35° son menos vulnerables, mientras que las pesadas y con menor pendiente generan más esfuerzos en muros (Ilustración 25). Describen cubiertas con cerchas de madera, teja de barro sobre base de teja de asbesto-cemento, con pendiente del 47%. Destacan que vigas collar reducen el empuje del techo y mejoran la estabilidad. La evaluación sísmica depende de la dirección del análisis estructural, que afecta la vulnerabilidad.

Ilustración 25: *Comportamiento común de los sistemas estructurales de tejado que ejercen empuje*

Sistema estructural de tejado que ejercen empuje



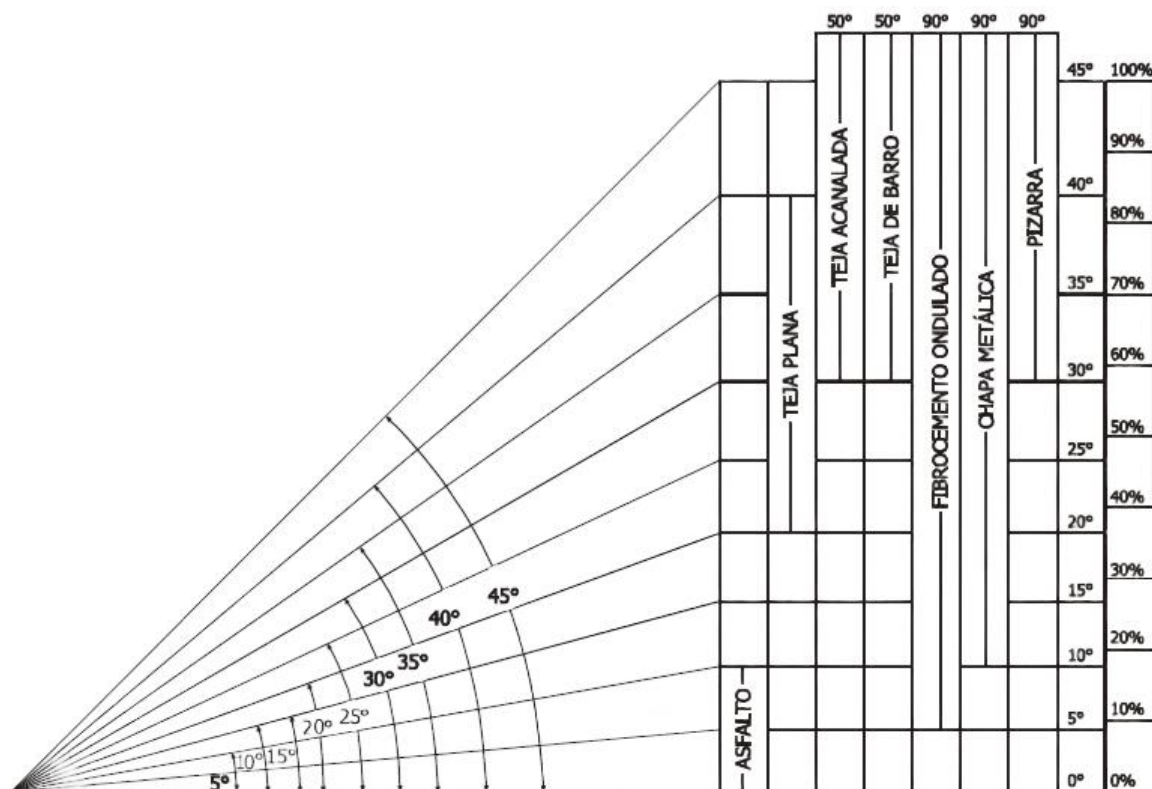
Techo que no ejercen empuje



Fuente: Adoptado de *Evaluación de vulnerabilidad sísmica en el centro histórico de Popayán por métodos simplificados* (p.81), Burbano & Ibarra, 2023

La Ilustración 26 presenta un gráfico que relaciona los materiales de cubierta con las pendientes recomendadas para su instalación. Diferentes materiales se asocian a rangos específicos de inclinación: el asfalto es adecuado para pendientes muy bajas, cercanas a 10° o menos; la teja plana se recomienda para inclinaciones de aproximadamente 20° a 40° ; la teja acanalada y la teja de barro funcionan mejor entre 30° y 50° . Este gráfico, es una referencia útil para determinar la inclinación óptima de una cubierta según el material utilizado, garantizando un buen drenaje y estabilidad estructural (De Villanueva & Gracia Santos, 1986).

Ilustración 26: *Relación de los Materiales de cubierta con las pendientes*



Fuente: Adoptado del *Manual General URALITA*, Tomo I (p.6),1990

6.7.10. Revestimientos

El revestimiento protege las paredes del clima y el desgaste, mejorando su durabilidad y resistencia sísmica (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002). En el bahareque, varía según el entorno: tradicionalmente se usaba una mezcla de tierra, estiércol de caballo y cal. Luego se incorporaron materiales como tabla parada y láminas metálicas, adaptándose a condiciones térmicas y acústicas. La clasificación del bahareque depende del tipo de revestimiento, desde acabados tradicionales hasta cemento o metal (Pineda Uribe, 2017).

El repello es esencial para proteger de la lluvia y de insectos como la chinche transmisora del Mal de Chagas. Se raspa la superficie con cepillo de alambre, se humedece y se aplica el repello (EarthEnable, 2018). La mezcla se compone de tres partes de tierra blanca, dos de arena y una de cal hidratada. Se aplica con cuchara de albañil, se empareja con codal de madera y se

resana con plancha. El afinado se realiza con cinco partes de cal hidratada y una de arenilla colada (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (Peña, 2001).

Según Astudillo Cordero & Vacacela Albuja (2015) para preparar el recubrimiento, se combinan 6 kg de tierra (compuesta por 75% de arena y 25% de arcilla) con 8% de cabuya, 8% de estiércol de caballo y 4% de engrudo, todos medidos en volumen. La cantidad de agua necesaria para lograr una consistencia pastosa en la mezcla dependerá de la humedad presente en los materiales.

El proceso de repello, que consiste en revestir las paredes para protegerlas y embellecerlas, se lleva a cabo en varias etapas clave:

6.7.10.1. Preparación

La superficie del muro se limpia cuidadosamente para eliminar tierra suelta, arena u otros elementos que puedan impedir la correcta adherencia del repello. En caso de humedecer el muro, se debe esperar a que el agua se evapore y sea absorbida por el muro antes de continuar (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7.10.2. Primera capa (Capa de Nivelación)

Esta capa inicial tiene como objetivo corregir las imperfecciones del muro y crear una superficie uniforme para la capa final. Su espesor debe oscilar entre 8 y 20 mm. El mortero para esta capa se prepara con una proporción de 1 parte de tierra arcillosa (que pase por una malla de 5 mm), 2 partes de arena (también tamizada por una malla de 5 mm) y 1/3 de paja cortada en trozos de 3 cm (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7.10.3. Incisiones

Inmediatamente después de aplicar la primera capa, y antes de que se seque, se realizan incisiones en la superficie con un cepillo de púas o clavos. Esto mejora la adherencia de la segunda capa (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7.10.4. Segunda capa (Afinado)

Esta capa final, delgada (1 a 2 mm), proporciona el sello y la protección al muro, además de su acabado estético. Se aplica una vez que la primera capa esté completamente seca. El mortero para esta capa se prepara con una proporción aproximada de 1 parte de tierra (tamizada por una malla de 2 mm) y 3 o 4 partes de arena fina. Es fundamental realizar pruebas de la mezcla antes de aplicarla, variando las proporciones hasta obtener una mezcla adecuada que no se agriete y sea resistente (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7.10.5. Sellado

La superficie se sella con una esponja mediante movimientos circulares. Luego de unos minutos (15 a 20 min), se pasa una brocha seca con movimientos rectos para sellar la superficie. Existen otras alternativas para el repello, como combinaciones de cal y arena, cal, arena y tierra, o yeso y arena (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

6.7.11. Andén o acera

Las aceras protegen los muros al reducir la salpicadura de agua lluvia, evitando el deterioro de los materiales. Su inclinación y conexión con los bordillos canalizan el agua lejos de cimientos y paredes, disminuyendo la humedad, filtraciones y erosión del suelo. Así, preservan la estabilidad de los cimientos, fundamentales para evitar grietas y daños en los muros (Ilustración 27) (Consejo Nacional de Investigación de Canadá, 2004).

Ilustración 27: *Importancia de los andenes en una casa.*



6.7.12. Pisos

El documento analiza el uso de pisos de tierra estabilizados como una alternativa económica y saludable frente a los tradicionales en viviendas de bajos recursos. EarthEnable, organización presente en Ruanda y Uganda, ha desarrollado un sistema basado en suelo compactado, una capa de laterita y un barniz ecológico impermeable que reemplaza al costoso aceite de linaza. Este acabado permite una superficie durable, fácil de limpiar y con mantenimiento cada 3 a 5 años (EarthEnable, 2018).

Estos pisos generan un 90 % menos emisiones de carbono y cuestan apenas el 20–30 % del valor de un piso de cemento. Tienen una vida útil de 10 a 15 años y su impacto en la salud es notable: reducen en un 49 % los casos de diarrea infantil y en un 79 % las infecciones parasitarias, además de mejorar la calidad del aire interior y proteger los alimentos almacenados (Ilustración 28). Se presenta, así como una solución sostenible y replicable en comunidades rurales vulnerables (EarthEnable, 2018).

Ilustración 28: *Recubrimientos de pisos en Uganda.*



Fuente: Adaptado de *EarthEnable* [fotografía], 2018, world hábitat https://world-habitat.org/es/premios-mundiales-del-habitat/ganadores-y-finalistas/earthenable/?utm_source=chatgpt.com#resumen , Derechos de Autor World Habitat 2017

El ingeniero Peña (2001), con el apoyo de FUNDASAL, realizó estudios en el laboratorio de estructuras de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas sobre viviendas sismo resistentes. Una de sus recomendaciones para mantener un ambiente saludable es evitar los pisos de tierra, sugiriendo recubrirlos con ladrillo de cemento o, en caso de bajos recursos, al menos aplicar una capa de concreto, lo que facilita la limpieza y mejora las condiciones de habitabilidad. Según las directrices del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú, se recomienda una mezcla de concreto en proporción 1:8 (cemento y hormigón) con un espesor mínimo de 8 cm. En zonas frías, se sugiere revestir algunas áreas con madera machihembrada para mejorar la retención de calor (Dirección Nacional de Construcción - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

En el manual de Cardoso Mora (2015) se describe la instalación de pisos en ladrillo comenzando con la compactación y nivelación del terreno mediante un apisonador de madera. Luego se aplicó una capa de arena para corregir imperfecciones y se niveló con un codal metálico. Una vez obtenida una base uniforme, se colocaron los ladrillos directamente, sin mortero, adaptándolos al contorno del área. Para asegurar su estabilidad, se rellenaron las juntas con arena, y en los bordes se aplicó una pequeña cantidad de cemento para evitar desplazamientos.

En el área social se instalaron baldosas de hormigón elaboradas de manera artesanal. Aunque su método de colocación es comparable al del ladrillo, se incorporó una capa delgada de hormigón como protección contra la humedad del suelo. Para lograr uniformidad en el color de las juntas, se utilizó una mezcla de cemento gris y blanco (Ilustración 29) (Cardoso Mora, 2015).

Ilustración 29: Pisos en baldosa artesanal.



Fuente: Adaptado de *Manual para la autoconstrucción de una vivienda en adobe y bahareque* (p.100), Cardoso Mora, 2015

6.7.13. Cieloraso

La ausencia de cielorrasos en viviendas tradicionales provoca una considerable pérdida de calor durante las noches frías, afectando el confort térmico de sus habitantes. Incorporar cielorrasos, ya sean horizontales o inclinados, no solo mejora la eficiencia energética, sino

también la estética de los espacios. En los horizontales se recomienda una cámara de aire entre los muros y la cubierta para un mejor aislamiento; en los inclinados, se sugiere el uso de aislantes térmicos como láminas de corcho de 3 mm (Quizhpe Vacacela, 2016).

La construcción del cielorraso comienza con el nivelado y encolado de la estructura, seguido de la aplicación de una mezcla de arena fina, arcilla y agua de arroz. Una vez seca la superficie, se procede a su pintura (PNUD/UNESCO, 1983).

La guadua, que alcanza su mejor calidad a los cuatro años, es un material ideal para cielorrasos hechos con latas y esterilla. Su uso, junto con técnicas tradicionales como el bahareque y labores de mantenimiento simples (pintura y fumigación), ha permitido que muchas viviendas centenarias se conserven en excelente estado (Pineda Uribe, 2017).

El cielorraso de barro, aplicado con técnicas similares al bahareque, consiste en una mezcla de barro y fibras vegetales sobre una estructura de soporte. Esta capa actúa como aislante térmico y acústico, además de proteger contra la humedad, la lluvia y las plagas, convirtiéndose en una solución constructiva sostenible, eficiente y duradera (Cardoso Mora, 2015).

En las viviendas de bahareque, los cielorrasos pueden construirse con tierra, esterilla, caña brava o bambú, materiales que aportan aislamiento térmico y regulación de la humedad, (

lustración 30). Cada técnica varía según la disponibilidad de recursos y las tradiciones locales, manteniendo siempre un equilibrio entre funcionalidad y estética.

lustración 30:Tipos de Cieloraso presentes en casas de bahareque.



Esterilla



Caña Brava



Bambú



Tierra

Fuente: Adaptado de Manual para la autoconstrucción de una vivienda en adobe y bahareque (p.110-113), Cardoso Mora, 2015

6.8. Características de vivienda autóctona en adobe

6.8.1. Cimentaciones

La vivienda autóctona emplea cimentaciones ciclópeas sobre terreno natural, hechas con barro o greda y piedras de 3 a 9 pulgadas (Rivera Salcedo, Valderrama Gutiérrez, Daza Barrera, & Plazas Jaimes, 2021). Estas consisten en vigas corridas de piedra con relleno, formando una retícula bajo los muros principales, apoyadas sobre suelo firme y con formas como "L", "T" invertida o prismáticas del ancho del muro. Los rellenos incluyen suelo arenoso o cal y canto con

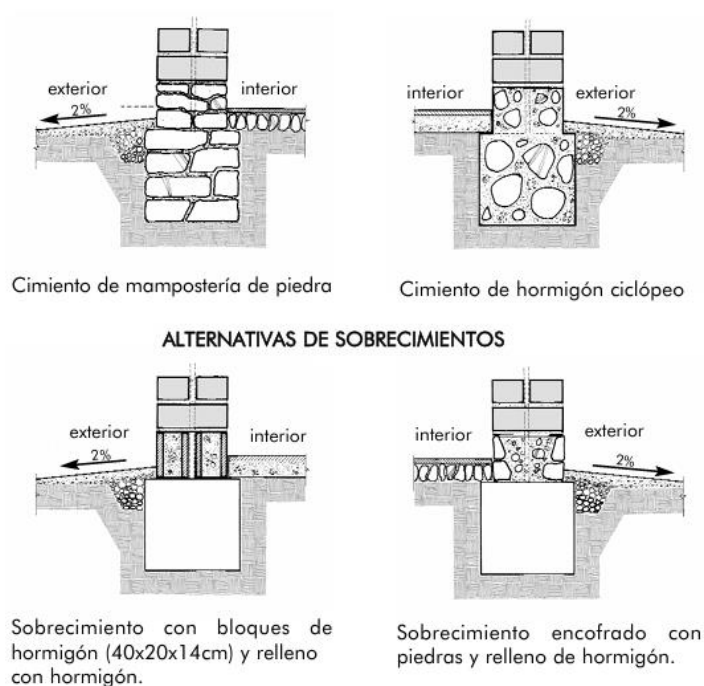
rocas angulosas o redondeadas (Yamín Lacouture, Phillips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007).

En El Salvador, se han conservado estructuras de tierra con recubrimientos estabilizados con cal en zonas como Chalchuapa y el Valle de Zapotitán, usando adobes y morteros compactados con materiales puzolánicos, con buenos resultados en firmeza, fidelidad y estética (Guerrero & Camacho, 2015) .

La selección del material para cimentación depende de su disponibilidad, costo y facilidad de instalación. El ancho mínimo es de 40 cm, aunque se recomienda 1.5 veces el ancho del muro para mayor estabilidad (Carazas Aedo, 2002).

La Ilustración 31 muestra distintos tipos de cimentaciones y sobrecimientos en construcciones de bahareque. Se presentan cimentaciones de mampostería de piedra y hormigón ciclópeo, así como sobrecimientos con bloques de hormigón rellenos de concreto y encofrados con piedras y hormigón, garantizando estabilidad y resistencia estructural.

Ilustración 31: Tipo de sobrecimientos y cimientos presentes en estructuras de adobe



Fuente: Adaptado de Adobe- *Guía de construcción parasísmica* (p.24), Carazas Aedo, 2002

6.8.2. Sobrecimientos

La presencia de agua, resultante en particular del ascenso capilar a partir del suelo o derivada de infiltraciones provenientes de la acción directa del agua en los paramentos, especialmente cuando la lluvia viene condicionada por el viento, justifica la necesidad de implementar soluciones constructivas apropiadas. La utilización de sobrecimientos en la parte de abajo de los muros, de tejados con aleros salientes, de revocos con mortero de cal y la estabilización de la propia tierra con la adición de cal, pueden resolver un problema que sólo la ocurrencia de inundaciones puede tornar insoluble, de ahí la necesidad de una cuidadosa selección del sitio de implantación (Braga & Graça, 2011).

6.8.3. Estructura

El Código Ecuatoriano de Construcción no regula el uso de adobe ni su refuerzo estructural. En contraste, la norma chilena (INN NCh 3332) incluye criterios para mejorar su capacidad estructural ante cargas y sismos. La norma peruana E:080 (MVSC, 2017) regula intervenciones en patrimonio y construcciones de adobe reforzado con geomalla, exigiendo arriostres horizontales y verticales (Lara & Bustamante, 2022)

En Colombia, la NSR-10 establece disposiciones especiales para el diseño, rehabilitación y refuerzo de estructuras patrimoniales en adobe o tapia pisada, buscando mejorar su seguridad sísmica sin comprometer su integridad y autenticidad. La norma recomienda métodos de intervención mínimos, compatibles con los materiales originales y, de ser posible, reversibles. Además, exige evaluaciones estructurales y sísmicas detalladas, y coordinar las intervenciones con las autoridades de patrimonio para preservar el valor histórico, garantizando la protección de los ocupantes y del legado cultural.

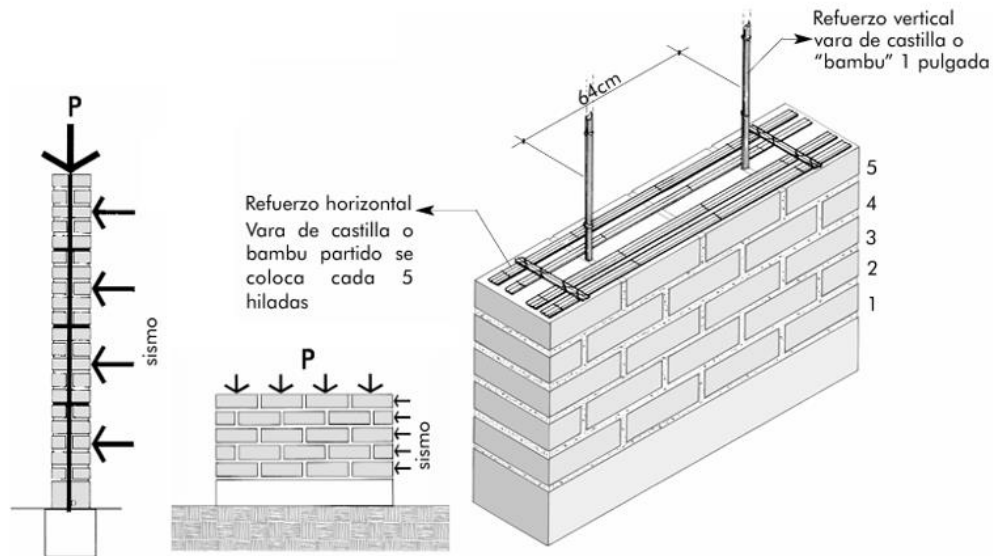
El sistema en adobe se compone de bloques unidos con mortero de greda. Estos bloques miden entre 30 a 40 cm de largo, 15 a 20 cm de ancho y 7 a 10 cm de alto. Los muros tienen grosores de 40 cm a 1 metro y alturas menores a 3,5 m. Los muros de carga siguen patrones definidos, mientras que los no portantes usan aparejo simple. En Bogotá se han identificado refuerzos en muros divisorios sin conexión estructural (Yamín Lacouture, Phillips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007).

Carazas Aedo (2002) señala que los adobes cuadrados mejoran la resistencia sísmica por su mejor integración estructural y mayor estabilidad, superando en resistencia a los rectangulares. La calidad del adobe depende de la tierra usada, fibra vegetal seca y proporción de agua.

Los muros de carga transfieren cargas al cimiento y durante un sismo enfrentan esfuerzos perpendiculares que afectan su estabilidad. El refuerzo vertical y horizontal mejora su comportamiento sísmico y reduce el riesgo de colapso (Ilustración 32) (Carazas Aedo, 2002).

Además, la integración de refuerzos internos ayuda a mantener la cohesión estructural, evitando la separación en las esquinas y previniendo desprendimientos o caídas del muro

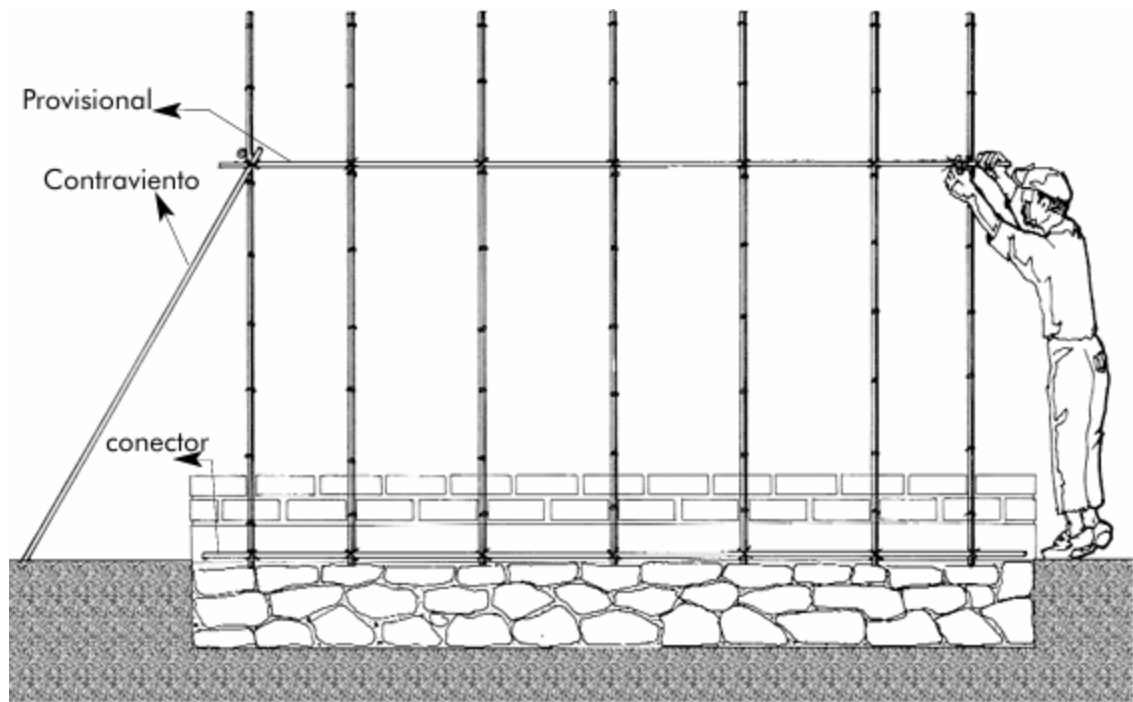
Ilustración 32: *Refuerzos verticales y horizontales*



Fuente: Adaptado de Adobe- *Guía de construcción parasísmica* (p.28), Carazas Aedo, 2002

Para la instalación, una vez definido el emplazamiento de las varas, estas se colocan en posición vertical. Para garantizar su alineación, se utilizan conectores horizontales provisionales tanto en la parte inferior (sobrecimiento) como en la parte superior. Estos elementos facilitan la estabilidad de las varas mientras se construye el muro. Además, es fundamental reforzar la estructura apoyándose en los laterales mediante la colocación de varas de contraviento, lo que mejora su resistencia y estabilidad durante el proceso de levantamiento (Ilustración 33). (Carazas Aedo, 2002).

Ilustración 33: *Instalación para levantamiento de muro de adobe*



Fuente: Adaptado de Adobe- *Guía de construcción parasísmica* (p.28), Carazas Aedo, 2002

Un estudio de la PUCP y el Getty evaluó el refuerzo de muros de adobe con mallas naturales (bambú y fibra vegetal) e industriales (mallas poliméricas con hilo plástico). Ambos modelos, recubiertos con barro, demostraron que el refuerzo evita el colapso al limitar el desplazamiento de grietas durante sismos, siendo útil en edificaciones nuevas y existentes (Jara Avila, Rodas Aviles, & Caldas Freire, 2015).

Además, la PUCP propuso un refuerzo interno con cañas de bambú verticales y horizontales cada cuatro hiladas, junto con una viga collar, como se muestra en la Ilustración 34. Ensayos sísmicos mostraron que mejora la deformación de los muros y evita el colapso, aunque solo es aplicable en construcciones nuevas. (Jara Avila, Rodas Aviles, & Caldas Freire, 2015).

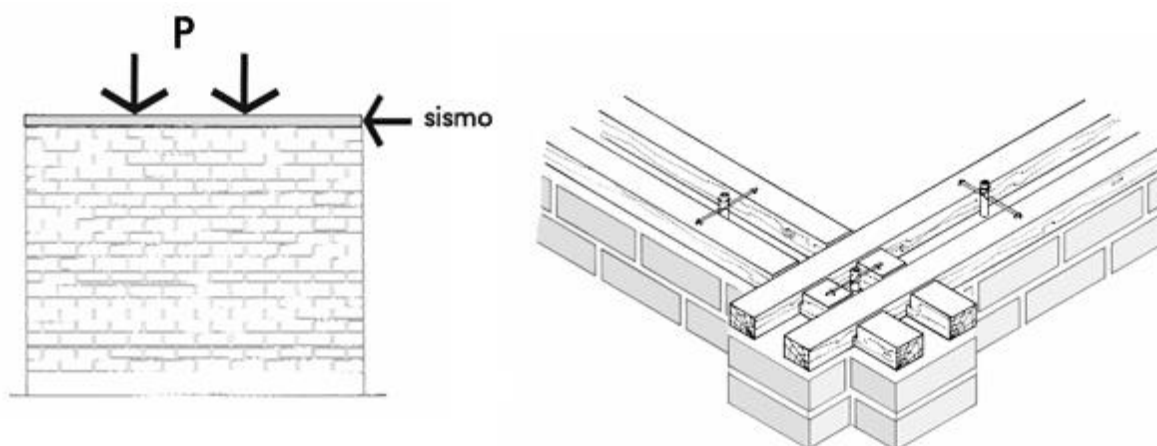
Ilustración 34: *Malla natural mediante caña y cuerdas y Mejoramiento interno mediante caña de bambú*



Fuente: Adaptado de Las innovaciones tecnológicas como respuesta a las debilidades y aprovechamiento de potencialidades en el sistema constructivo tradicional del adobe, (p.8), Jara, Rodas, Caldas, 2015

La viga de cerramiento actúa como un cinturón estructural que rodea la parte superior de la edificación, distribuyendo esfuerzos sísmicos, uniendo muros transversales, reforzando la conexión techo-muros y mejorando la resistencia a la flexión (Ilustración 35). Se recomienda usar vigas de madera de 10x10 cm, con uniones tipo machihembrado para mayor eficiencia y rápida instalación (Carazas Aedo, 2002).

Ilustración 35: Vigas de Cerramiento en viviendas de adobe



Fuente: Adaptado de Adobe- Guía de construcción parasísmica (p.29), Carazas Aedo, 2002

6.8.4. Cubierta

La estructura y cubierta se construyen en cedro, al igual que puertas y ventanas abatibles de doble hoja. La madera debe cortarse en menguante para un secado más uniforme y evitar deformaciones (Rivera Salcedo, Valderrama Gutiérrez, Daza Barrera, & Plazas Jaimes, 2021).

Las cubiertas, en su mayoría a dos aguas con pendiente entre 20 a 35 %, usan varas de pino o eucalipto de 8 cm de diámetro, apoyadas en muros o vigas cumbreras de roble de hasta 25 cm. Es poco común el uso de armaduras de madera que eviten cargas horizontales. Bajo las tejas se coloca caña o listones (Braga & Graça, 2011).

El techo puede ser de zinc (más usado hoy) o palma real (tradicional en Casanare por su capacidad aislante), aunque esta última ha caído en desuso por propiciar hongos e insectos.

6.8.5. Revestimiento de muros

El revoque de muros se realiza con tierra o cemento, previo anclaje mediante tapas metálicas incrustadas en cada adobe para mejorar la adherencia (Rivera Salcedo, Valderrama Gutiérrez, Daza Barrera, & Plazas Jaimes, 2021).

Investigadores de la PUCP y la Universidad de California evaluaron estabilizantes naturales y sintéticos para proteger muros de adobe en zonas lluviosas. El extracto de hoja de tuna fue el más eficaz, y su combinación con fibras, arena y un acabado pulido con piedra previene fisuras y daños por humedad (Jara Avila, Rodas Aviles, & Caldas Freire, 2015).

Los acabados interiores se aplican en capas: una base gruesa de barro y paja, y una fina de arcilla tamizada y fibra de mimbrera, rematada con pintura de cal (Jové Sandoval, Martín Pedruelo, & Ordóñez Castañón, 2015).

6.8.6. Mortero

La preparación de morteros exige materiales de calidad y limpieza, especialmente tierra arcillosa sin contaminantes. Se mezcla con arena gruesa y fina hasta obtener la textura adecuada, se humedece con agua dulce y reposa al menos un día cubierto (Oshiro & Pozzi Escot, 2015)

En estudios de refuerzo, se incorporaron fibras como yute, paja y cáñamo al mortero. El mejor desempeño se logró con 2% de yute (1–2 cm), que aumentó la resistencia y ductilidad, mostrando mayor compresión en juntas de adobe (Jara Avila, Rodas Aviles, & Caldas Freire, 2015)

La Norma Peruana E.080 (2017) recomienda sumergir los adobes 15–30 segundos antes de colocarlos. El mortero no debe tener más del 20% de humedad y debe prepararse con la mínima cantidad de agua para evitar fisuras. La relación tierra-paja puede ser 1:1 o 1:2; si falta paja, se puede usar arena gruesa. Las juntas deben medir entre 5 y 20 mm (Brito del Pino & Santamaría Herrera, 2021).

Dado que esta tesis se fundamenta en gran parte en la revisión de literatura, en este apartado se presentarán y describirán antecedentes relevantes que han nutrido el desarrollo del proyecto. Asimismo, se incluirán los aportes derivados de los talleres colaborativos y las socializaciones realizadas con la comunidad, los cuales han sido fundamentales para la construcción de ambas propuestas.

7. Propuesta arquitectónica del modelo de vivienda de interés cultural

Luego de llevar a cabo los levantamientos arquitectónicos y analizar la información del inventario general, el componente de arquitectura, conformado por los estudiantes de arquitectura Juan Esteban Camacho y María Camila Ledezma bajo la dirección del Arquitecto Javier Barrera, desarrolló la propuesta arquitectónica indicada en la Ilustración 36 (fachada principal del diseño arquitectónico) y en la Ilustración 37 (vista lateral del diseño arquitectónico).

El diseño propuesto está compuesto por cuatro módulos con diferentes áreas y funcionalidad espacial. Estos módulos indicados según la convención de colores de Ilustración 38, representa características habitaciones correspondientes a viviendas tradicionales existentes del territorio y responden a las necesidades de los habitantes de la comunidad. La vivienda se proyectó con 90m² para el área de los cuatro módulos principales, con un área total cubierta de 150 m² y una altura de 2.30m medidos hasta las vigas soleras.

Ilustración 36: *Fachada principal del diseño arquitectónico*



Fuente: Adoptado de *Vivienda Interés Cultural (VIC)*, Resguardo Indígena de Pitayó, Camacho & Ledezma, 2025

Ilustración 37: *Vista lateral del diseño arquitectónico*



Fuente: Adoptado de *Vivienda Interés Cultural (VIC)*, Resguardo Indígena de Pitayó, Camacho & Ledezma, 2025

Ilustración 38: Módulos del diseño arquitectónico



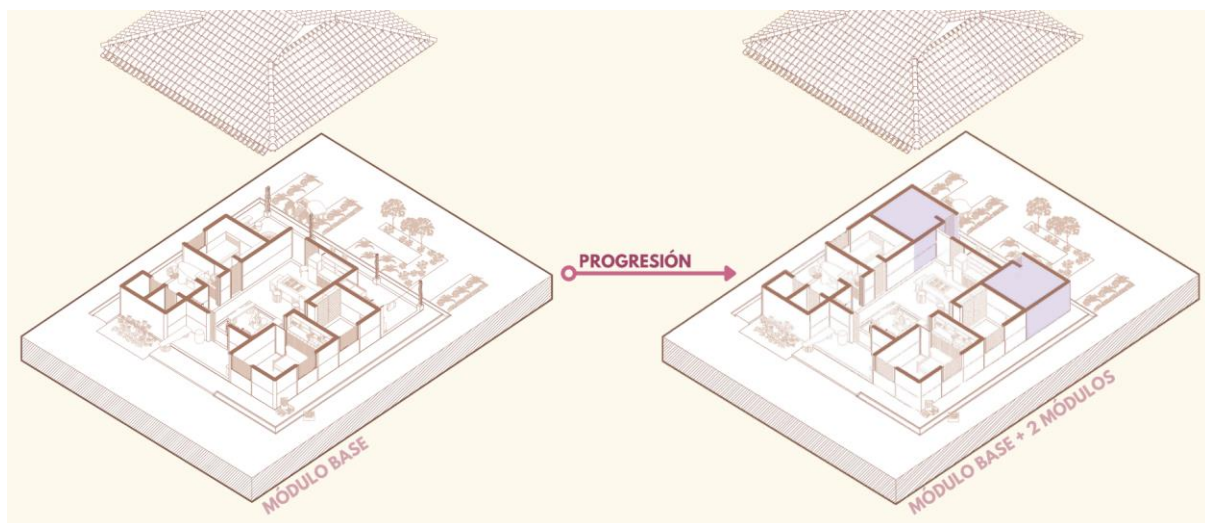
Fuente: Adoptado de *Vivienda Interés Cultural (VIC)*, Resguardo Indígena de Pitayó, Camacho & Ledezma, 2025

De acuerdo con el criterio de los diseñadores arquitectónicos y con los resultados de los talleres colaborativos y socializaciones del proyecto con la comunidad, la propuesta arquitectónica se ajustó para una posible ampliación en la zona posterior. Lo anterior,

considerando que la cultura del territorio responde a necesidades de espacios multifamiliares y que una futura ampliación era viable según la distribución arquitectónica de la unidad básica (Ilustración 39).

La información completa de este capítulo está disponible en la tesis titulada “*Habitando memorias, una huella del territorio: Vivienda de interés cultural (VIC) en el Resguardo Indígena de Pitayó, Cauca*”, de Juan Esteban Camacho y María Camila Ledezma. En dicho documento, los autores describen la metodología para el reconocimiento y caracterización de la vivienda VIC en el Resguardo Indígena de Pitayó, desde el componente de vista arquitectónico.

Ilustración 39: Propuesta de ampliación del diseño arquitectónico.



Fuente: Adoptado de *Vivienda Interés Cultural (VIC), Resguardo Indígena de Pitayó*, Camacho & Ledezma, 2025

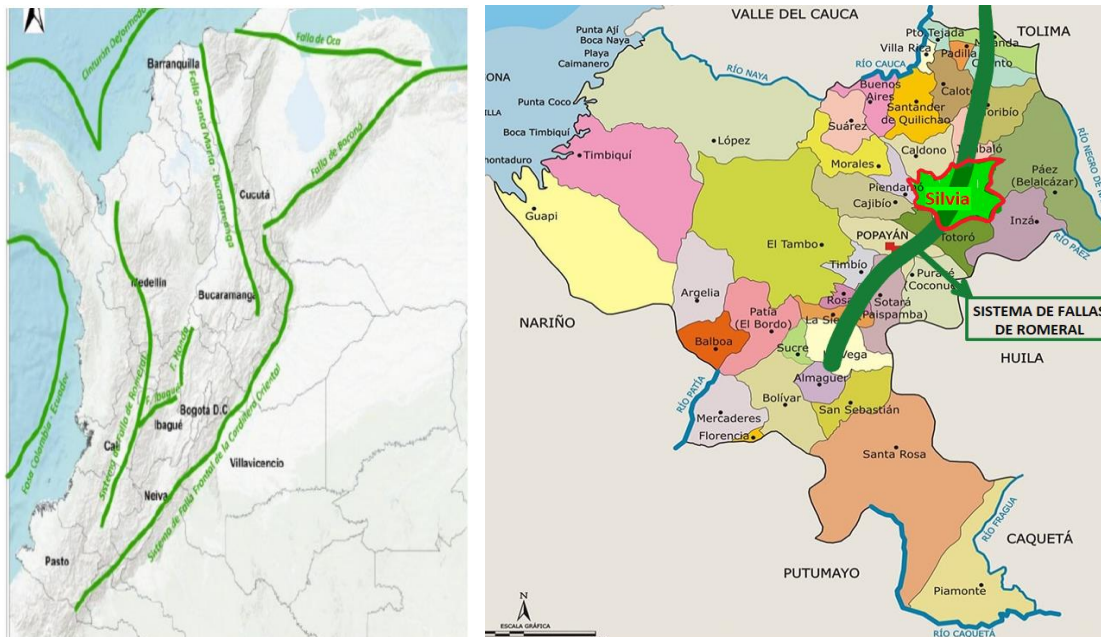
8. Desarrollo de la propuesta del sistema estructural

En este capítulo se incluyen algunas ilustraciones del diseño estructural propuesto para la vivienda; sin embargo, los detalles completos de construcción, así como las especificaciones técnicas de cada uno de los elementos estructurales, se presentan en los planos del Anexo 3.

8.1. Propuesta de localización de la construcción de vivienda VIC

A partir de la evaluación de la zona de ubicación del Resguardo Indígena de Pitayó, y considerando las recomendaciones de seguridad para ubicación de una construcción, se formuló una posible localización para la vivienda VIC prototipo. El sitio recomendado para la edificación corresponde a áreas con topografía moderadamente plana, ubicadas fuera de la zona de influencia directa del sistema de fallas de Romeral, de acuerdo con los registros geológicos preliminares y los testimonios aportados por líderes comunitarios durante el proceso de investigación (Ilustración 40).

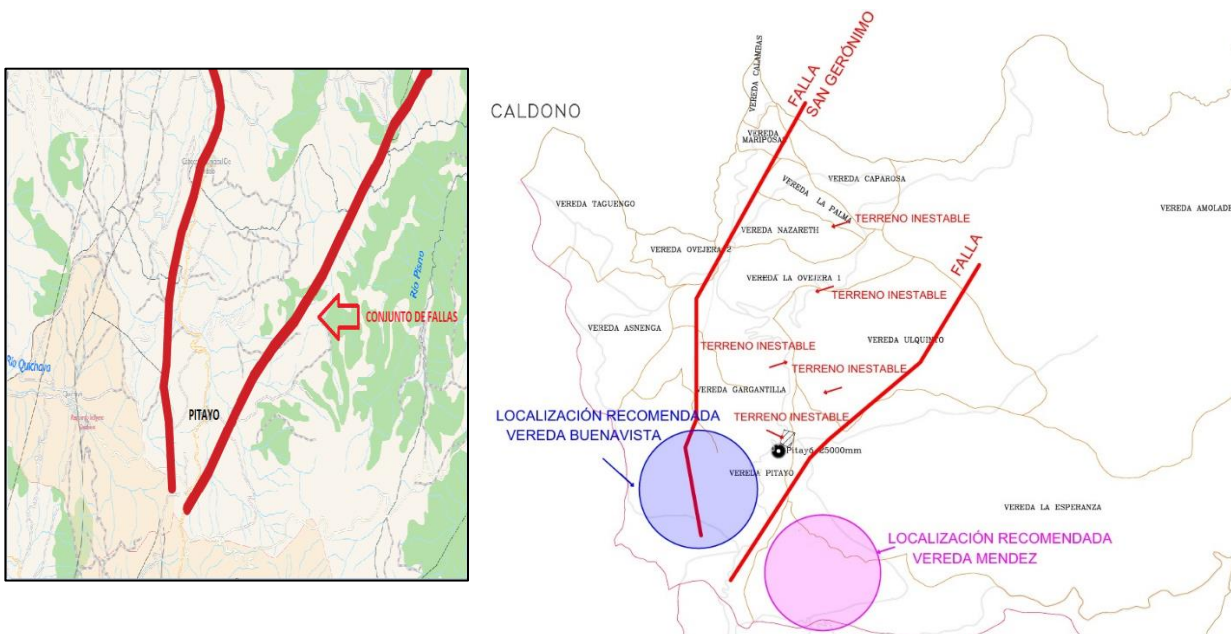
Ilustración 40: Ubicación falla del romeral



Fuente: Adaptado de *Falla de romeral* (p.6), Moreno, Monroy, Jiménez, Ramírez & González, 2022

Por lo anterior, se propone ubicar el proyecto de VIC en la parte alta del territorio, en sectores donde no se identifican evidencias de inestabilidad del terreno ni antecedentes de eventos de remoción en masa. Esta recomendación se fundamenta en el reconocimiento directo del terreno durante las visitas de campo, en el análisis de la topografía local, y en la verificación de la ubicación del sistema de fallas de Romeral mediante el aplicativo “Colombia en Mapas” del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (Ilustración 41).

Ilustración 41: Indicación de terreno inestable, conjunto de fallas y ubicación de veredas propuestas



Considerando las recomendaciones de la Sección 10.6 de este documento, se priorizan terrenos con pendientes menores al 12% y suelos con buena capacidad portante, evitando áreas con presencia de remoción en masa, humedad excesiva o inestabilidad documentada (IDEAM, 2010). De lo anterior, se recomienda como posible sitio de ubicación a las veredas Buenavista y Méndez, que cumplen con los aspectos recomendados para la implantación. Estas zonas se demarcan en color azul en la Ilustración 42, la Ilustración 43 y la Ilustración 44.

Ilustración 42: Localización en Google Earth de las veredas propuestas



Ilustración 43: *Ubicación recomendada en la vereda Méndez*



Ilustración 44: *Ubicación recomendada en la vereda Buenavista*



8.2. Propuesta de cimentación

La cimentación propuesta corresponde a zanjas corridas de 40 x 40 cm, construidas con piedra de río compactada y argamasa de cal, siguiendo técnicas tradicionales observadas en la zona y documentadas en la sección 10.7.5 de este informe. La mezcla recomendada para la argamasa consiste en tres partes de tierra blanca, dos partes de arena y una parte de cal hidratada, conforme con los parámetros descritos en el capítulo 10.3.5 del documento.

Se empotrarán columnas de madera rolliza de 10 cm de diámetro, ubicadas a 15 cm del fondo de la zanja. Para mejorar el anclaje, se instalarán dos varillas de acero (diámetro mínimo: 1/2") en la base inferior de cada columna, con una separación de 5 cm entre ellas, para generar mayor estabilidad y resistencia ante cargas laterales, de acuerdo con los principios de la NSR-10 para estructuras con elementos de madera (Título G) (Ilustración 45).

8.3. Propuesta de sobrecimentación

Se propone una sobrecimentación de 30 cm de base por 15 cm de altura, construida con los mismos materiales que la cimentación (piedra y argamasa de cal). Su ejecución debe realizarse cuidadosamente, asegurando su correcta alineación mediante el uso de hilo tensado y nivelación con nivel de manguera, tal como se muestra en la Ilustración 47. Además, se deberá dejar embebida una varilla roscada para conectar el sobrecimiento con el esqueleto estructural de madera, conforme a lo mostrado en la Ilustración 46.

Para mejorar la protección contra la humedad, se recomienda dejar el nivel del suelo interior de la vivienda ligeramente más alto que el nivel del terreno exterior como se indica en la Ilustración 48. El material sugerido para este piso es suelo-cemento estabilizado, el cual combina la resistencia de la tierra compactada con un aglutinante que mejora la cohesión, tal como se discute en el capítulo 10.6.3 de este documento. Para el corredor exterior o andén se recomienda una inclinación de 2% para evitar estancamiento del agua.

Ilustración 45: Propuesta de cimentación Para vivienda de Resguardo de Pitayó.

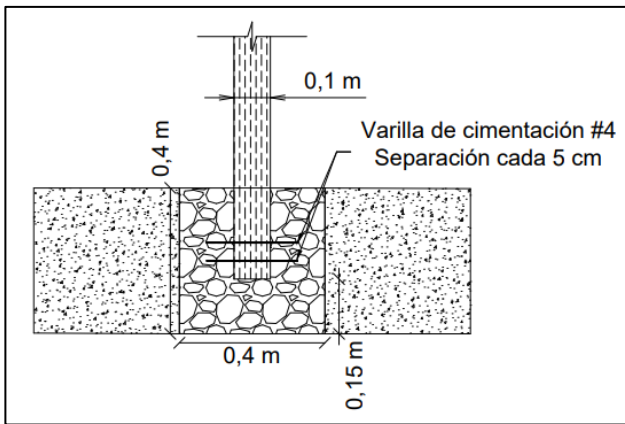


Ilustración 46: Propuesta de anclaje de sobrecimiento con estructura de muros con varilla roscada

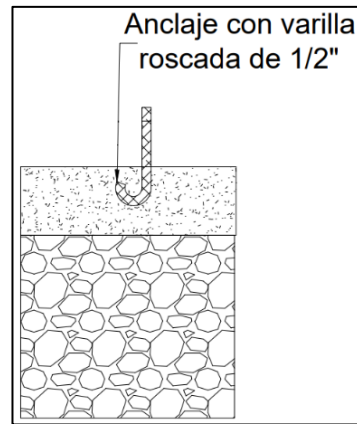


Ilustración 47: Propuesta de sobrecimentación en vivienda de Resgarde de Pitayó.

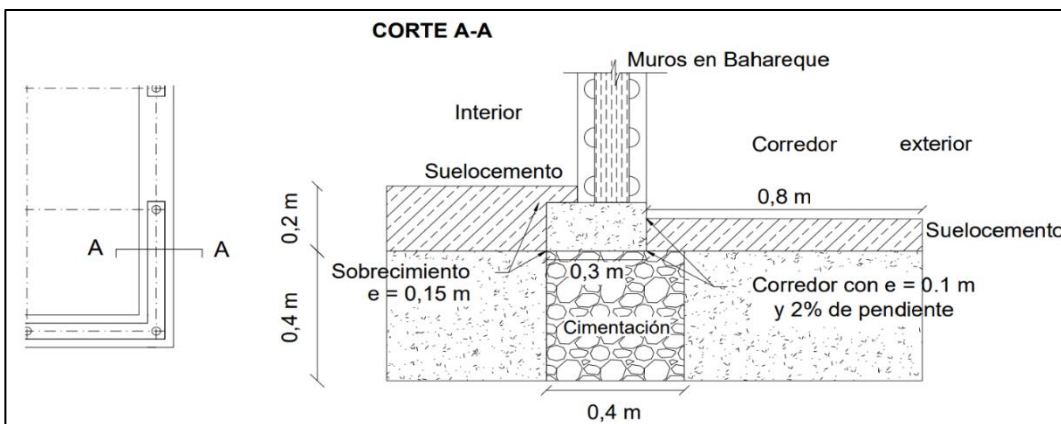
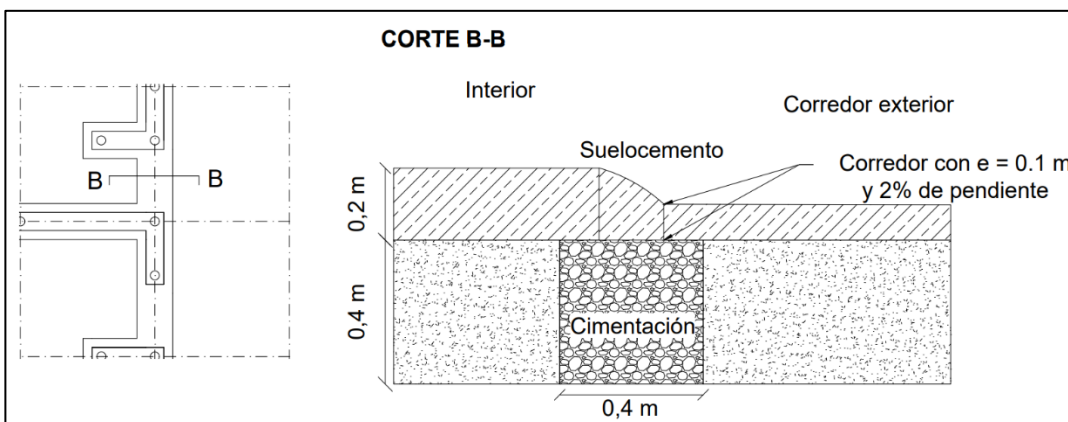


Ilustración 48: Propuesta de Niveles del suelo en el interior y exterior de la vivienda propuesta en el Resguardo de Pitayó.

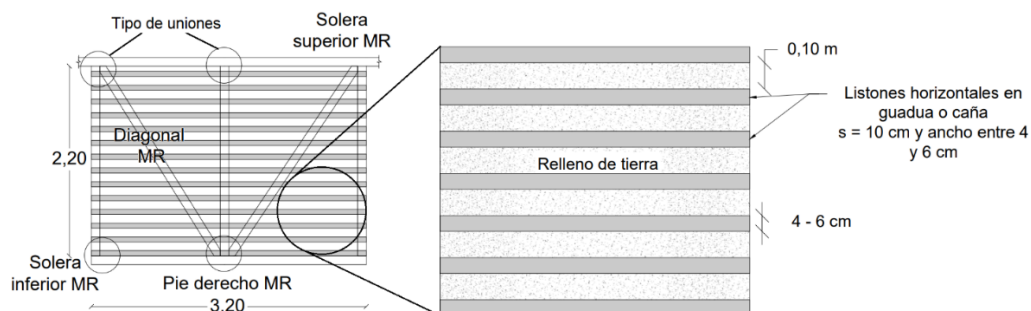


8.4. Propuesta estructural para los muros

Para el prototipo de vivienda se plantea un sistema estructural de muros en bahareque, técnica ancestral ampliamente utilizada por la comunidad y validada por su adaptabilidad climática, económica y cultural. Los muros tendrán una altura de 2,30 metros y un espesor máximo de 20 cm, con longitudes variables de acuerdo con el diseño arquitectónico. Estos muros de 20 cm, con longitudes variables de acuerdo con el diseño arquitectónico. Los elementos estructurales estarán conformados por madera rolliza (de pino o eucalipto) con un diámetro promedio de 10 cm (Ilustración 49), dispuestos en un sistema de bastidor compuesto por:

- ✓ **Solera inferior y solera superior:** elementos horizontales que enmarcan el muro en su parte baja y alta. La solera superior será continua, permitiendo el amarre y la integración de todos los muros de carga en el diafragma de cubierta.
- ✓ **Pies derechos:** dispuestos verticalmente entre soleras, con una separación según las necesidades estructurales del diseño.
- ✓ **Diagonales de arriostramiento:** instaladas para mejorar el comportamiento frente a solicitaciones sísmicas.
- ✓ **Listones horizontales de guadua o caña brava:** de 4 a 5 cm de ancho, colocados cada 10 cm entre sí, contribuyendo al soporte del relleno. Esta modulación fue seleccionada en función del comportamiento histórico del sistema tradicional del bahareque en la región.

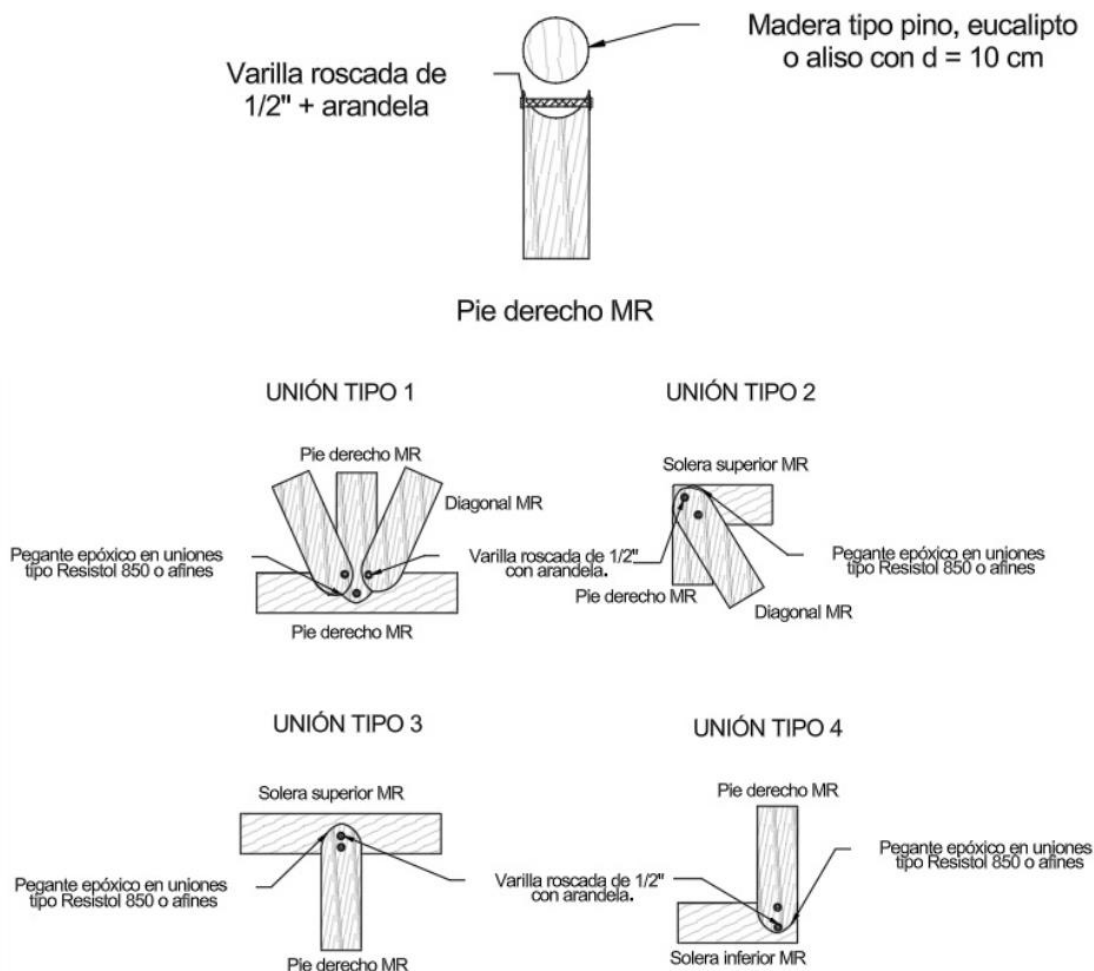
Ilustración 49: Propuesta de diseño de muro para vivienda de bahareque.



8.4.1. Uniones estructurales

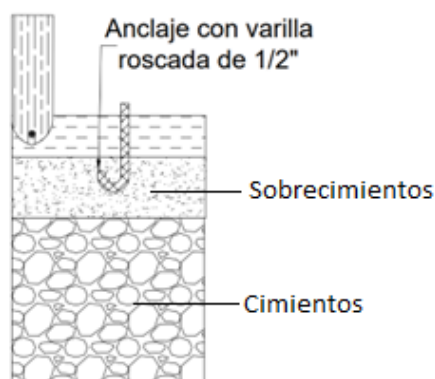
Se proponen cuatro tipos de uniones con corte tipo "boca de pescado", los cuales serán encolados y reforzados mecánicamente. Para la encoladura se recomienda el uso de pegante epóxico tipo Resistol 850 o equivalente, reconocido por su alta resistencia estructural en madera, durabilidad y capacidad de adherencia en ambientes húmedos. Además, cada unión se asegurará con varilla roscada de ½ pulgada, arandela y tuerca (Ilustración 50). Estas uniones deben ser verificadas de acuerdo con los lineamientos de resistencia estructural y durabilidad exigidos en el Título G de la NSR-10.

Ilustración 50: Propuesta de 4 tipo de uniones en madera rolliza utilizando corte boca de pescado.



La fijación del muro al sobrecimiento también se hará mediante varilla roscada de ½ pulgada, embebida durante el vaciado del sobrecimiento para garantizar el anclaje vertical y evitar desprendimientos por efecto de cargas horizontales (Ilustración 51).

Ilustración 51: *Propuesta de anclaje de muros con sobrecimientos.*



8.4.2. Relleno de los muros.

Para el relleno de los muros (Ilustración 52), se utilizará una mezcla de tierra del lugar estabilizada con fibras de cabuya, con una dosificación del 2% en peso total de la mezcla; las fibras recomendadas tendrán una longitud de 100 mm. Esta proporción y longitud han demostrado ser eficaces para mejorar la cohesión, resistencia a la tracción y control de fisuración, favoreciendo un comportamiento dúctil del sistema, como lo sugieren los resultados analizados por Saxton (1995). En este estudio, se identificó que una mezcla típica efectiva contiene aproximadamente un 30% de grava, 35% de arena y 35% de limo-arcilla.

8.4.3. Revestimiento de protección

Como protección superficial de los muros, se recomienda un sistema de repello a base de cal aérea, preparado en dos capas. Según lo descrito en la sección 10.3.5 y 10.7.10 de este documento, esta técnica ha demostrado ser efectiva para proteger la madera y el relleno de tierra frente a la humedad y agentes biológicos. Se sugiere aplicar una capa base con mezcla de:

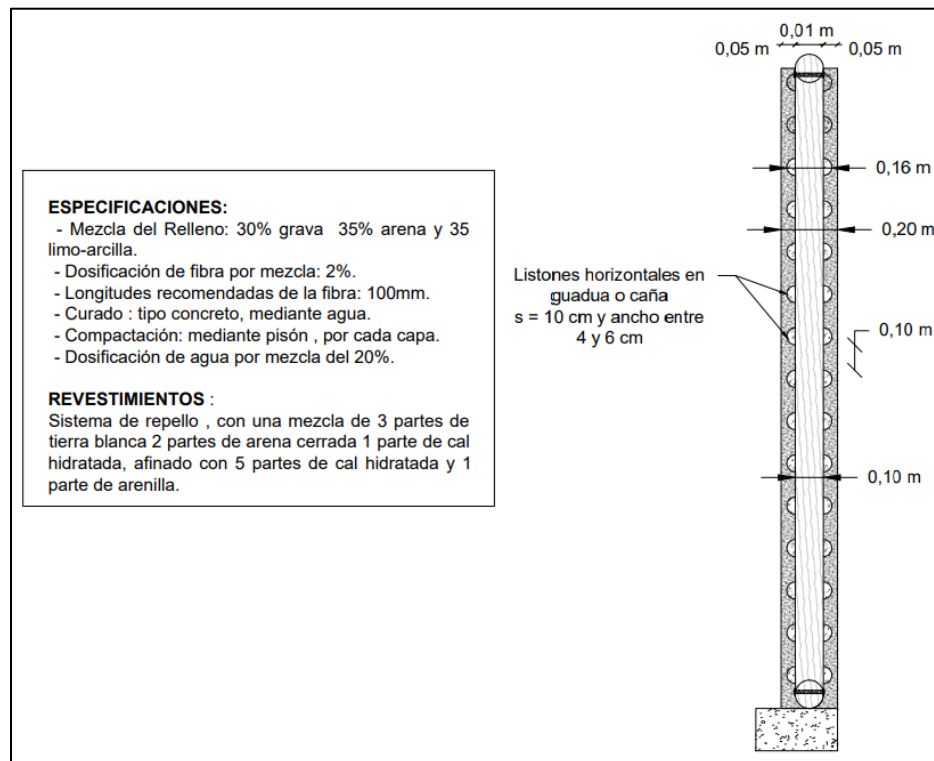
- ✓ 3 partes de tierra blanca, 2 partes de arena cernida y 1 parte de cal hidratada

Posteriormente, una segunda capa de afinado con:

- ✓ 5 partes de cal hidratada y 1 parte de arenilla fina

El sellado final se realiza con una lechada diluida de cal que impermeabiliza y permite la transpiración del muro. Este sistema de acabado tradicional correctamente ejecutado garantiza una mayor durabilidad del bahareque y cumple un rol fundamental en la conservación de la madera (Ilustración 52).

Ilustración 52: Propuesta del relleno en los muros de bahareque.



8.4.4. Curado y preservación de la madera

De acuerdo con el conocimiento tradicional, se recomienda cortar la madera en luna menguante, preferiblemente en el cuarto menguante, ya que en esta fase la savia está concentrada en las raíces, lo que reduce la humedad de la madera y mejora su durabilidad. Esta práctica disminuye el riesgo de ataques biológicos y deformaciones. El corte debe hacerse en la mañana y en días secos para favorecer un buen secado.

Antes de instalar la madera, esta se debe pasar por un proceso de secado natural bajo sombra durante al menos 30 días, como se detalla en la sección 10.7.3.1 de este informe. Posteriormente, se recomienda su tratamiento con aceite de linaza caliente, método tradicional con bajo impacto ambiental, que actúa como preservante natural y es compatible con las regulaciones actuales de sostenibilidad. Este tratamiento mejora la durabilidad de los elementos y reduce el ataque por hongos e insectos xilófagos. Las especificaciones para la preparación, protección, montaje y mantenimiento de la madera se presentan en el Anexo 3.

8.5. Propuesta estructural de la cubierta.

La propuesta de cubierta se fundamenta en el uso de materiales tradicionales, combinados con un diseño estructural que garantiza estabilidad y durabilidad, respetando a su vez las técnicas ancestrales propias de la comunidad Nasa.

El diseño de esta cubierta se desarrolló tomando como base los diseños arquitectónicos realizados por los estudiantes Juan Esteban Camacho y María Camila Ledezma, del componente de arquitectura. A partir de esa propuesta arquitectónica, se definieron los elementos estructurales necesarios para soporte de la cubierta.

En este apartado, se presentan una serie de ilustraciones que detallan el desarrollo de la propuesta estructural:

- En la Ilustración 53 se muestra el sistema de soleras superiores dispuestas sobre los muros de bahareque, para generar el diafragma de cubierta y darles apoyo a las cerchas principales de la cubierta.
- En la Ilustración 54-A se presenta una alzada en 3D de las cerchas de la cubierta, donde se observa la configuración de la estructura principal que soportará las tejas. En la Ilustración 54-B se presenta una cercha tipo. Las cerchas fueron estructuradas para

distribuir adecuadamente las cargas verticales y horizontales, optimizando el sistema estructural ante eventos sísmicos, tal y como se mencionó en la sección 10.7.9.

- En la Ilustración 55 se muestra el sistema de vigas secundarias (en color verde), que complementan la estructura principal de la cubierta. Sobre estas vigas y sobre las cerchas principales se apoyarán las correas (Ilustración 56), conformando la base sobre la que se instalarán las varas de soporte para las tejas.
- En la Ilustración 57 se indican las teleras en caña brava de 3 cm de diámetro, utilizados para sostener las tejas de barro.
- Finalmente, en la Ilustración 58 se muestra la cubierta terminada, conformada por el sistema tradicional de tejas de barro. Este material no solo preserva la estética tradicional de las viviendas del resguardo, sino que también ofrece propiedades térmicas favorables para el confort interior, además de su disponibilidad local.

Ilustración 53: *Propuesta de vigas soleras en la vivienda*

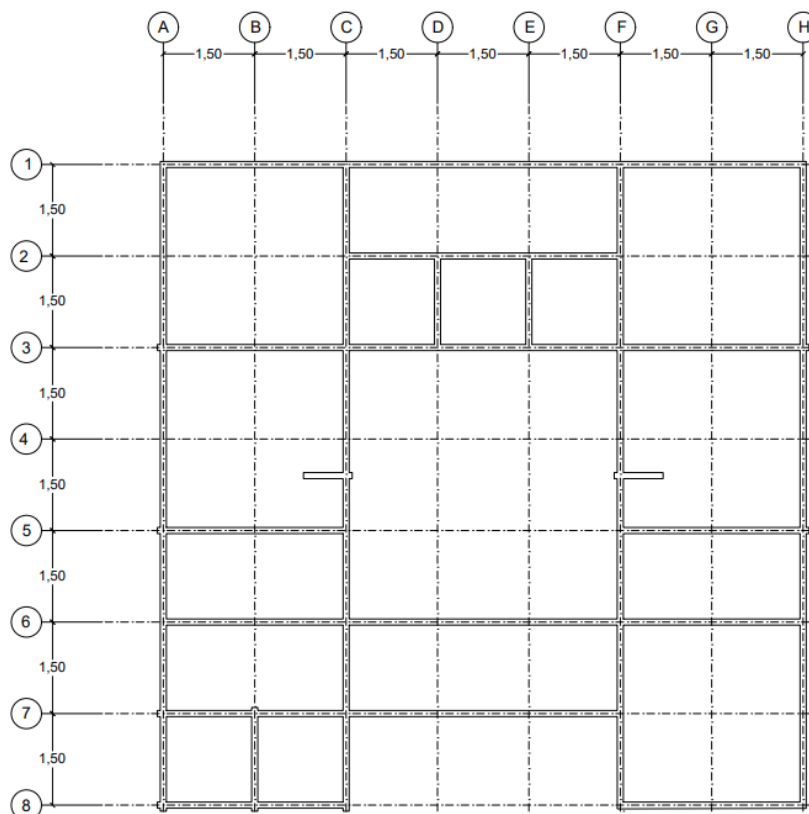
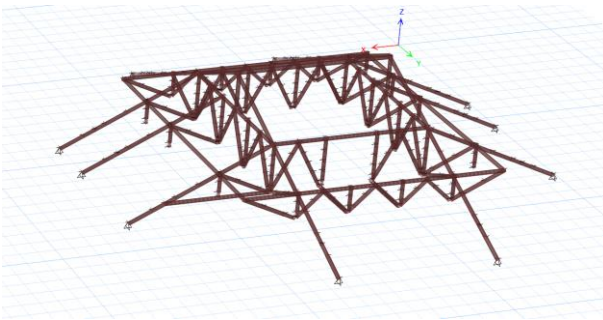


Ilustración 54: *Propuesta de cerchas para cubierta en vivienda VIC.*

A: Alzada en 3D de las cerchas de cubierta



B: Alzadas de cercha tipo

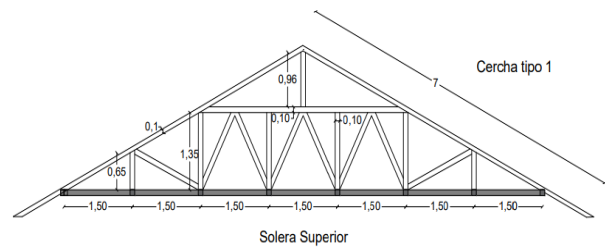


Ilustración 55: *Propuesta de vigas secundarias en la cubierta*

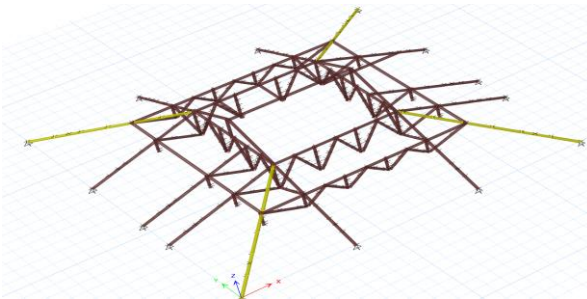


Ilustración 56: *Propuesta de disposición de las correas*

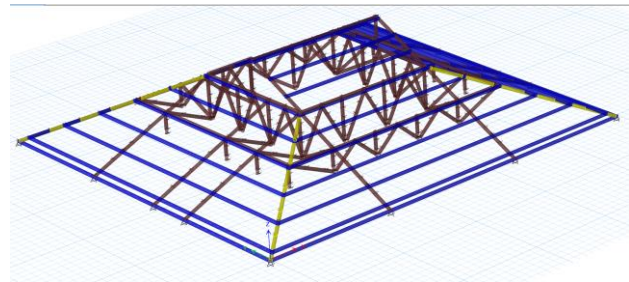


Ilustración 57: *Propuesta de diseño de las teleras en caña brava*

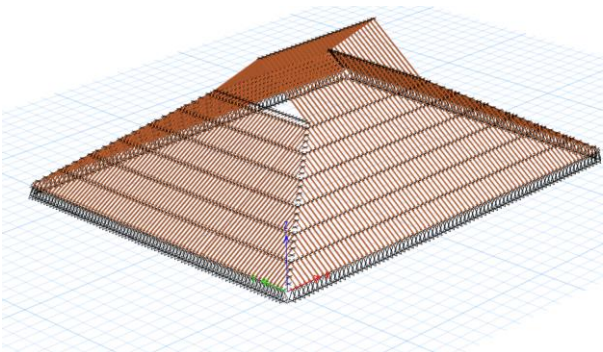
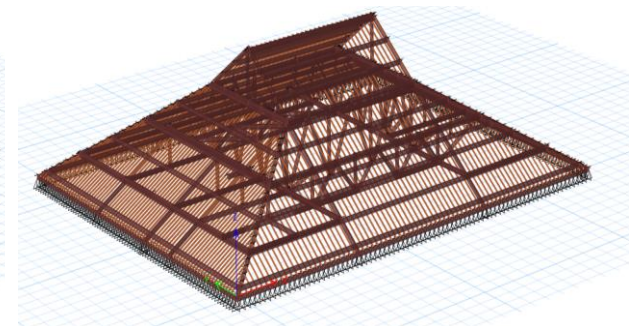


Ilustración 58: *Propuesta de cubierta terminada con teja tradicional de barro.*



9. Conclusiones

- La caracterización realizada en el Resguardo Indígena de Pitayó permitió confirmar que el bahareque, además de ser una manifestación cultural ancestral del pueblo Nasa, constituye un sistema estructural con propiedades adecuadas para su uso en zonas de alta amenaza sísmica, debido a su flexibilidad, bajo peso y adaptabilidad a los recursos del territorio.
- El bahareque, pese al mayor respaldo técnico del adobe, mostró mejor desempeño sísmico y mayor eficiencia térmica y ambiental, lo que refuerza su idoneidad para viviendas rurales sostenibles.
- La propuesta estructural integra el saber constructivo tradicional con principios sismo resistentes, respetando la autonomía del pueblo Nasa y sus procesos constructivos.
- El análisis técnico y cultural realizado sugiere que el bahareque es una solución viable para proyectos de vivienda de interés cultural (VIC), siempre que se optimicen sus elementos estructurales y se refuercen sus conexiones mediante soluciones técnicas adecuadas.
- La falta de estudios sistemáticos sobre las propiedades físicas y mecánicas del bahareque, en comparación con el adobe, destaca la importancia de continuar investigaciones en esta área para fortalecer la incorporación de técnicas tradicionales en normativas futuras.
- El trabajo expone la necesidad de reconocer y regular técnicas constructivas tradicionales dentro de las normativas de construcción vigentes en Colombia, proponiendo bases técnicas sólidas que podrían ser incorporadas en futuras actualizaciones de la NSR.
- El modelo estructural desarrollado, basado en el estudio del bahareque y de las condiciones territoriales, tiene potencial de ser replicado en otros resguardos indígenas o

zonas rurales de Colombia, adaptándose a diferentes condiciones ambientales y culturales.

- El trabajo y coordinación de un equipo interdisciplinario es fundamental en el desarrollo de soluciones de vivienda culturales funcionales y seguras según criterios normativos.
- La participación de la comunidad beneficiaria, de los líderes locales, mayores sabedores y autoridad ancestral, es importante durante el desarrollo de un proyecto de vivienda de interés cultural, considerando que la propuesta final debe ser reconocida como propia por la misma comunidad.
- Aunque la propuesta del sistema estructural se fundamenta en una amplia revisión bibliográfica y estudios realizados en otras regiones, es fundamental realizar ensayos y estudios específicos en la zona donde se planea la construcción. Esto permitirá validar la viabilidad técnica y adaptar las soluciones a las condiciones locales del suelo, clima y materiales disponibles. De esta manera, se garantizará la seguridad estructural, la durabilidad y la sostenibilidad de las viviendas, asegurando que las recomendaciones se ajusten de manera precisa a las particularidades del contexto regional.

10. Bibliografía

- Brito del Pino, J. F., & Santamaría Herrera, N. M. (2021). ELABORACIÓN DE ADOBE SOSTENIBLE. *Diseño, Arte y Arquitectura*, 59-79.
- Cristancho, K., Otálvaro, I. F., Ruiz, D. M., Barrera, N., Villalba Morales, J. D., Alvarado, Y. A., & Cundumí, O. (2024). Seismic Behavior of Bahareque Walls Under In-Plane Horizontal Loads. *buildings*.
- Dirección Nacional de Construcción. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *MANUAL DE CONSTRUCCIÓN-EDIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE ADOBE*. Perú.
- Moreno, J. (2020). *CONSTRUCCIONES EN BAHAREQUE-CONOCIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE CAPACIDADES*. bogotá: Suramericana S.A.
- Rodríguez Ruiz, J., Castañeda Hernández, C., Cruz López, R., & Neria Hernández, R. (2020). *DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOCONSTRUCTIVO A BASE TAPIAL Y BAHAREQUE DE BAJO COSTO E IMPACTO AMBIENTAL PARA UNA VIVIENDA*. México: Publicación anual, Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales.
- Sangma, S., & Tripura, D. (2020). Experimental study on shrinkage behaviour of earth walling materials with fibers and stabilizer for cob building. *Construction and Building Materials*, 256.
- Universidad de Costa Rica. (2021). Economía Local y Construcción en Bahareque: Estudio de Caso en Comunidades Rurales. *San José: Publicaciones UCR*.
- A, L. (2019). Desafíos y oportunidades para la conservación del patrimonio de bahareque en América Latina.
- Achenza, M., & Fenu, L. (2006). On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction. In *Materials and Structures* (pp. 21-27).
- Akinkulere, O., Jiang, C., Adewumi, O., Dele-Salawu, O. I., & Elensinnla, A. K. (2006). Engineering Properties of Cob as a Building Material. *Applied Sciences*, 1882-1885.
- Alassaad, F., Touati, K., Levacher, D., Mendili, Y. E., & Sebaibi, N. (2022). Improvement of cob thermal inertia by latent heat storage and its implication on energy consumption. In *Construction and Building Materials* (p. 329).
- Alhumayani, H., Gomaa, M., Soebarto, V., & Jabi, W. (2020). Environmental assessment of large-scale 3D printing in construction: A comparative study between cob and concrete,. *Cleaner Production*.
- Alqenaee, A., & Memari, A. (2022). Experimental study of 3D printable cob mixtures. *Construction and Building Materials*, 324.
- Álvarez Galindo, J. I., Martín Pérez, A., & García Casado, P. (1995). *HISTORIA DE LOS MORTEROS*. España: Revista PH-Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH) .
- Aponte, R. C. (2024). *Paredes en Bahareque como alternativa sostenible en la Ingeniería Moderna*.
- Arango, K. R. (2020). *Evaluación de normas y reglamentos de construcciones en tierra cruda, que tengan en cuenta el comportamiento de las estructuras ante un evento sísmico y estrategias para reducir su vulnerabilidad*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenierías.

- Arango, K. R. (2020). *Evaluación de normas y reglamentos de construcciones en tierra cruda, que tengan en cuenta el comportamiento de las estructuras ante un evento sísmico y estrategias para reducir su vulnerabilidad*. Bogotá: Escuela Colombiana de ingenierías.
- Arriaga martitegui, F., Iñiguez gonzález , G., Herrero, M. E., argüelles álvarez, R., & Fernández Cabo, J. L. (2011). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UNIONES EN ESTRUCTURAS DE MADERA*. Madrid: MADEIRA cONSTRUCCIÓN.
- ASI, A. C. (2002). *Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002*.
- Astudillo Cordero, J. P., & Vacacela Albuja, N. (2015). PROPUESTA DE PANELES ESTRUCTURALES MODULARES DE BAHAREQUE PREFABRICADO DE MADERA. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, 151-165.
- Astudillo Cordero, J. P., & Vacacela Albuja, N. (2015). PROPUESTA DE PANELES ESTRUCTURALES MODULARES DE BAHAREQUE PREFABRICADO DE MADERA. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, 151-165.
- Aymerich, F., Fenu, L., & Meloni, P. (s.f.). Effect of reinforcing wool fibres on fracture and energy absorption properties of an earthen material. En *Construction and Building Materials* (págs. 66-72).
- Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K. A., DiPietro, G., & Hameen, E. C. (2019). Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of natural vs conventional building materials: a case study on cob earthen material. *Building and Environment*.
- Braga , A. M., & Graça, A. T. (2011). *ANÁLISIS DE LAS CONSTRUCCIONES EN TIERRA CRUDA EN EL ALGARVE*. Faro, Portugal : Universidade do Algarve.
- Burbano Figueroa, A. J., & Ibarra Arias, J. (2023). *EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE POPAYÁN POR MÉTODOS SIMPLIFICADOS*. Popayán : UNICAUCA.
- Calero Cordeiro, R. (2007). *REPRODUCCIÓN EXPERIMENTAL DE MORTEROS DE CAL GRASA: EL OPUS CAEMENTICIUM ROMANO*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Prehistoria y Arqueología.
- Camacho Mesa, A. (2008). *CONSTRUCCIÓN EN PIEDRA SECA*. Córdoba, España: Egondi Artes Graficas, S.A.
- Carazas Aedo, W. (2002). *ADOBE-GUÍA DE CONSTRUCCIÓN PARASÍSMICA*. Francia: MISEREOR.
- Carazas Aedo, W., & Rivero Olmos, A. (2002). *BAHAREQUE-GUÍA DE CONSTRUCCIÓN PARASÍSMICA*. Villefontaine, Francia: CRATerre.
- Cardoso Mora, P. A. (2015). *MANUAL PARA LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA EN ADOBE Y BAHAREQUE*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Casanova Echavez, S. A. (2011). *VIVIENDA ECONÓMICA CONSTRUIDA CON BAHAREQUE EN BOSA*. Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Consejo Nacional de Investigación de Canadá. (2004). *SIDEWALK DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE*. Canadá: Federation of Canadian Municipalities and National Research Council .
- Coventry, K. (2004). *Specification Development for the Use of Devon Cob in Earthen Construction*.

- DANE. (2018). *Población Indígena de Colombia, resultados del censo nacional de población y vivienda 2018*.
- De Villanueva, L., & Gracia Santos, A. (1986). *MANUAL GENERAL*. Madrid: Paraninfo.
- Dente, & Donahue. (2019). : *Construcción con adobe: Propiedades, resistencia y aplicaciones estructurales*. Madrid, España: Editorial Arquitectura Sustentable.
- Dirección Nacional de Construcción -Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *MANUAL DE CONSTRUCCIÓN-EDIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE ADOBE*. Perú.
- Domínguez Lorenzo, M. (2015). *ESTUDIO DE UNIONES EN ESTRUCTURAS DE MADERA CON USO DE ELEMENTOS CLAVIJA*. Zamora, España: Universidad de Salamanca.
- EarthEnable. (2018). *EarthEnable - Rwanda*. África.
- Flores, J. (2005). *El bahareque: una técnica constructiva*. Universidad Politécnica de valencia.
- García, F., López, M., & Ramírez, J. (2019). Evaluación del bareque reforzado con fibras naturales. . *Revista de Ingeniería Civil*, 45-60.
- García, L. R. (2019). Influencia del refuerzo con fibras naturales en la resistencia del bahareque. *Revista de Materiales y Construcción Sostenible*, 78-92.
- García, R., & Rodríguez, A. (2018). *Materiales de Construcción Sostenible: Guía Práctica. Editorial Sostenibilidad Urbana*.
- Gomaa, M., Jabi, W., Veliz Reyes , A., & Soebarto, V. (2021). 3D printing system for earth-based construction: Case study of cob. *Automation in Construction*.
- Gomaa, M., Vaculik, J., Soebarto, V., Griffith, M., & Jabi, W. (2021). Feasibility of 3DP cob walls under compression loads in low-rise construction. *Construction and Building Materials*, 301.
- González, A. L. (2015). LAS ETNOTECNIAS Y EL USO DE LA TIERRA. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (págs. 492-501). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- González, E. (2020). El bahareque como patrimonio arquitectónico: reflexiones y propuestas para su conservación. *Editorial Universitari*.
- González, R., Pérez, L., & Herrera, P. (2017). Comportamiento sísmico de muros de bareque reforzado. *Ingeniería y Construcción*. 75-90.
- Goodhew, S., Boutouil, M., Streiff, F., Guern, M. L., Carfrae, J., & Fox, M. (2021). Improving the thermal performance of earthen walls to satisfy current building regulations. *Energy and Buildings*.
- Guerrero, L. F., & Camacho, O. (2015). *RECUBRIMIENTOS DE TIERRA COMPACTADA PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO DE MÉXICO Y EL SALVADOR* . Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Gutiérrez, S. A., Calambás, C., Campo, A., Escobar, L. A., Guesaquillo, L. A., & Ivito, I. (2013). *Memorias, conocimientos y cambios en el diseño y construcción de la nasa yat, Cauca - Colombia*. Popayán.
- Hamard, E., Lemerrier, B., Cazacliu, B., Razakamanantsoa, A., & Morel, J.-C. (2018). A new methodology to identify and quantify material resource at a large scale for earth construction – Application to cob in Brittan. En *Construction and Building Materials* (págs. 485-497).

- Herrera, D., López, F., & Martínez, J. (2022). Evaluación estructural de entramados en bahareque: Comparación entre caña y madera. *Construcción y Tecnología Sostenible*, 12-30.
- Historia, I. N. (2020). *Técnicas tradicionales de construcción en México: El bahareque y su relevancia en la arquitectura vernácula*. Ciudad de México.
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth Construction: a Comprehensive Guide*.
- IDEAM. (2010). *Metodología para la evaluación de la susceptibilidad y/o amenaza por movimientos en masa*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto de Investigación en Construcción y Energía . (2020). Sostenibilidad en la construcción: Enfoques y Prespectivas. *Editorial Ecológica*.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia. (2020). *Técnicas tradicionales de construcción en México: El bahareque y su relevancia en la arquitectura vernácula*. Ciudad de México.
- Jara Avila, D. F., Rodas Aviles, T. E., & Caldas Freire, V. M. (2015). LAS INNOVACIONES TECNOLÓGICAS COMO RESPUESTA A LAS DEBILIDADES Y APROVECHAMIENTO DE POTENCIALIDADES EN EL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL DEL ADOBE . *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (págs. 468-478). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Jové Sandoval, F., Martín Pedruelo, I., & Ordóñez Castañón, D. (2015). *TRABAJOS DE DOCUMENTACIÓN DE LA CASA-HOSPITAL DE LA VERA CRUZ DE SAN JUAN, VILLALÓN DE CAMPOS*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Keefe, L. (2005). *Earth Building- Methods and materials, repair and conservation*. Taylor & Francis.
- Lara, L., & Bustamante, R. (2022). *CARACTERIZACIÓN Y PATOLOGÍA DE LOS MUROS DE TIERRA DE LAS CONSTRUCCIONES ANDINAS ECUATORIANAS*. Ecuador: Revista politécnica.
- López Muñoz, L. F. (2015). *NORMA ANDINA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CASAS DE UNO Y DOS PISOS EN BAHAREQUE ENCEMENTADO*. Quito: INBAR.
- López, F., Herrera, D., & Martínez, J. (2021). Ensayos estructurales en viviendas de bahareque: Impacto de aditivos en la resistencia a la flexión. *ingeniería Civil y Materiales*, 32-50.
- López, M., & Pérez, L. (2018). Simulación en mesa vibratoria de estructuras de bareque. *Construcción Sostenible*, 55-72.
- López, M., Ramírez, J., & García, F. (2021). Impacto de los aditivos naturales en la resistencia del bareque. *Revista de Materiales de construccion*, 33-50.
- López, R. F. (2018). Evaluación de la resistencia a la compresión en estructuras de bahareque con y sin estabilizantes naturales. *Revista de Ingeniería y Materiales Sostenibles*, 45-60.
- Maca, L. V., & Salas, F. H. (2021). *Nasa Yat. Aproximaciones a la vivienda indígena nasa en Jambaló, cauca*. Cali: Universidad del Valle.
- Martínez, S., Rojas, C., & Herrera, P. (2019). Influencia de los agregados en la densidad y resistencia del bareque. 88-102.
- Martínez, S., Rojas, C., & Herrera, P. (2022). Influencia de los agregados en la densidad y resistencia del bareque. *Ingeniería y Arquitectura*, 88-102.
- Medero, G., Forster, A., Morton, A. T., Kennedy, J., & Buckman, J. (2009). Cob construction in Scotland: case study old school house at Cottown,. *Proceeding of the 1st Mediterranean Conference on Eart Architecture, UNESCO World Heritage Centre*. Cagliari, Italy.

- Miccoli, L., Müller, U., & Fontana, P. (2014). Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. En *Construction and Building Materials* (págs. 327-339).
- Miccoli, L., Oliveira, D. V., Silva, R. A., Müller, U., & Schueremans, L. (2014). Static behavior of cob: Experimental testing and finite-element modeling. *Materials and Structures*.
- Miccoli, L., Oliveira, D. V., Silva, R. A., Müller, U., & Schueremans, L. (2019). Static behaviour of rammed earth: experimental testing and finite element modelling. *Materials and Structures*.
- Minke, G. (2006). Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture Fourth and Revised Edition. *Birkhäuser*.
- Mora, I. M. (2 de Febrero de 2002). Bareque, 60 Más Seguro. *El Tiempo*.
- Olivares. (2017). Una técnica constructiva con identidad cultural.
- Orozco, M., Paredes, M., & Tocancipá, J. (2013). La nasa yat: Territorio y cosmovisión. Una aproximación interdisciplinaria problema del cambio y la adaptación en los nasa. *Boletín de Antropología. Universidad de Antioquia*, 244-271.
- Oshiro, J., & Pozzi Escot, D. (2015). CONSERVACIÓN DEL EDIFICIO DE TAURICHUMPI – SANTUARIO ARQUEOLÓGICO DE PACHACAMAC. PERÚ . Cuenca, Ecuador: universidad de Cuenca.
- Peña, E. (2001). MANUAL POPULAR PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA VIVIENDA DE ADOBE SISMO-RESISTENTE. El Salvador: Impronta La Tarjeta.
- Peraza Sánchez, J. E. (1995). casas de madera - Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares. Madrid: AITIM.
- Pérez, L., Torres, G., & Ramírez, J. (2020). Análisis de densidad y porosidad en el bareque estabilizado. *Revista de Ingeniería Estructural*, 40-55.
- Pérez, M. (2010). Bahareque: una alternativa sostenible en la construcción. *Internacional de Sostenibilidad Ambiental*.
- Pérez, M., Gutiérrez, R., & Salazar, D. (2020). Efecto de la proporción tierra-arena en la resistencia mecánica del bahareque. *Ingeniería y Desarrollo Sostenible*, 32-47.
- Pineda Uribe, J. C. (2017). CARACTERÍSTICAS Y PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DEL BAHAREQUE TRADICIONAL EN LA VEREDA SAN PEDRO DEL MUNICIPIO DE ANSERMA CALDAS. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- PNUD/UNESCO. (1983). EL ADOBE-SIMPOSIO INTERNACIONAL Y CURSO - TALLER SOBRE CONSERVACION DEL ADOBE. Lima, Perú: ICCROM.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (. (2020). *Informe sobre Sostenibilidad en la Construcción*. PNUMA Press.
- Pullen, Q. M., & Scholz, T. V. (2011). Index and Engineering Properties of Oregon Cob. *Green Building*, 88-106.
- Quagliarini, E., Stazi, A., Pasqualini, E., & Fratolocchi, E. (2010). Cob Construction in Italy: Some Lessons from the Past. *sustainability*, 3291-3308.
- Quizhpe Vacacela, P. F. (2016). PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO BAHAREQUE EN GALLUCHAQUI, PARA LA VIVIENDA TRADICIONAL DE LA CULTURA SARAGURO. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Ramírez, C., & Torres, M. (2021). Influencia del curado y la compactación en la resistencia mecánica del bahareque. *Ingeniería y Ciencia de Materiales*, 45-60.

- Ramírez, J., & Torres, G. (2021). Efectos del curado en la resistencia del bareque. *Ingeniería de Materiales*, 120-135.
- Rivera Salcedo, H., Valderrama Gutiérrez, O. M., Daza Barrera, Á. A., & Plazas Jaimes, G. S. (2021). *Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia)*. Bogotá: Revista de Arquitectura.
- Rizza, M., & Böttger, H. (2015). Effect of straw length and quantity on mechanical properties of cob. *Proceedings of the 16th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies*. Canada, Winnipeg.
- Rojas, C., & Herrera, P. (2021). Mejoramiento del bareque con aditivos naturales. *Materiales Avanzados*. 90-105.
- Sangma, S., & Tripura, D. D. (2021). Characteristic Properties of Unstabilized Stabilized and Fibre-Reinforced Cob Blocks. In *Structural Engineering International* (pp. 76-84).
- Saxton. (1995). Performance of cob as a building material. *Inst of Structural Engineers*, 111-115.
- Sevillanos Blanco, G. I., & Davila Miguel, A. A. (2023). *PROPUESTA DE PRESERVANTE NATURAL EN BASE DE ACITE DE LINAZA PARA LA MADERA EN CONSTRUCCIÓN*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.
- Tchiotso, J., Issaadi, N., Poullain, P., Bonnet, S., & Belarbi, R. (2022). Assessment of the natural variability of cob buildings hygric and thermal properties at material scale: Influence of plants add-ons. En *Construction and Building Materials* (pág. art 127922).
- Torres, A., & Ramírez, C. (2020). : Influencia de los refuerzos estructurales en la resistencia a la flexión del bahareque. *Materiales y Construcción Sostenible*, 55-70.
- Torres, G., & Ramírez, J. (2020). Evaluación de resistencia a flexión en estructuras de bareque. *Revista de Construcción y Materiales*, 75-89.
- Torres, G., Pérez, L., & García, F. (2023). Compactación mecánica y distribución del material en el bareque. *Ingeniería y Construcción*, 112-128.
- Torres, G., Pérez, L., & García, F. (2023). Compactación mecánica y distribución del material en el bareque. *ingeniería y Construcción*, 112-118.
- UDELAR. (2019). *ESTRUCTURAS DE MADERA-TIPOS DE UNIONES*. Montevideo, Uruguay.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2018). Impacto Ambiental de la Construcción en Bahareque. : *Editorial Científica UNAM*.
- Vinceslas, T., Hamard, E., Razakamanantsoa, A., & Bendahmane, F. (2020). Further development of a laboratory procedure to assess the mechanical performance of cob. In *Environmental Geotechnics* (pp. 200-207).
- Weismann, A., & Bryce, K. (2006). Building with cob : a step-by-step guide. *Green Books*.
- Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D. (2007). ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACIÓN Y REFUERZO DE CASAS EN ADOBE Y TAPIA PISADA. *Apuntes*, 286-303.
- Zeghari, K., Ayoub, G., Hasna, L., Michael, M., Mohamed, B., Goodhew, S., & Streif, F. (2021). *Novel Dual Walling Cob Building: Dynamic Thermal Performance*. Energies.

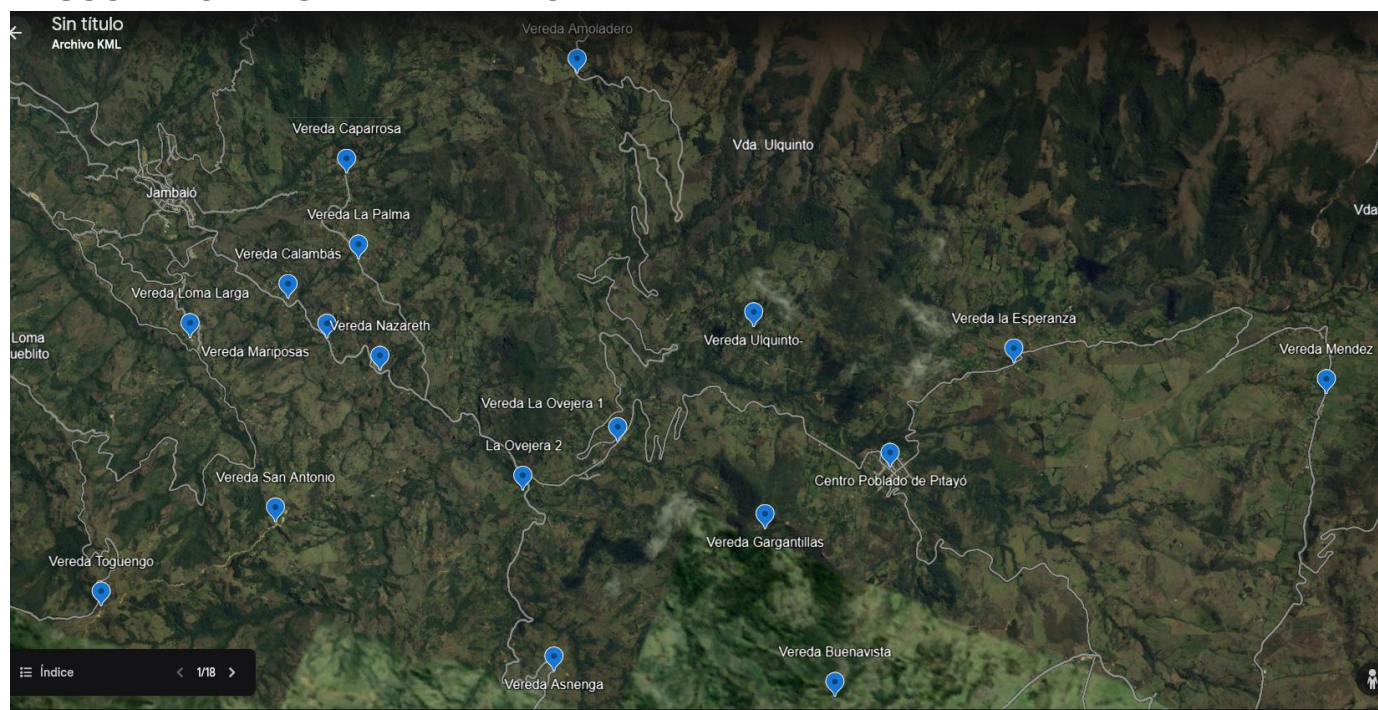
ANEXO

1

Secuencia de actividades, para las rutas de trabajo

Para dar inicio a las rutas de trabajo, se llevó a cabo una exhaustiva caracterización de la zona, lo que implicó conocer las veredas que conforman el resguardo y establecer un diálogo activo con la comunidad. Durante este proceso, se contó con la colaboración de guías locales, docentes y otros miembros estudiantiles quienes proporcionaron el acompañamiento necesario y compartieron sus conocimientos sobre el territorio. Una vez recopilada y analizada esta información, se procedió a generar las rutas de trabajo, las cuales se presentan a continuación, diseñadas para optimizar la recolección de datos en cada sector del resguardo.

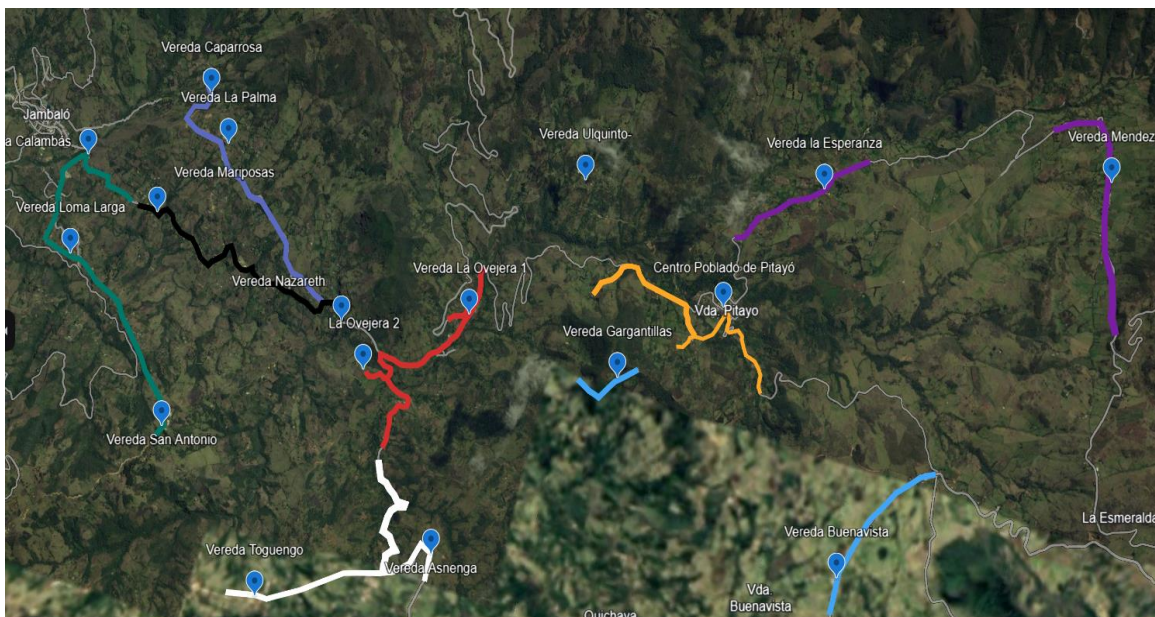
RESGUARDO INDÍGENA DE PITAYÓ



18 veredas conforman el resguardo:

- | | | |
|------------------|-----------------|------------------|
| 1. Pitayó centro | 7. La Ovejera 2 | 13. Mariposas |
| 2. La Esperanza | 8. Ulquinto | 14. Calambás |
| 3. Méndez | 9. Amoladero | 15. San Antonio |
| 4. Buenavista | 10. Nazareth | 16. Toguengo |
| 5. Asnenga | 11. Caparrosa | 17. Gargantillas |
| 6. La Ovejera 1 | 12. La Palma | 18. Loma Larga |

RUTAS DE TRABAJO.

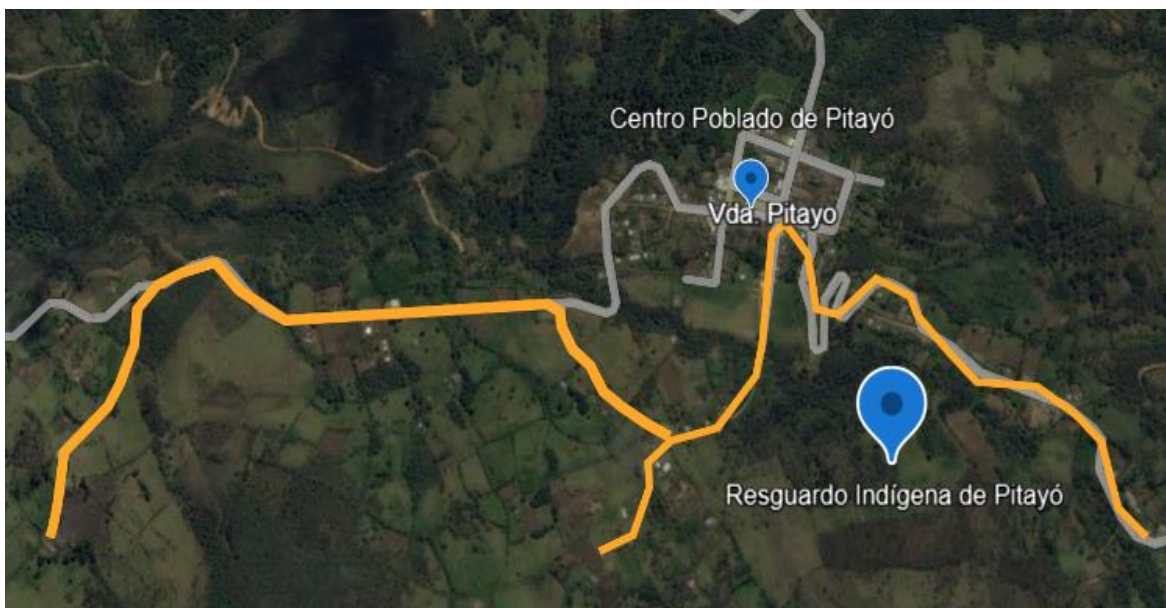


1. RUTA 1: Centro poblado (Belén, Pinos verdes y Piedra del Santo)

Duración aproximada de la ruta: 3 horas (Aproximadamente 3 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 3 profesores
- No requiere guía local
- No requiere transporte

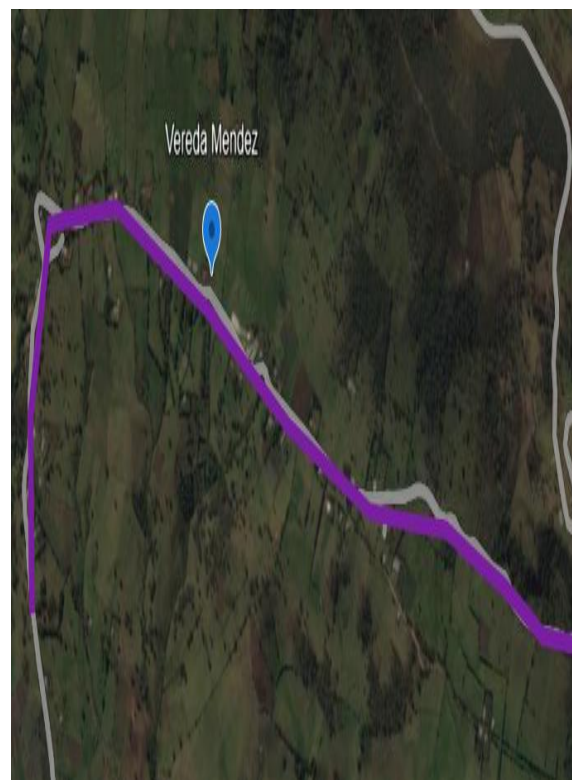
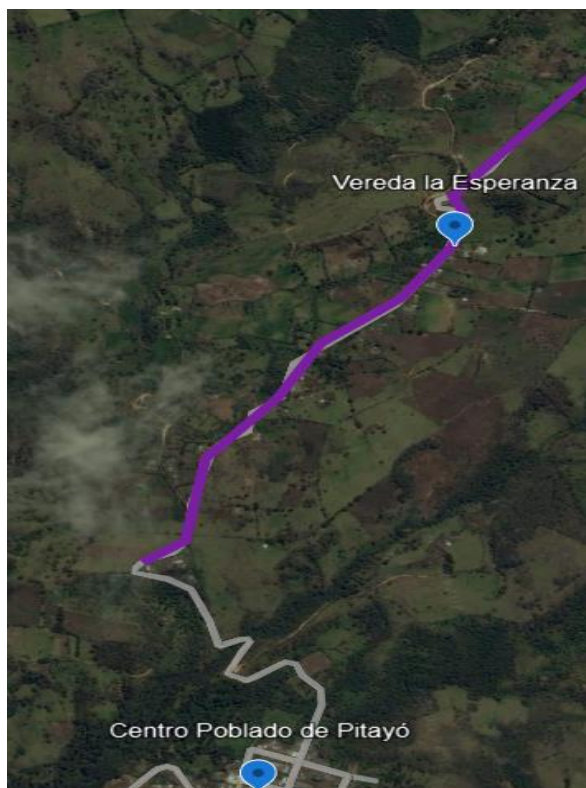


2. RUTA 3: La Esperanza + Méndez

Duración aproximada de la ruta: 3 horas (Aproximadamente 3 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 3 profesores
- Al menos un guía local por cada vereda
- Requiere transporte



3. RUTA 3: Buena vista + Gargantillas

Duración aproximada de la ruta: 3 horas (Aproximadamente 2.3 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 2 estudiantes
- Al menos un guía local por cada vereda
- Requiere transporte

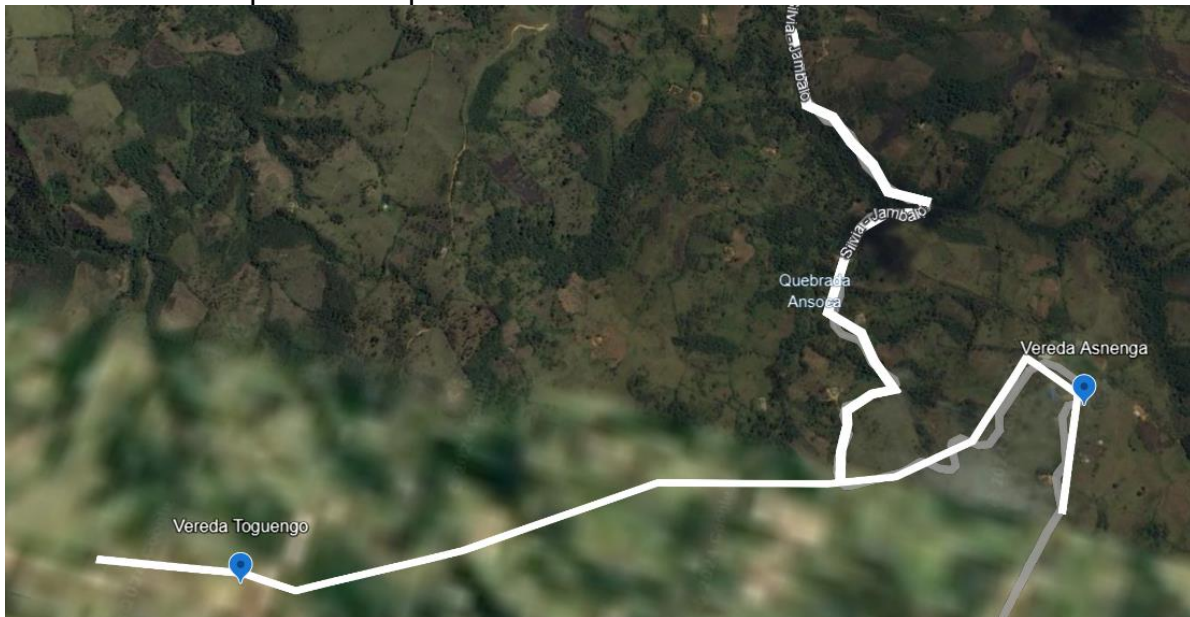


4. RUTA 4: Asnenga + Toguengo

Duración aproximada de la ruta: 4 horas (Aproximadamente 3.6 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 2 estudiantes
- Al menos un guía local por cada vereda
- Requiere transporte



5. RUTA 5: Ovejera 1 + Ovejera 2

Duración aproximada de la ruta: 3 horas (Aproximadamente 3.2 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 2 estudiantes
- Al menos un guía local por cada vereda
- Requiere transporte

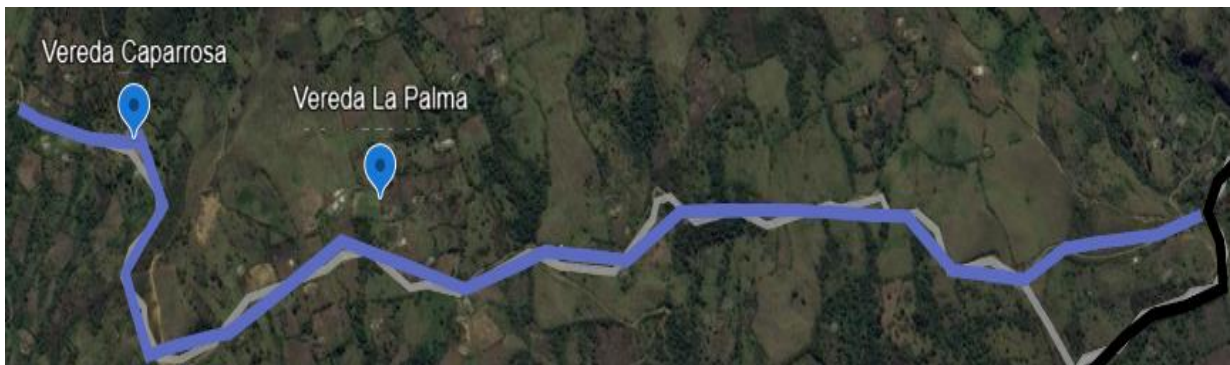


6. RUTA 6: Caparrosa + La Palma

Duración aproximada de la ruta: 3 horas (Aproximadamente 2.9 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 2 estudiantes
- Al menos un guía local por cada vereda
- Requiere transporte



7. RUTA 7: Nazareth + Mariposas

Duración aproximada de la ruta: 3 horas (Aproximadamente 3.0 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 2 estudiantes
- Al menos un guía local por cada vereda
- Requiere transporte

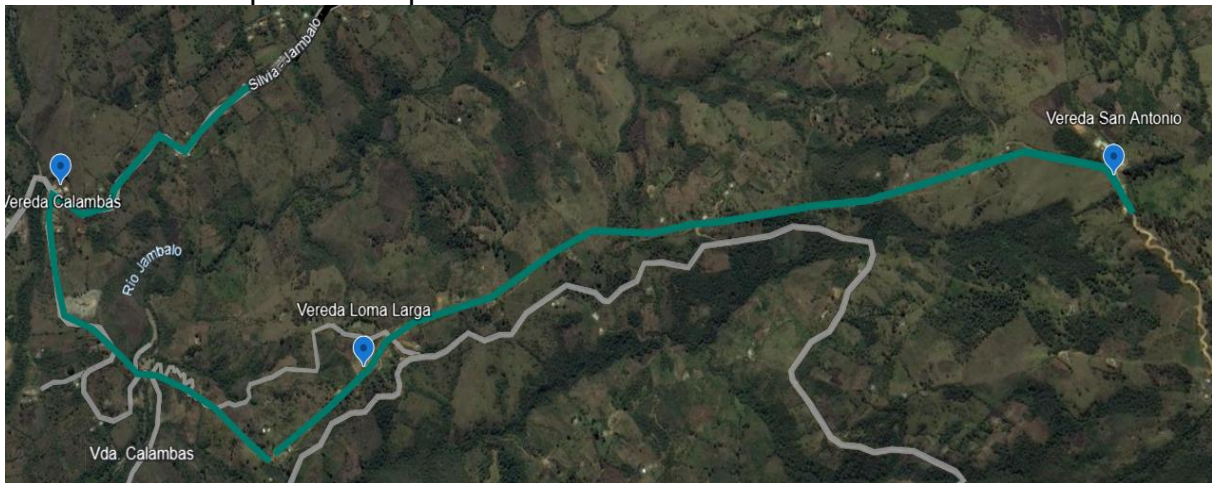


8. RUTA 8: Calambás + San Antonio + Loma larga

Duración aproximada de la ruta: 4 horas (Aproximadamente 3.5 kilómetros de recorrido)

Equipo de trabajo:

- 2 estudiantes
- Al menos un guía local por cada vereda
- Requiere transporte

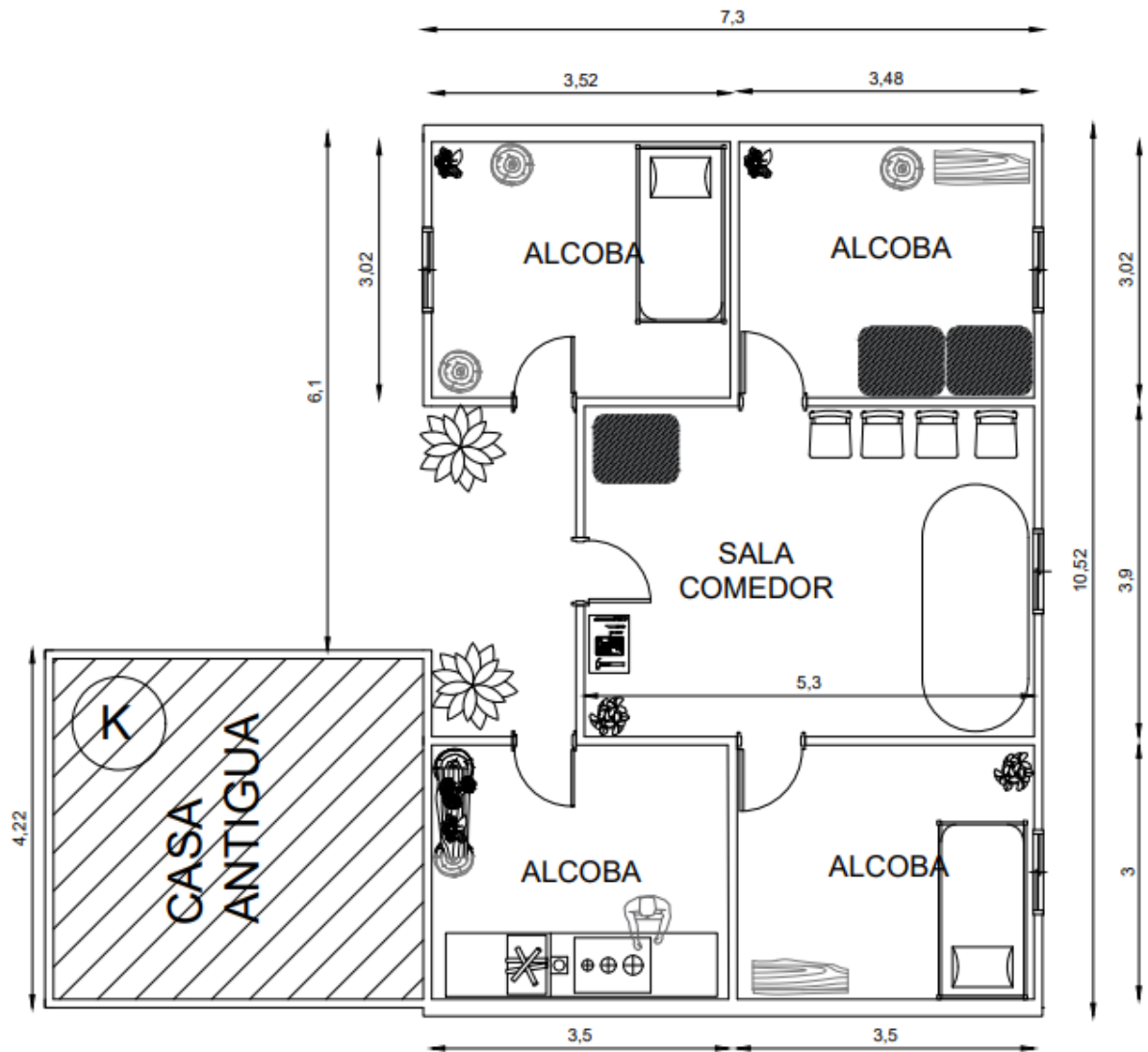


ANEXO

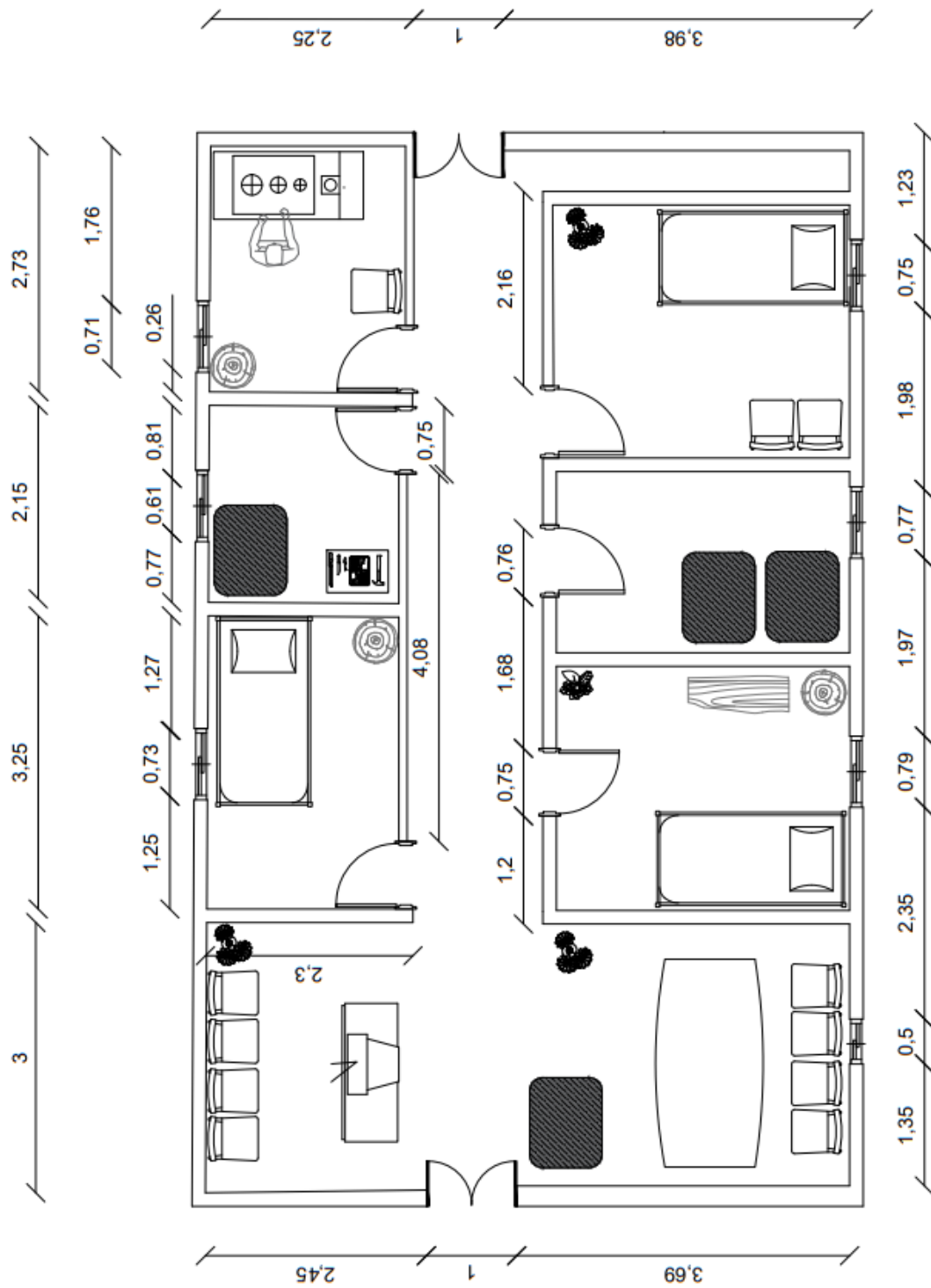
2

Planos del levantamiento de vivienda tradicionales.

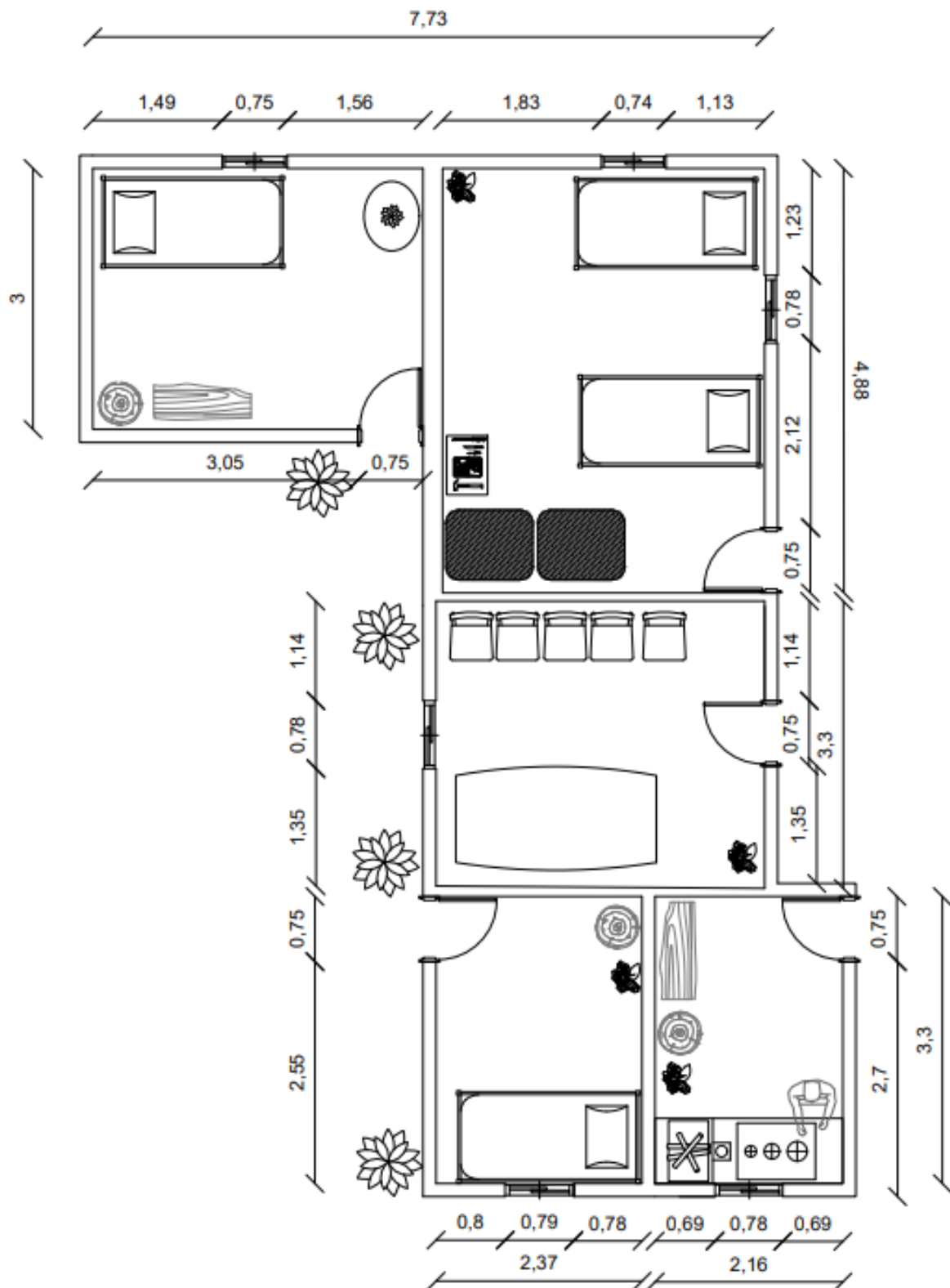
Levantamiento 1



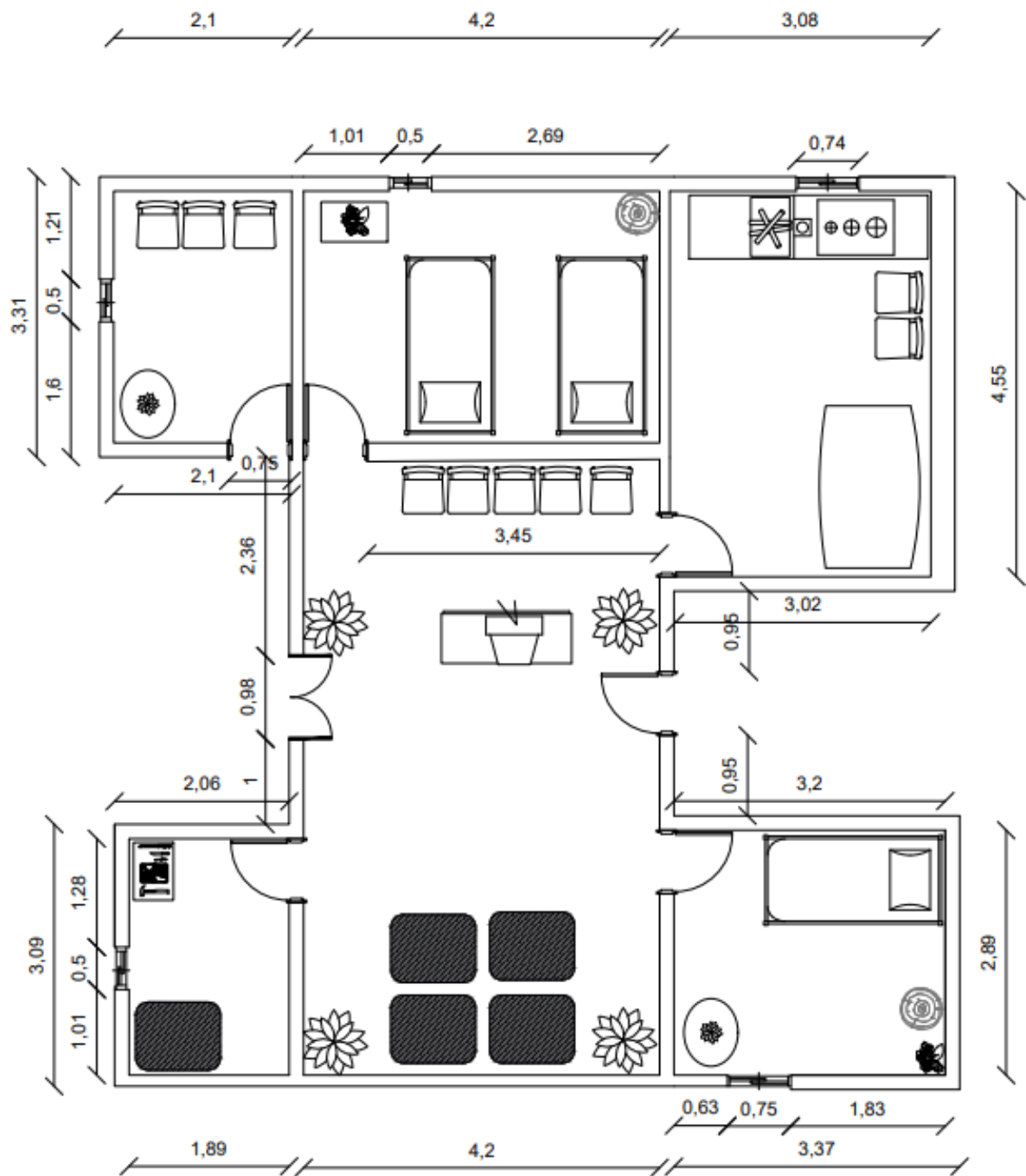
Levantamiento 2



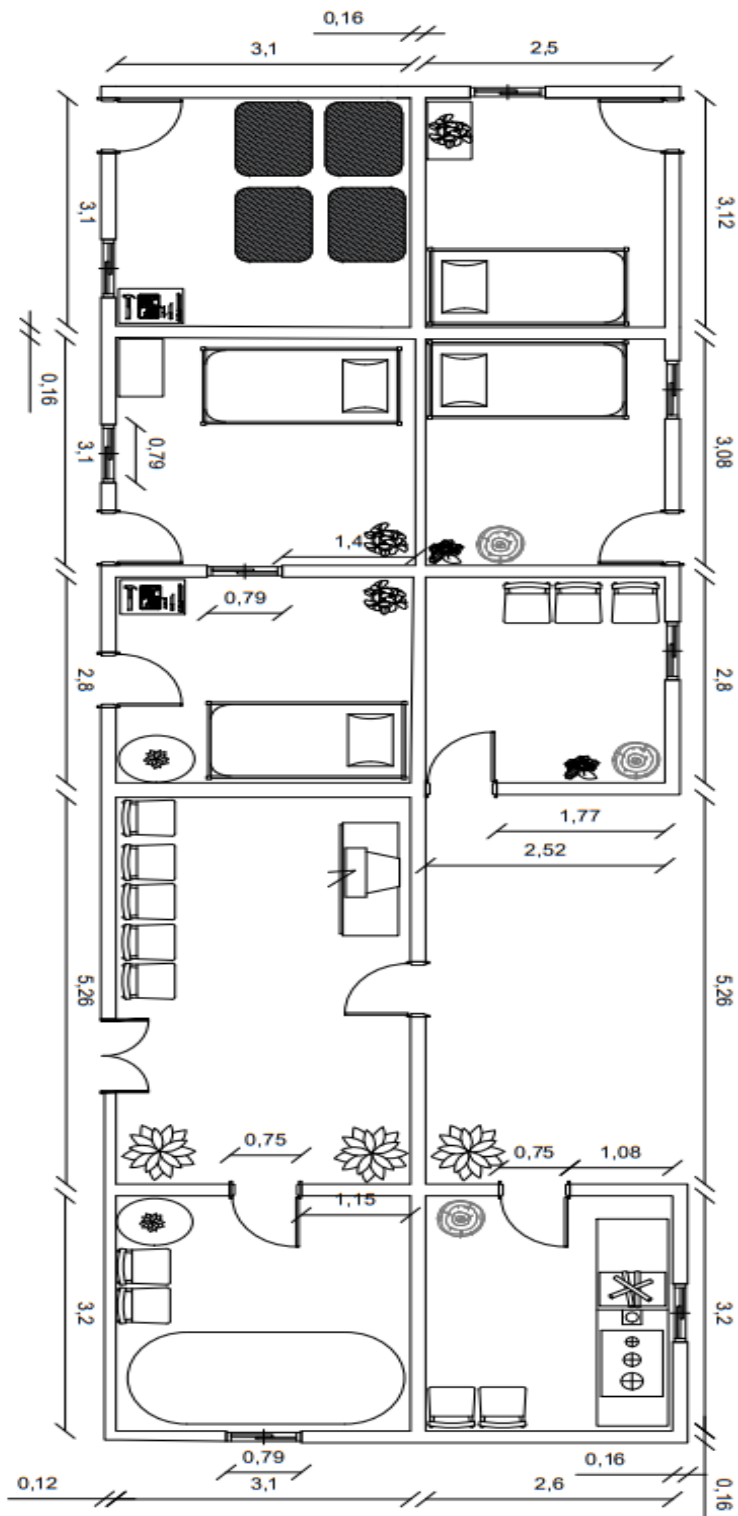
Levantamiento 3



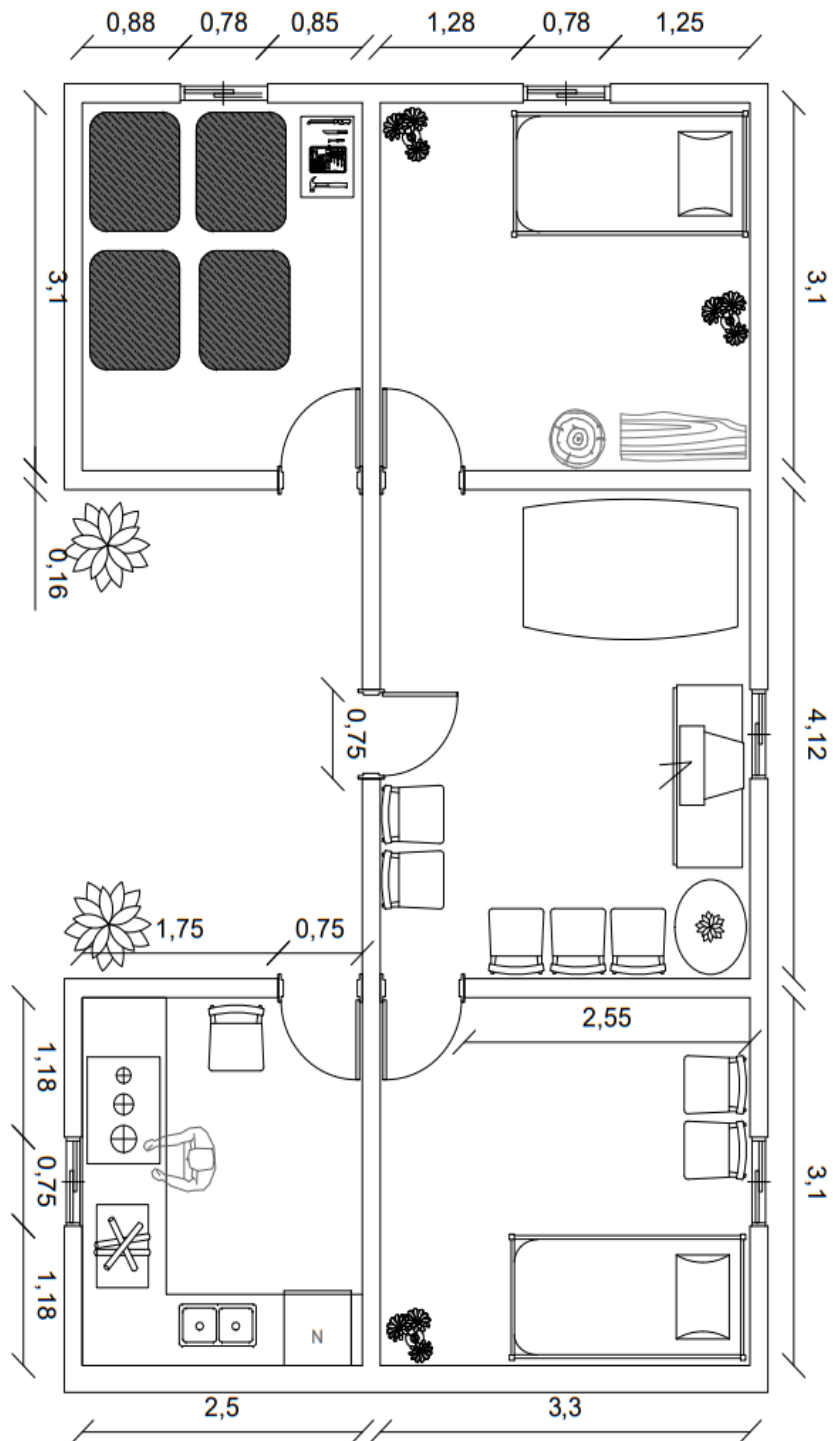
Levantamiento 4



Levantamiento 5



Levantamiento 6

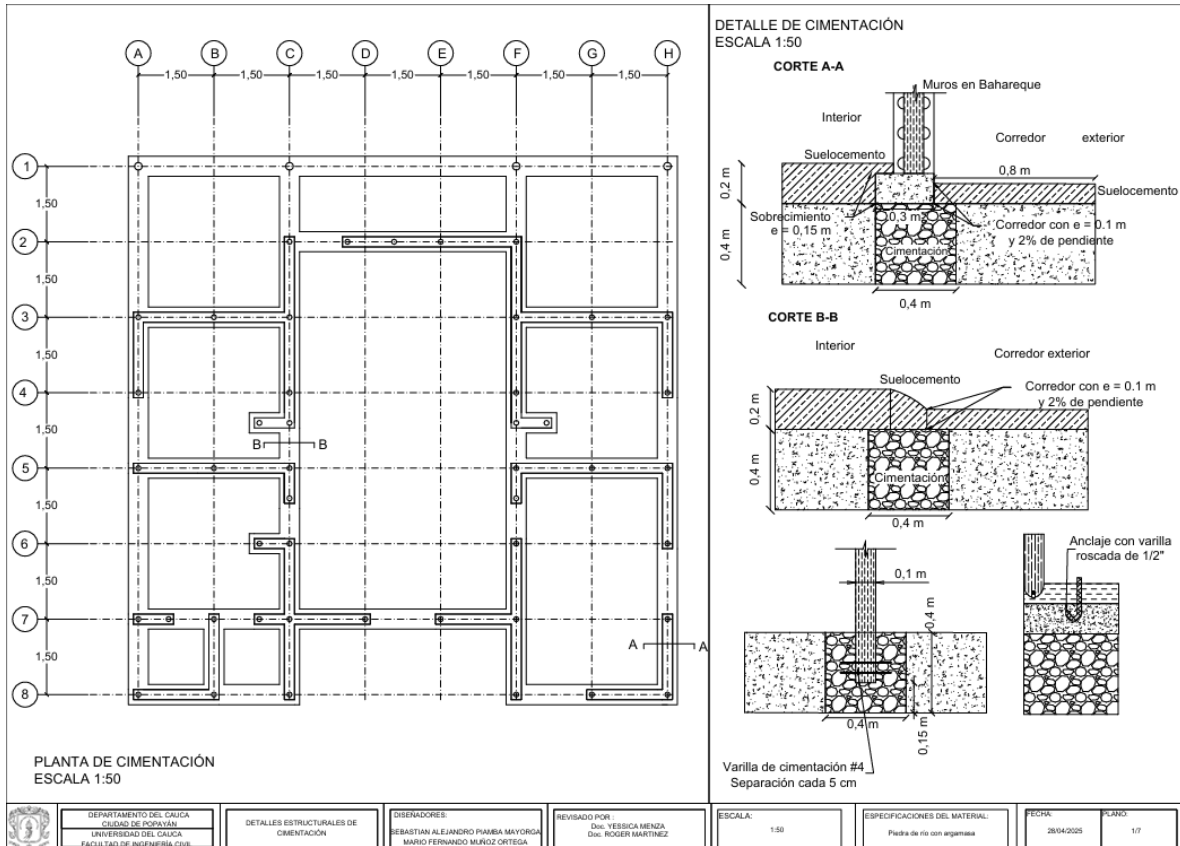


ANEXO

3

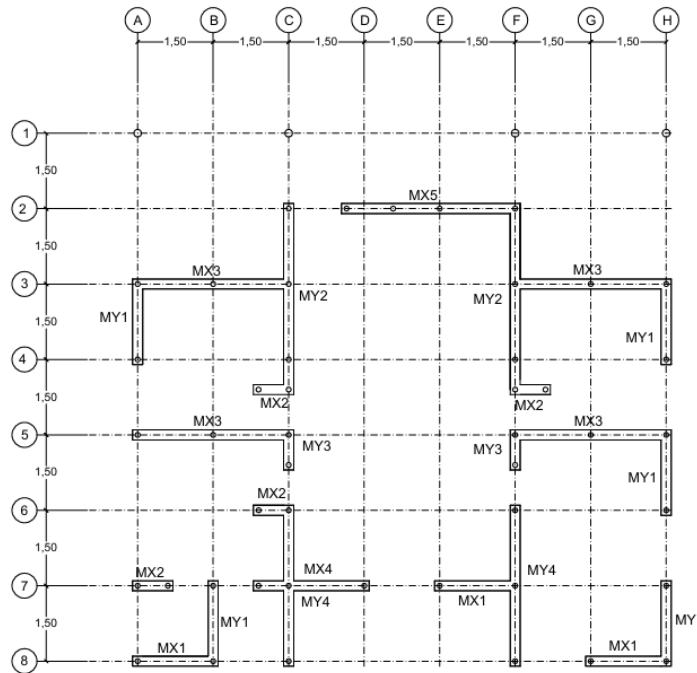
Planos de propuesta estructural.

Cimentaciones

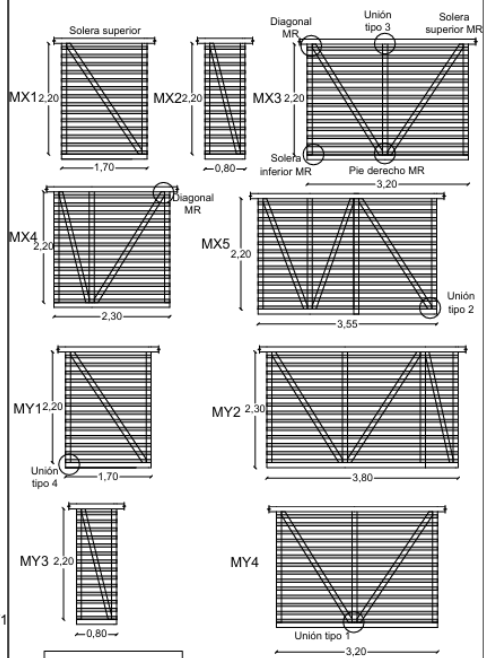


Muros

PLANTA DE MUROS ESTRUCTURALES EN BAHAREQUE
ESCALA 1:50



ALZADO DE MUROS EN BAHAREQUE
E: 1:25



Observación.
Ver los detalles de tipos
de unión en el plano N°3



DEPARTAMENTO DEL CAUCA
CIUDAD DE POPAYÁN
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DETALLES ESTRUCTURALES DE
CIMENTACIÓN

DISEÑADORES:
SEBASTIAN ALEJANDRO PIAMBA MAYORDA
MARIO FERNANDO MUÑOZ ORTIGA

REVISADO POR:
Ing. YESSICA MENZA

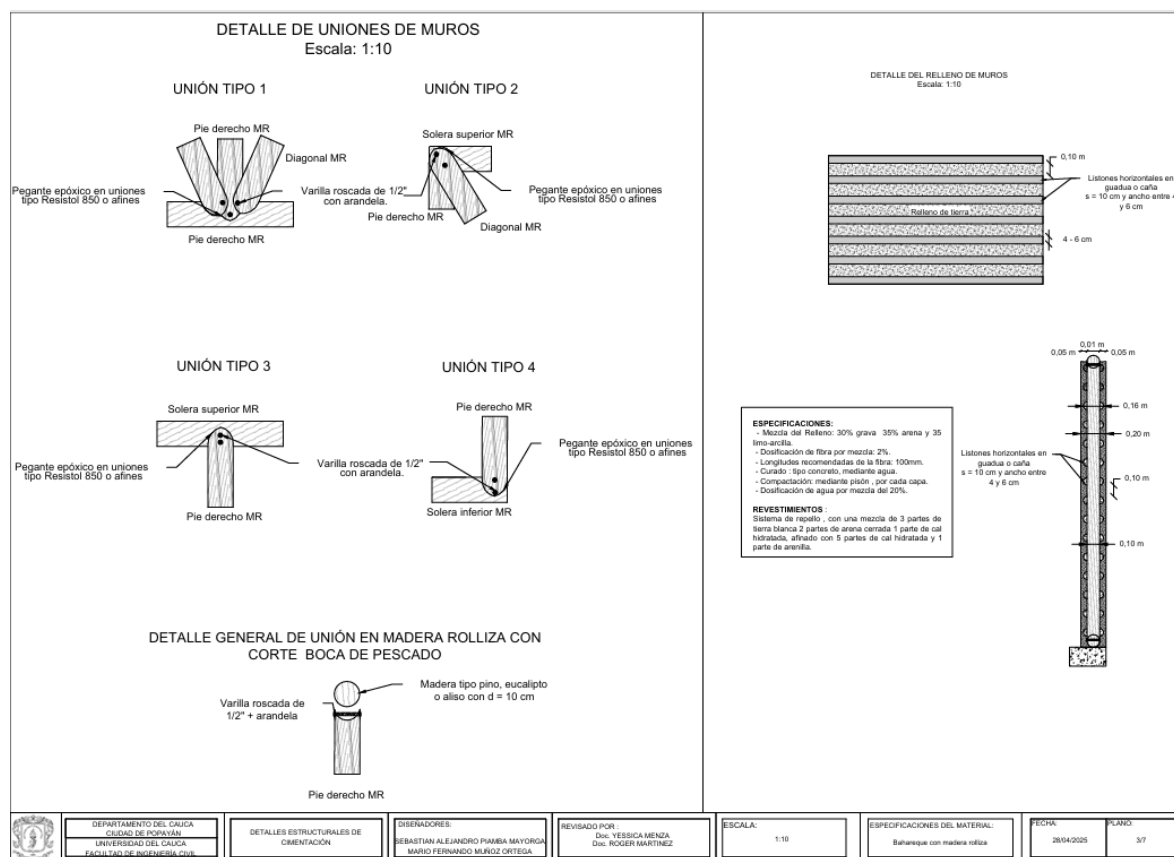
ESCALA:
Planta de Muros E - 1:50
Alzado de Muros E - 1:25

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL:
Bahareque con madera robleza

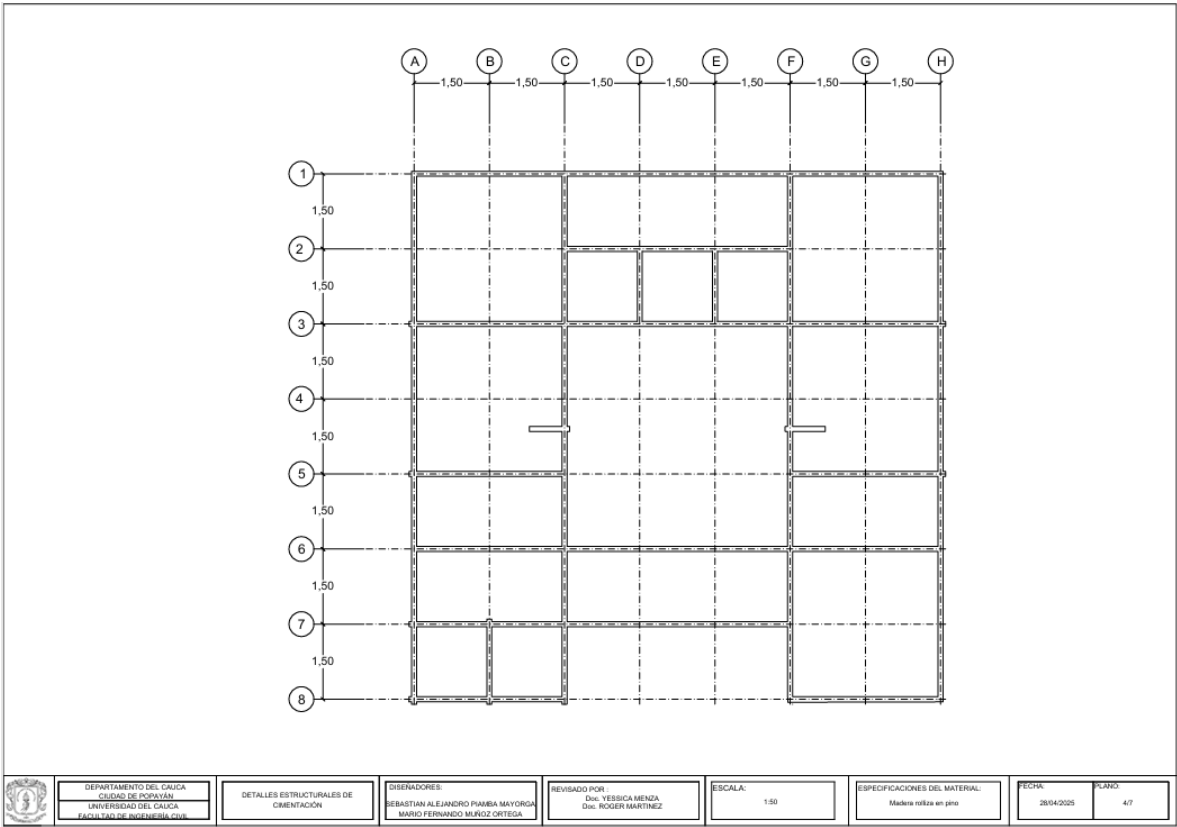
FECHA:
28/04/2025

PLANO:
2/7

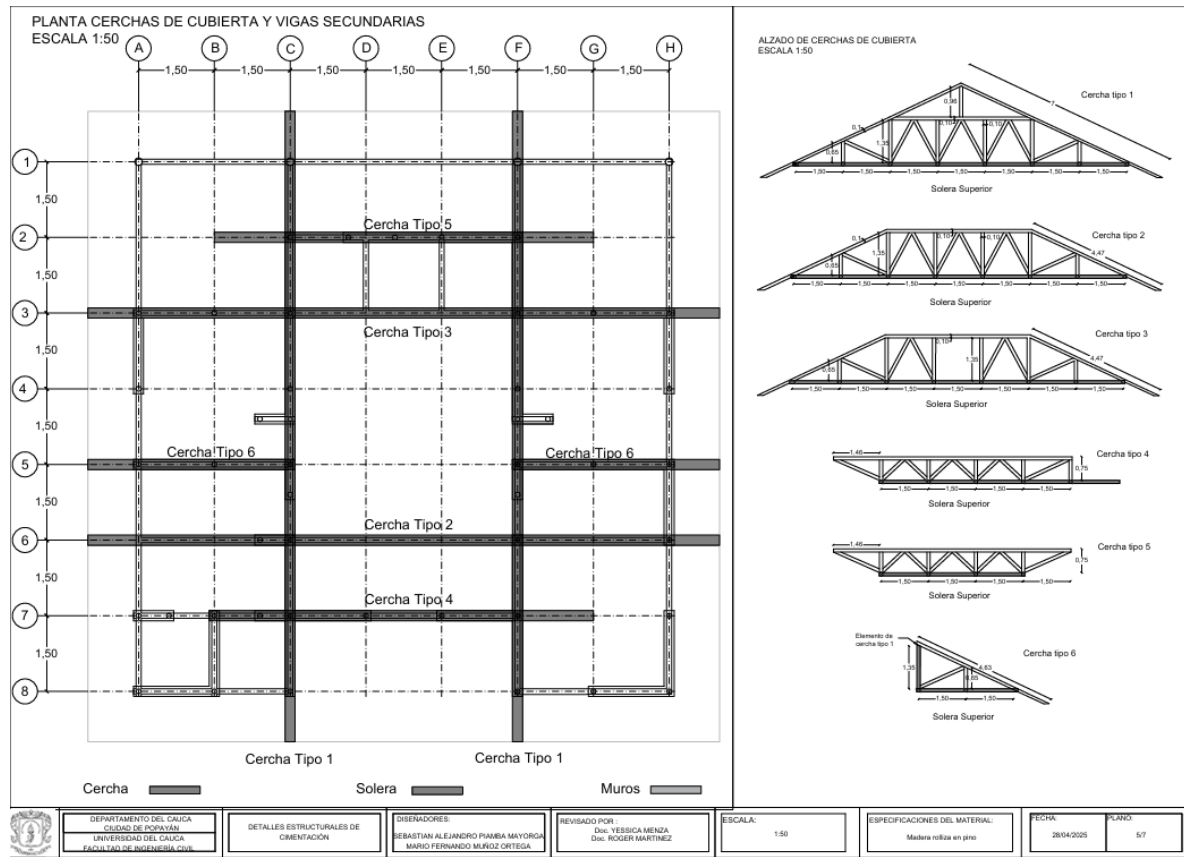
Muros detalles



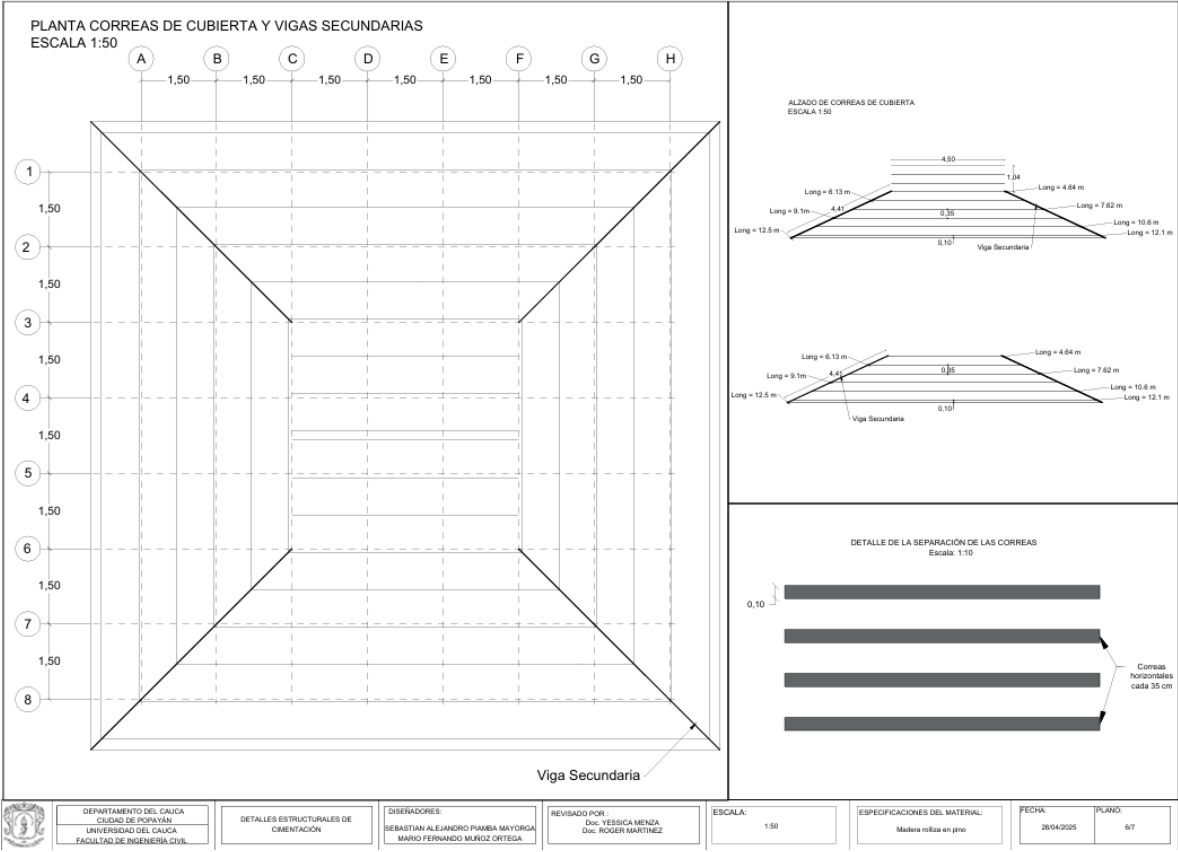
Soleras



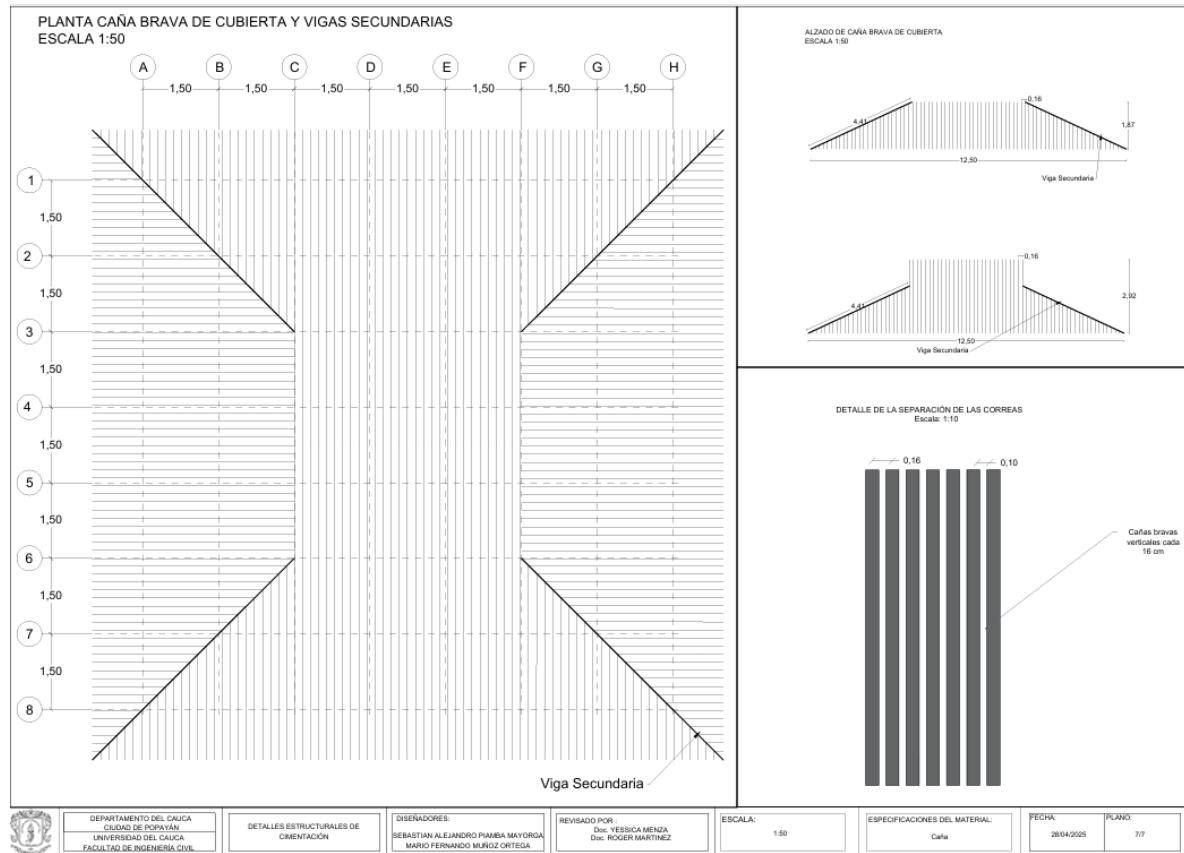
Cerchas



Correas



Cubierta



ANEXO

4

Revisión de literatura y normativa.

1. Cal

La cal ha desempeñado un papel fundamental en la construcción desde tiempos antiguos, destacándose por su uso en morteros, pinturas y revestimientos. Su aplicación se remonta a la época romana, cuando comenzó a incorporarse en la arquitectura alrededor del siglo III a.C. Gracias a su versatilidad y durabilidad, se consolidó como un componente esencial en múltiples técnicas constructivas, particularmente en la elaboración de morteros para mampostería y revestimientos con propiedades resistentes al agua (Calero Cordeiro, 2007).

1.1. Historia de la cal

La cal ha sido un material esencial en la construcción desde tiempos prehistóricos, cuando se descubrieron sus propiedades ligantes al someter la caliza a altas temperaturas. Su uso inicial se evidencia en asentamientos neolíticos como Jericó y Nevali Çori, y su aplicación fue evolucionando con el desarrollo de grandes civilizaciones antiguas como Egipto, Grecia y Roma. Aunque los egipcios prefirieron el yeso en muchas de sus edificaciones, los griegos perfeccionaron los morteros de cal y desarrollaron técnicas de pulimentado e impermeabilización. Posteriormente, los romanos llevaron el uso del mortero de cal a su máximo esplendor mediante el *opus caementitium*, al que añadieron puzolana y otros aditivos para mejorar su resistencia al agua. Esta innovación permitió la construcción de estructuras monumentales como el Coliseo y los acueductos romanos (Álvarez Galindo et al., 1995).

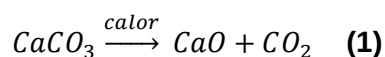
Con la caída del Imperio Romano, el conocimiento sobre los morteros de cal sufrió un deterioro significativo durante la Edad Media, aunque en este periodo se utilizaron aditivos orgánicos, como sangre y clara de huevo, para optimizar sus propiedades. Fue en el siglo XVIII cuando Smeaton y Vicat realizaron avances significativos al descubrir los ligantes hidráulicos modernos, lo que sentó las bases para el desarrollo del cemento Portland, patentado en 1824 por Aspdin. A partir de 1850, la industrialización del cemento impulsó su uso progresivo en la construcción, desplazando en gran medida a la cal. Sin embargo, en la actualidad, la cal ha resurgido en proyectos

de restauración y bioconstrucción, valorada por su durabilidad, flexibilidad y sostenibilidad (Álvarez Galindo et al., 1995).

1.2. Obtención y Transformación de la cal

a) Proceso de calcinación

La obtención de la cal se realiza a través del proceso de calcinación de la piedra calcárea, cuya composición principal es el carbonato de calcio (CaCO_3). Este procedimiento se lleva a cabo en hornos que alcanzan temperaturas que oscilan entre los 700 y 900 °C, lo que provoca la descomposición térmica del carbonato de calcio, que queda definida a partir de la Ecuación $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{calor}} \text{CaO} + \text{CO}_2$ (1). Como resultado, se libera dióxido de carbono (CO_2) y se produce óxido de calcio (CaO), comúnmente conocido como cal viva (Calero Cordeiro, 2007).



b) Proceso de apagado de la cal

La cal viva es un material altamente reactivo y, al entrar en contacto con agua, sufre un proceso exotérmico llamado apagado, en el que se convierte en hidróxido de

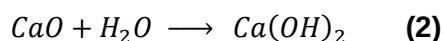
c

a

l

c

i



o El color de la cal apagada varía entre blanco y amarillo claro, dependiendo de las impurezas presentes en la piedra caliza original.

(

C 1.3. Clasificación de la cal

a Según la cantidad de impurezas, especialmente el contenido de arcilla, la cal se divide en cales aéreas y cales hidráulicas (Calero Cordeiro, 2007).

O

H

)

a) Cales aéreas

Son aquellas que necesitan la presencia de aire para fraguar, lo que significa que su endurecimiento ocurre gradualmente a medida que absorben dióxido de carbono del ambiente. Se subdivide en:

- ✓ Cal grasa: Proviene de la calcinación de piedra caliza con menos de 1% de arcilla. Es la más pura y tiene un fraguado muy lento.
- ✓ Cal magra: Se obtiene de calizas con un contenido de arcilla entre 2 y 8%.

b) Cales hidráulicas

Estas cales pueden fraguar en contacto con agua, lo que las hace ideales para morteros utilizados en ambientes húmedos o sumergidos. Se obtienen a partir de calizas con más de 8% de arcilla. Si la proporción de arcilla supera el 20%, la cal pierde calidad y la roca se vuelve frágil. Con más de 50% de arcilla, el material se vuelve plástico y ya no es adecuado para fabricar cal. (Calero Cordeiro, 2007).

1.4. Usos de la cal en la construcción

a) Lechadas de Cal

Las lechadas de cal son una mezcla líquida de cal y agua utilizada como pintura blanca para revocos y paredes. Se aplican con pincel y proporcionan un acabado uniforme con propiedades desinfectantes y transpirables (Calero Cordeiro, 2007).

b) Morteros de Cal

Los morteros de cal se obtienen mezclando cal apagada con agregados como arena o puzolana. Se utilizan en mampostería y revestimientos, y su correcta formulación evita la formación de grietas.

Uno de los problemas de la cal es su retracción al secarse, lo que puede generar fisuras. Para evitarlo, se agregan materiales conglomerantes como arena, puzolana o tejoletas trituradas, que ayudan a estabilizar la mezcla y mejorar su resistencia.

En textos antiguos como los de Vitruvio, se encuentran recetas de morteros de cal, destacando la puzolana, un tipo de arena volcánica que confiere propiedades

hidráulicas a la mezcla y permite que fragüe en ambientes húmedos o sumergidos (Calero Cordeiro, 2007).

1.5. Proporciones de los morteros de cal

Según en el documento de Calero Cordeiro (2007), las proporciones recomendadas para la fabricación de morteros romanos eran las mostradas en la Tabla 1:

Tabla 1: *Proporciones recomendadas de los morteros de cal.*

Proporción	Materiales	Uso principal
1:3	1 parte de cal + 3 partes de arena de cantera	Morteros básicos para construcción
1:2	1 parte de cal + 2 partes de arena de río	Morteros de mejor cohesión
1:2:1	1 parte de cal + 2 partes de arena de río + 1 parte de tejoletas	Mayor resistencia y durabilidad
1:2:1	1 parte de cal + 2 partes de puzolana + 1 parte de tejoletas	Morteros resistentes al agua (obras marítimas)

La cantidad de agua variaba entre 15 y 20%, ajustándose según el clima y el uso específico del mortero.

1.6. Experimentos y Pruebas de Fraguado

Se realizaron pruebas con diferentes mezclas de cal, arena y tejoletas para evaluar su comportamiento en el fraguado (Calero Cordeiro, 2007).

a) Observaciones en el fraguado

Las mezclas secaban bien, pero al cuarto día comenzaron a aparecer fisuras, especialmente en la mezcla sin tejoletas. Las grietas podían deberse a:

- ✓ Evaporación rápida del agua, afectando la cohesión del mortero.
- ✓ Contacto con madera, que absorbió humedad y afectó la consolidación.
- ✓ Dilatación térmica, provocando fisuras cada 10 cm.

Para evitar estos problemas, en la antigüedad se utilizaban muros dobles de ladrillo con mortero en el centro, funcionando como encofrados perdidos que estabilizaban la mezcla durante el fraguado.

1.7. Aceite de linaza en madera y pisos

Sevillanos Blanco y Dávila Miguel (2023) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar la eficacia del aceite de linaza como preservante natural en estructuras de madera, considerando su potencial como una alternativa sostenible. Para ello, se llevaron a cabo pruebas de densidad, humedad, dureza, flexión y compresión en tres tipos de muestras: madera sin tratamiento, madera tratada con aceite de linaza y madera tratada con preservante químico.

Los resultados obtenidos fueron comparados con la Norma E.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y estudios previos, concluyendo que el aceite de linaza forma una película protectora que mejora la resistencia a la compresión y disminuye la absorción de humedad. Sin embargo, los ensayos de flexión revelaron que es necesario un mayor tiempo de secado para evaluar adecuadamente su efecto, ya que las muestras tratadas inicialmente mostraron una menor resistencia en comparación con las demás, aunque días después lograron superar su desempeño (Sevillanos Blanco y Davila Miguel, 2023).

El aceite de linaza se utiliza comúnmente como barniz para proteger pisos de tierra, especialmente en los Estados Unidos. Su aplicación crea una capa duradera, impermeable y brillante que puede prolongar la vida útil del piso hasta por 20 a 30 años, siempre y cuando se aplique una capa de mantenimiento cada tres a cinco años. Sin embargo, el aceite de linaza puede resultar costoso y ligeramente tóxico, además de no estar fácilmente disponible en algunos contextos, como en Ruanda (EarthEnable, 2018).

2. Efectos de los sismos en una vivienda

Para resistir un terremoto, una vivienda debe cumplir con ciertos requisitos técnicos de construcción, utilizar los materiales de forma adecuada y tener un diseño apropiado. Por ejemplo, se deben evitar las viviendas con formas irregulares en tamaño y altura, ya que estas son más vulnerables a los daños causados por los movimientos sísmicos (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

En otras palabras, una vivienda segura ante terremotos debe ser construida con materiales de calidad y técnicas adecuadas, además de tener un diseño que le permita resistir las fuerzas generadas por un movimiento telúrico (Ilustración 1). Las formas irregulares en tamaño y altura son un factor de riesgo, ya que pueden generar puntos débiles en la estructura que la hacen más susceptible a colapsar (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

La falta de uniformidad en las dimensiones de los muros de una vivienda la hace vulnerable ante un evento sísmico (**Ilustración 2**). La disparidad en la estructura de los muros puede ocasionar un comportamiento deficiente durante un temblor, incrementando el riesgo de un colapso rápido de la vivienda. Es decir, la irregularidad en las dimensiones de los muros puede generar puntos débiles en la estructura, lo que la hace más susceptible a sufrir daños graves e incluso derrumbarse en caso de un terremoto (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Sin muros de soporte intermedios y con uniones débiles, las paredes largas son más vulnerables a los terremotos y pueden colapsar (**Error! Reference source not found.**). Dicho de otra manera, la falta de refuerzo y la debilidad de las uniones en paredes largas aumentan el riesgo de derrumbe durante un movimiento sísmico (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

La combinación de muros altos y delgados en una estructura resulta en una mayor flexibilidad y una menor resistencia ante movimientos sísmicos, lo que incrementa el riesgo de daños. Además de esta característica, existen otros factores de diseño y

construcción que se deben evitar para minimizar la vulnerabilidad de una vivienda ante terremotos (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002):

- Formas irregulares (evitar formas de edificios en "T" o "C").
- Vigas de techo sueltas (hay que asegurar que las vigas del techo estén correctamente conectadas y fijadas).
- Falta de sobrecimientos (construir sobrecimientos sólidos para proporcionar una base estable).
- Techos pesados (evitar estructuras de techo excesivamente pesadas).
- Terrenos inclinados (evitar construir en terrenos con pendiente).
- Grandes espacios abiertos (evitar grandes espacios sin muros intermedios).

Ilustración 1: Viviendas con formas irregulares en tamaño y altura

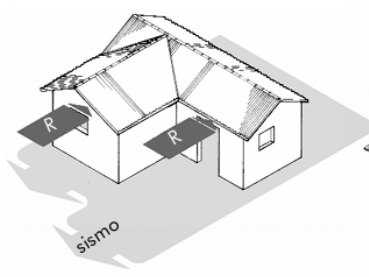
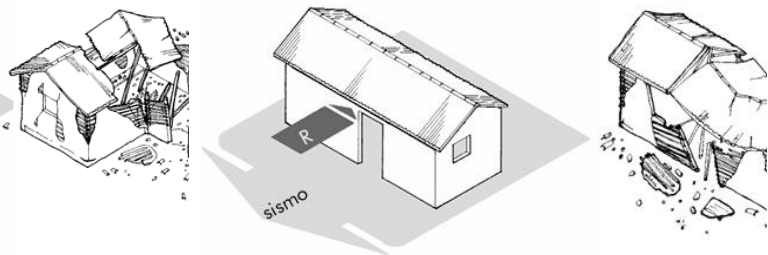


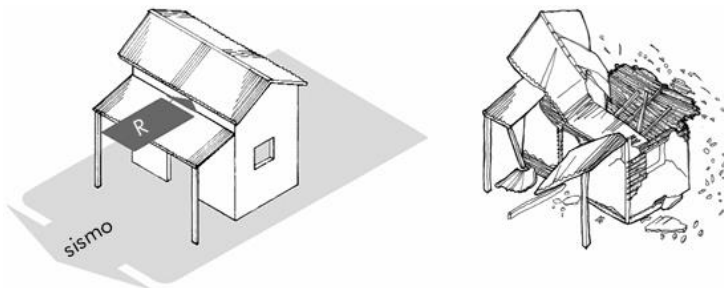
Ilustración 2: Irregularidad en las dimensiones de los muros



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción sismorresistente* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción sismorresistente* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

Ilustración 3: Ausencia de muros de soporte intermedios y uniones débiles en paredes largas



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

2.1. Vivienda sismorresistente.

Una vivienda resistente a los sismos se construye siguiendo principios técnicos de construcción y diseño que la preparan para enfrentar un terremoto. La forma cúbica es un elemento fundamental para garantizar la resistencia sísmica, y a partir de esta forma se desarrollan las etapas técnicas estructurales necesarias; una vivienda parasísmica se basa en un diseño y construcción que cumplen con los requisitos técnicos para resistir los efectos de un terremoto (Ilustración 4). La forma de cubo es un punto de partida importante para lograr esta resistencia, y a partir de ahí se implementan las técnicas estructurales específicas (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

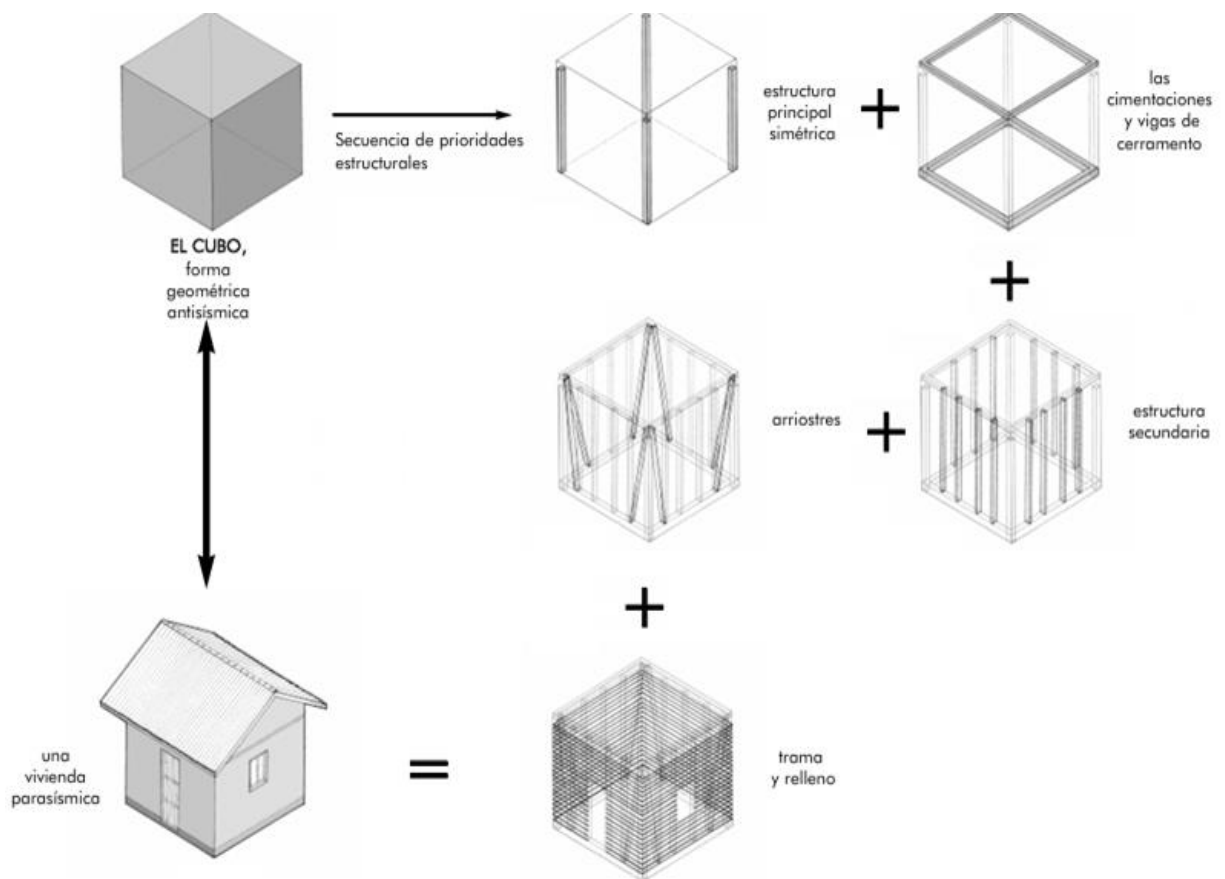
3. Selección del terreno para construir

La selección del terreno es crucial para la construcción de una vivienda, priorizando ubicaciones planas, secas y con suelo firme, y evitando zonas de riesgo como pantanos, barrancos, cercanías a ríos, áreas mineras o rellenos sanitarios (Ilustración 5). Una construcción sólida en un terreno inadecuado conlleva riesgos similares a una construcción deficiente. Los barrancos, compuestos por terrenos blandos o deleznales, como limo-arcillosos o depósitos de materiales, no son aptos para la construcción de viviendas (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Construir una vivienda en zonas bajas, especialmente bajo barrancos con paredes perpendiculares y grietas (Ilustración 6), es desaconsejable, ya que estas características incrementan la vulnerabilidad ante movimientos sísmicos al ser aprovechadas por el sismo, aumentando el riesgo de daños o colapso (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

En zonas de suelos blandos, la presencia de agua puede desencadenar el fenómeno de licuefacción durante un terremoto (Ilustración 7). Este proceso provoca el hundimiento del suelo, lo que puede llevar a la ruina de las construcciones (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 4: *Vivienda parasísmica*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

Ilustración 5: Construcciones sobre barrancos

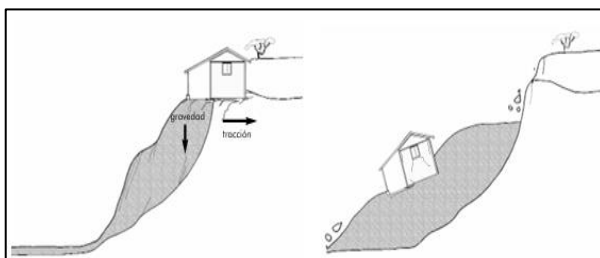


Ilustración 6: Viviendas bajo barrancos.

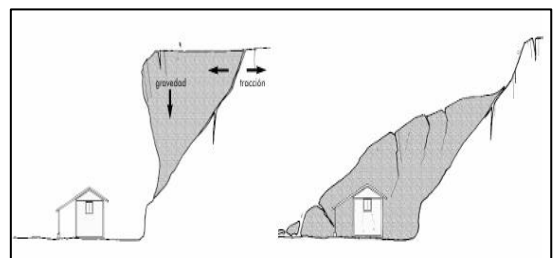
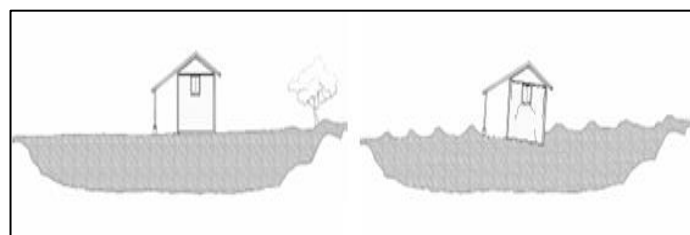


Ilustración 7: Viviendas en suelos blandos



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

3.1.

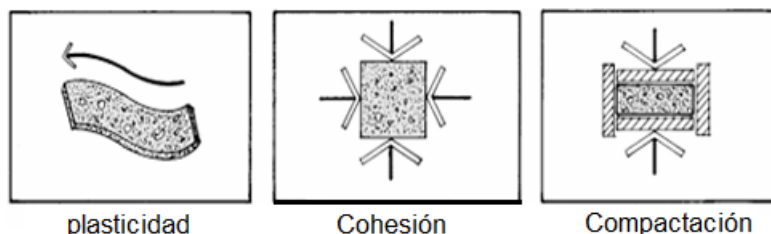
3.2. El material tierra origen

La tierra se origina a partir de la erosión, tanto mecánica como química, de la roca madre. Este proceso de desgaste fragmenta la roca en partículas minerales de diversos tamaños, que van desde los guijarros más grandes hasta los finos polvos arcillosos. La tierra que utilizamos para construir o cultivar se forma a partir de la descomposición de rocas más grandes. Esta descomposición ocurre a través de procesos naturales como el desgaste por el viento y el agua (erosión mecánica) y la alteración de la composición química de las rocas (erosión química). El resultado es una mezcla de partículas minerales de diferentes tamaños, que conocemos como tierra (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

3.3. Propiedades de la tierra

La tierra presenta diversas propiedades como la plasticidad (capacidad de deformarse sin romperse), cohesión (capacidad de mantenerse unida) y compactación (capacidad de reducir su volumen al ser comprimida) (Ilustración 8). Según la proporción de sus componentes, la tierra se clasifica en gravosa, arenosa, limosa y arcillosa (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 8: Plasticidad, Cohesión, Compactación

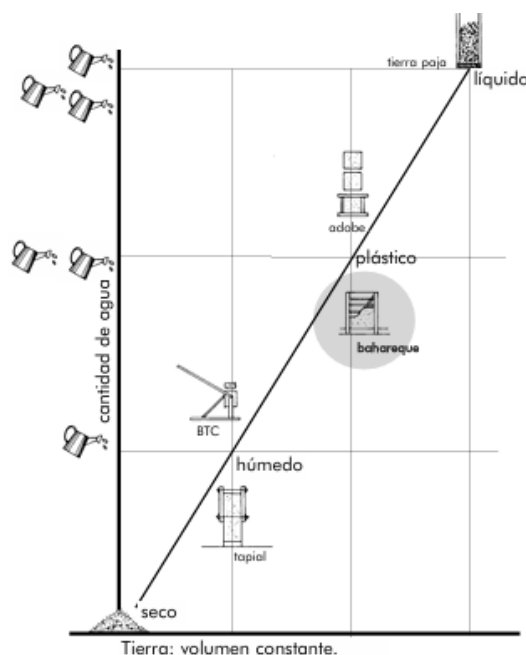


Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

3.4. Estados hídricos, cohesión y estabilización

La cantidad de agua que absorbe la tierra (entre un 20% y un 30% según el tipo de tierra) determina su estado hídrico. Se identifican cuatro estados principales: seco, húmedo, plástico y líquido (Ilustración 9) (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 9: Estados hídricos, cohesión y estabilización.



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

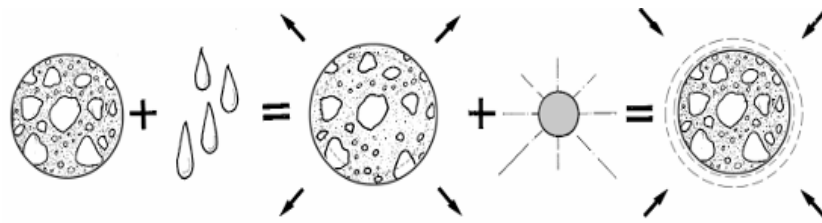
El mortero de arcilla se prepara en estado plástico, lo que facilita su aplicación en los paneles, permitiendo una mejor penetración y adherencia a las cañas (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

a) Propiedad de la cohesión

La propiedad de cohesión es fundamental en la preparación del mortero de arcilla para rellenar paños, y su acción se desarrolla en dos fases. Inicialmente, la tierra absorbe agua, lo que provoca que las arcillas se hinchen en un proceso gradual que requiere tiempo. Posteriormente, al secarse la tierra, las arcillas se contraen y atraen a los demás componentes que se encuentran completamente secos y unidos, como se evidencia en la Ilustración 10. Si la interpenetración entre los granos es completa, sin dejar huecos, la tierra seca puede resistir esfuerzos de compresión de hasta 3 MPa (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

En otras palabras, la cohesión del mortero de arcilla se basa en la capacidad de la tierra para absorber agua y luego contraerse al secarse, uniendo los componentes y generando resistencia. Este proceso se divide en dos fases: la hidratación de las arcillas y el secado de la tierra. Una buena interpenetración de los granos garantiza una mayor resistencia a la compresión del mortero de arcilla una vez seco (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 10: *Cohesión*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002.

b) Estabilización

Cuando la tierra tiene un alto contenido de arcilla, existe un riesgo significativo de que se agriete en exceso durante el proceso de secado. Es crucial utilizar la cantidad adecuada de arcilla, ya que su presencia es esencial para asegurar una buena adherencia entre las cañas o varas utilizadas en la construcción (Ilustración 11). Si la tierra es demasiado arcillosa, se pueden implementar algunas medidas correctivas para reducir este riesgo de fisuración (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

- ✓ Aumentar arena con el fin de reducir la cohesión.
- ✓ Mezclar con paja con el fin de limitar la talla de las fisuras.

Ilustración 11: *Estabilización de suelos arcillosos en construcción tradicional*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

3.5. Análisis de la tierra objetivo

El análisis de la tierra tiene como objetivo verificar si es adecuada para la construcción mediante pruebas de campo sencillas que revelan sus características. Estas pruebas evalúan la granulometría (composición de la tierra) a través de la manipulación, el olor, la plasticidad ("el cigarro") y la cohesión ("la pastilla"). Los resultados de estas pruebas determinan la calidad de la tierra para la construcción (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

La manipulación - el olor

La manipulación de la tierra con agua, combinada con la percepción del olor, permite identificar los componentes que la conforman a través de la liberación de aromas característicos (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

- ✓ Tierra ORGANICA: Desprendimiento de un olor.
- ✓ Tierra ARENOSA: Rugoso, quebradizo, poco pegajoso
- ✓ Tierra LIMOSA: Fino, fácil de reducir en polvo, pegajoso.
- ✓ Tierra ARCILLOSA: Díficil de romper, lento para deshacerse en el agua, muy pegajoso y fino.

La tierra ideal para la construcción debe tener una mezcla equilibrada de arena y arcilla. La arena proporciona estabilidad y la arcilla cohesión. No obstante, las tierras que contienen mucho limo pueden ser problemáticas, ya que se debilitan al mojarse después de haberse secado (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

El cigarro

La prueba del cigarro es un método sencillo y práctico para evaluar la plasticidad de la tierra, una propiedad importante para determinar su idoneidad para la construcción, especialmente en técnicas como el bahareque o la quinchá (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Para realizar la prueba del cigarro se debe:

- ✓ Retirar las gravas de la muestra.
- ✓ Mojar, mezclar y dejar reposar la tierra una media hora hasta que la arcilla pueda reaccionar con el agua.
- ✓ La tierra no debe ensuciar las manos.
- ✓ Sobre una plancha, moldear un cigarro de 3 centímetros de diámetro y empujar lentamente el cigarro hacia el vacío.
- ✓ Medir el largo del pedazo que se desprendió.
- ✓ Recomenzar 3 veces y realizar un promedio.

Realizando la prueba del cigarro: si la longitud obtenida está entre 10 cm y 15 cm, se considera una tierra de buena calidad, como se puede ver en la

Ilustración 12: *La prueba del cigarro*

Ilustración 13: *La prueba de la pastilla*

La pastilla

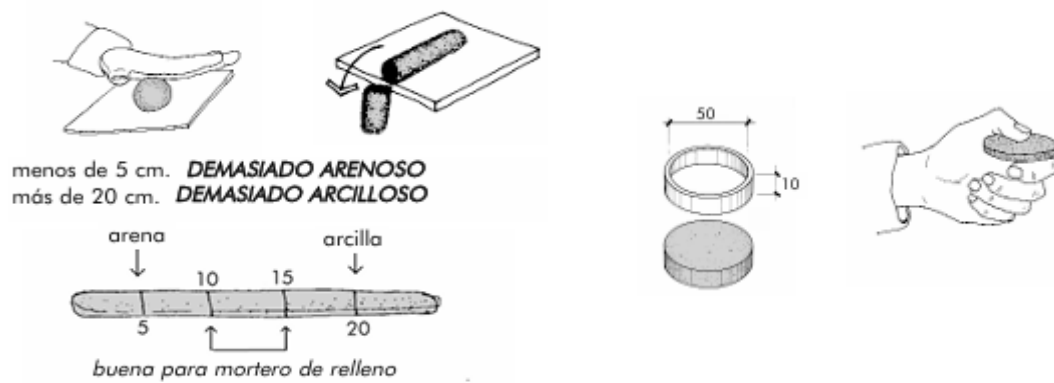
La prueba de la pastilla es un método sencillo y útil para evaluar la cohesión de la tierra, una propiedad importante para determinar su idoneidad para la construcción. Para realizar la prueba, se debe recuperar la tierra del ensayo precedente en estado plástico y luego moldear dos pastillas con la ayuda de un trozo de tubo de PVC o similar (Ilustración 13) (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Después del secado de la muestra de tierra utilizada en la prueba de la pastilla, se deben observar los siguientes aspectos:

- ✓ **Contracción:** Evaluar si hay presencia de grietas o reducción del tamaño de la pastilla.
- ✓ **Resistencia:** Comprobar la resistencia de la pastilla intentando romperla o aplastarla con los dedos.

Ilustración 12: *La prueba del cigarro*

Ilustración 13: *La prueba de la pastilla*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

La tierra arenosa no presenta contracción y se deshace fácilmente en polvo. La tierra limosa muestra contracción y también se pulveriza con facilidad. La tierra arcillosa, por su parte, experimenta una contracción significativa y es difícil de reducir a polvo. Una tierra de buena calidad para la construcción presentará una contracción menor a 1 mm y será difícil de convertir en polvo (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Adicionalmente, se recomienda verificar directamente en el paño o muro construido con tierra, una vez seco, su apariencia, incluyendo el tipo de fisuras, la adherencia a la estructura y la cohesión entre los componentes (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

4. Características de la vivienda autóctona en bahareque

4.1. Madera en los muros

La madera, un recurso renovable abundante en los bosques tropicales, juega un papel crucial en la solución de problemas de vivienda. Sus propiedades físicas y mecánicas, como la resistencia y la flexibilidad, la convierten en un material de construcción valioso y accesible para las comunidades, siempre y cuando su explotación se realice de manera sostenible y responsable (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Según Pineda Uribe (2017), el sistema constructivo del bahareque se caracteriza por el uso de diversas especies de madera en su estructura, tales como nogal cafetero,

abarco, chanul, comino, zapán, yarumo blanco, guayacán, arrayán, cedro, roble y arboloco. Estas maderas son empleadas en la construcción de elementos estructurales claves de la vivienda, incluyendo pisos y entrepisos (que conforman la base de la edificación) y marcos de puertas y ventanas.

Según el artículo *Diseño de un sistema autoconstructivo a base de tapial y bahareque de bajo costo e impacto ambiental para una vivienda*, para construir los módulos de bahareque, se necesita un bastidor de madera de pino de dimensiones específicas. Este bastidor se construye cortando barrotes de madera de pino de 1½"x 3" x 10' en las longitudes adecuadas. Los barrotes se ensamblan para formar un marco rectangular, con el lado más ancho (3") orientado hacia el interior del módulo y el más delgado (1½") hacia el exterior. Dentro del bastidor, se colocan divisiones y refuerzos utilizando molduras unidas a los barrotes con pijas. Estas molduras ayudan a dar estabilidad y resistencia al módulo de bahareque. Luego, se incorpora un entramado de carrizo de 1.5 cm a 2 cm de grosor y 2.50 m de largo, entrelazado horizontalmente dentro del bastidor como base del muro. Para proteger la madera, se aplica aceite quemado o virgen, y finalmente, el conjunto se deja secar por al menos dos días en un área ventilada sin exposición directa al sol, garantizando su estabilidad y durabilidad (Rodríguez Ruiz et al., 2020).

Según Casanova (2011), los muros de bahareque encementado deben estar formados por una estructura de guaduas o una combinación de guaduas y madera. Esta estructura se compone de elementos horizontales conocidos como soleras (siendo la solera superior también denominada carrera) y elementos verticales denominados pie-derechos. Las guaduas utilizadas no deben presentar un diámetro menor a 80 mm. Además, la distancia horizontal entre los pie-derechos debe mantenerse dentro de un rango que va de 300 mm a 600 mm, medidos entre ejes.

Las soleras deberán contar con una sección cuyo ancho mínimo corresponda al diámetro de las guaduas empleadas como pie-derechos y una altura no inferior a 100

mm. Es recomendable que tanto la solera inferior como la superior de cada muro se construyan en madera aserrada, ya que este material proporciona una mayor rigidez en las uniones y presenta menor susceptibilidad al aplastamiento en comparación con los elementos de guadua (Casanova Echavez, 2011).

Debido a la alta sismicidad en Ecuador, las estructuras de madera son una alternativa constructiva eficiente y económica. La madera de pino radiata, proveniente de bosques cultivados, evita la deforestación y es la más utilizada. El sistema se basa en tablones de 10 x 240 cm unidos con elementos transversales cortafuegos. Las uniones se hacen con técnicas tradicionales como caja y espiga o pasadores de madera. Al no requerir clavos ni tornillos, el montaje es sencillo y puede realizarlo personal sin experiencia. (Astudillo Cordero & Vacacela Albuja, 2015).

De acuerdo con Cristancho, et al. (2024), para llevar a cabo los ensayos realizados en su investigación se emplearon prototipos de muros que presentaban dimensiones de 2.2 m tanto en altura como en ancho de base. Cada prototipo estaba compuesto por dos paneles de 1.1 m y contaba con vigas soleras inferiores fabricadas en madera, las cuales tenían una sección transversal de 10 cm de ancho por 5 cm de alto. Los muros de bahareque relleno se elaboran utilizando listones horizontales de guadua, con un ancho aproximado de 4 a 5 cm, los cuales se disponen a lo largo para garantizar la fijación del relleno, compuesto por una mezcla de tierra. Estos listones se fijan de manera horizontal en ambos lados de la estructura, con una separación de 9 a 10 cm entre ellos, lo que facilita la aplicación manual de la mezcla.

4.2. Uniones en madera

Tipos de uniones en estructuras de madera.

a) Según el medio de unión empleado

- **Uniones carpinteras o tradicionales:**

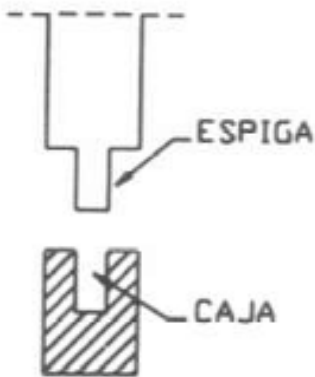
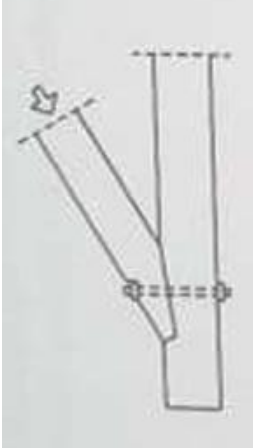
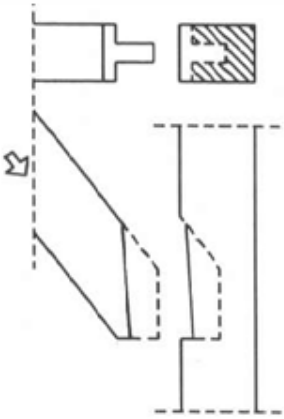
Las uniones carpinteras o tradicionales se realizan utilizando técnicas propias de la carpintería que implican cortes precisos, encajes específicos y ensamblajes

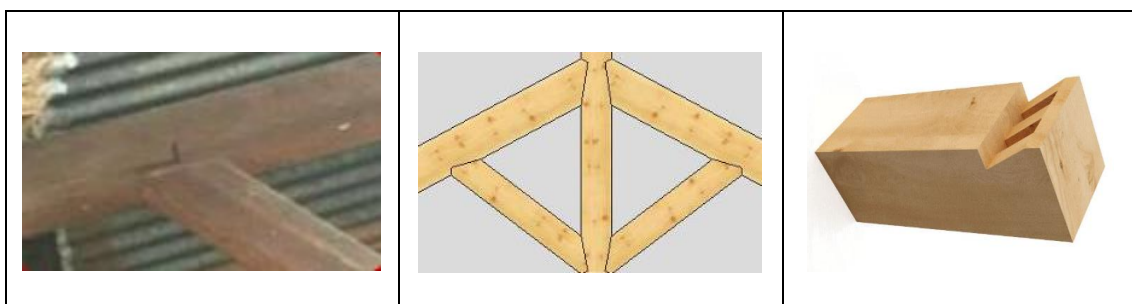
diseñados para garantizar una conexión firme sin recurrir al uso de elementos metálicos. Estas uniones destacan por su resistencia, precisión y valor estético, aunque requieren un alto nivel de habilidad y tiempo para su ejecución. Algunos ejemplos comunes de este tipo de unión son la caja y espiga, la cola de milano y la media madera, En la Ilustración 14 se muestran tipos de ensambles a compresión, en

Ilustración 15 tipos de ensamble a tracción y en la

Ilustración 16: Tipos de *Empalmes entre piezas traccionadas*. En general, la transmisión de los esfuerzos en estas uniones se realiza principalmente por el contacto directo entre las piezas de madera, lo que garantiza una adecuada distribución de las cargas (Arriaga martitegui et al., 2011).

Ilustración 14: *Tipos de Ensamble a Compresión*

Ensamble a Compresión		
Caja y espiga	En barbilla	Caja y espiga con barbilla
		



Fuente: Adoptado de *Estructuras de madera-tipos de uniones*, UDELAR, 2019

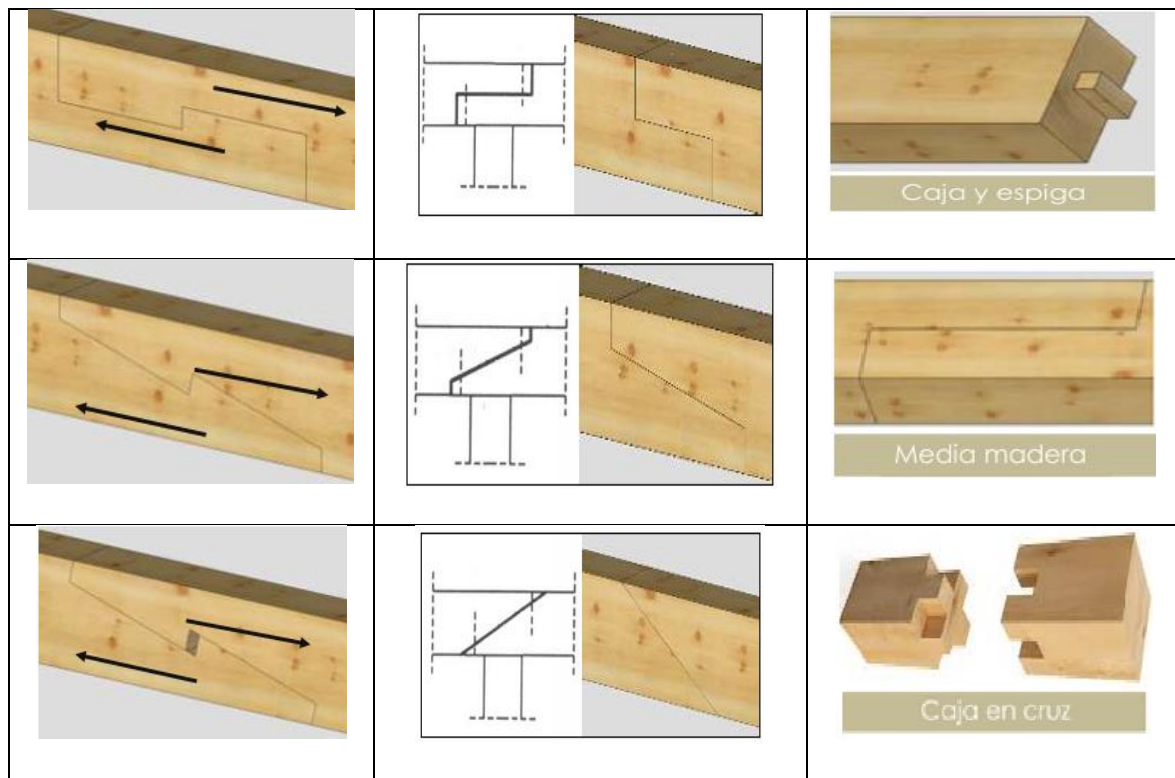
Ilustración 15: *Tipos de Ensamblajes a Tracción*

Ensamblajes a Tracción		
Rebaje de las piezas	Mediante pernos	En cola de milano

Fuente: Adoptado de *Estructuras de madera-tipos de uniones*, UDELAR, 2019

Ilustración 16: *Tipos de Empalmes entre piezas traccionadas*

Empalmes entre piezas traccionadas		
Rayo de Júpiter	Vigas sobre apoyos	entre piezas comprimidas



Fuente: Adoptado de *Estructuras de madera-tipos de uniones*, UDELAR, 2019

Las uniones carpinteras o tradicionales son ampliamente utilizadas en construcciones tradicionales y muebles debido a su durabilidad y atractivo estético. Entre los ensambles más comunes se encuentra la caja y espiga, que consiste en insertar una prolongación rectangular (espiga) en un orificio hecho en la otra pieza (caja), logrando una conexión resistente a esfuerzos de compresión e ideal para unir elementos en ángulo recto, como vigas y columnas. Otra unión popular es la cola de milano, cuya espiga en forma trapezoidal evita el deslizamiento entre las piezas, lo que la hace muy resistente a esfuerzos de tracción y común en muebles y elementos horizontales, destacándose por su estética y seguridad (Domínguez Lorenzo, 2015) (Peraza Sánchez, 1995).

Asimismo, el ensamble de media madera se logra al rebajar cada pieza a la mitad de su grosor y superponerlas, generando una conexión plana y uniforme, ideal para unir vigas o marcos que soportan compresión y tracción ligera. Por último, el ensamble en pico de flauta presenta un corte oblicuo que aporta un aspecto estético, aunque requiere refuerzos adicionales, como tornillos o abrazaderas, para evitar deslizamientos y

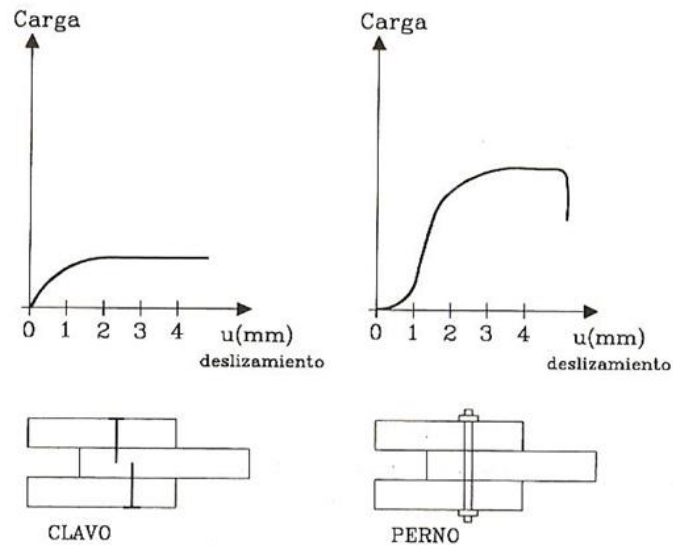
asegurar la estabilidad estructural (Domínguez Lorenzo, 2015) (Arriaga martitegui et al., 2011) (Arriaga martitegui et al., 2011).

- **Uniones mecánicas:**

Las uniones mecánicas emplean elementos metálicos como clavos, pernos, tirafondos y conectores para fijar las piezas de madera entre sí. Este tipo de unión se caracteriza por su rapidez de instalación y la posibilidad de desmontaje cuando sea necesario, aunque en algunos casos puede afectar la estética de la estructura. Los elementos de fijación pueden trabajar mediante fricción, presión o incluso expansión dentro de la madera, lo que les permite asegurar las piezas de forma efectiva. Ejemplos comunes de uniones mecánicas incluyen los clavos, los tirafondos, los pernos, así como los conectores de anillo y las placas dentadas (Domínguez Lorenzo, 2015).

El deslizamiento en las uniones de estructuras de madera varía según el medio de unión empleado, ya que cada tipo presenta diferente rigidez. Las uniones encoladas son más rígidas porque el adhesivo crea una conexión continua y resistente, mientras que las uniones tipo clavija necesitan cierto deslizamiento para transmitir los esfuerzos recibidos, esta información quedo consignada en la Ilustración 17. Este deslizamiento provoca un aumento en las deformaciones de la estructura, como ocurre en cerchas y uniones en corona, por lo que es fundamental tenerlo en cuenta al diseñar y calcular sistemas estructurales de madera (UDELAR, 2019).

Ilustración 17: *Análisis de deslizamiento vs carga entre clavo y perno*



Fuente: Adoptado de *Estructuras de madera-tipos de uniones* (p.41), UDELAR, 2019

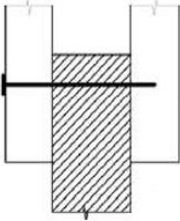
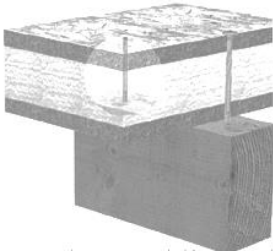
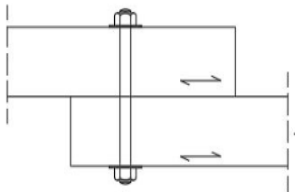
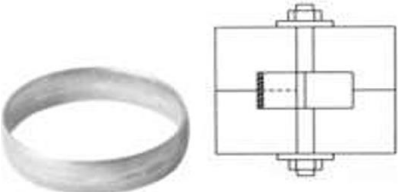
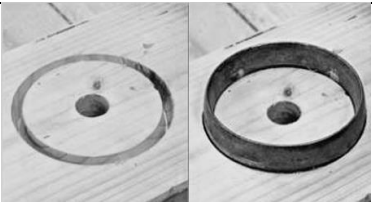
Las uniones mecánicas emplean componentes metálicos para asegurar la fijación de las piezas, siendo especialmente útiles en estructuras que requieren un ensamblaje rápido o la posibilidad de desmontaje. Entre los métodos más comunes se encuentran los clavos, que representan la técnica de fijación más antigua y utilizada. Estos se insertan mediante golpes o presión neumática, generando fricción con la madera para evitar el deslizamiento. Los clavos con caña en espiral destacan por ofrecer una mayor resistencia al arranque, lo que los hace adecuados para aplicaciones que demandan mayor firmeza (Domínguez Lorenzo, 2015) (Peraza Sánchez, 1995).

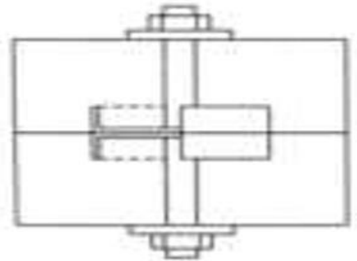
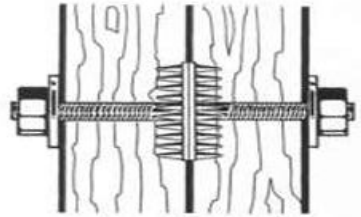
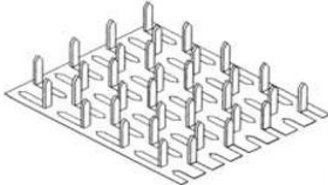
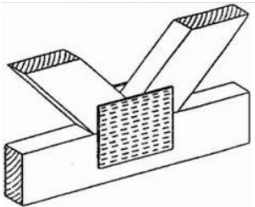
Otra opción eficaz son los tirafondos, que son clavos con rosca diseñados para enroscarse en la madera, proporcionando una sujeción más fuerte en comparación con los clavos comunes. Son particularmente útiles en conexiones estructurales y fijaciones de cargas pesadas, ya que garantizan una mayor estabilidad (Domínguez Lorenzo, 2015) (Peraza Sánchez, 1995).

Por último, los conectores metálicos, como los de anillo y placa, se emplean para aumentar la superficie de contacto entre las piezas, lo que permite distribuir las cargas en un área mayor, en la Ilustración 18 se indican conectores utilizados para la unión de madera y en Ilustración 19 herrajes utilizados para la unión de la madera. Esta

característica los hace especialmente eficientes en uniones sometidas a esfuerzos significativos de tracción y compresión, aportando seguridad y durabilidad a la estructura (Domínguez Lorenzo, 2015) (Peraza Sánchez, 1995).

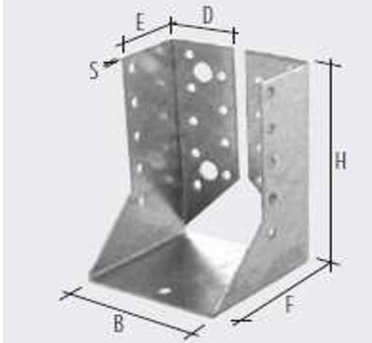
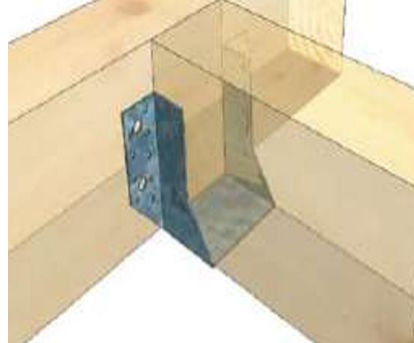
Ilustración 18: Conectores metálicos utilizados para la unión de la madera

Tipo clavija		
Clavos	FUSTE LISO FUSTE CON RESALTOS FUSTE HELICOIDAL	
Tirafondos o tornillos	CAÑA CUERDA	
Pernos	CABEZA CAÑA TUERCA ARANDELA d	
Pasadores		
Conectores- de anillo		

Conectores- de placa		
Conectores- dentados		
Conectores- placas dentadas		

Fuente: Adoptado de *Estructuras de madera-tipos de uniones* (p.41), UDELAR, 2019

Ilustración 19: Herrajes utilizados para la unión de la madera

Herrajes		
Angulares		
Herrajes de cuelgue o estribos		

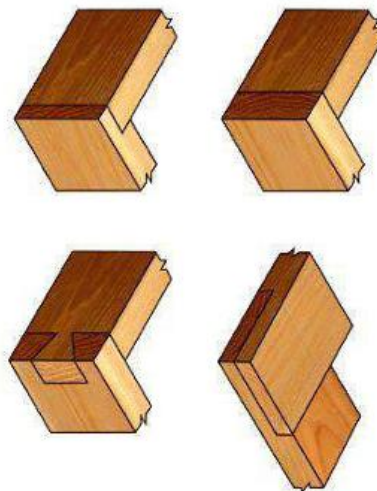


Fuente: Adoptado de *Estructuras de madera-tipos de uniones* (p.41), UDELAR, 2019

- **Uniones adheridas o encoladas:**

Las uniones encoladas emplean adhesivos especiales para pegar las piezas de madera, logrando una unión rígida y continua (**Ilustración 20: Unión encolada**). Son ampliamente utilizadas en elementos de madera laminada y en la fabricación de muebles, ya que proporcionan un acabado limpio y una transmisión uniforme de cargas. No obstante, presentan algunas desventajas relacionadas con la calidad del adhesivo utilizado y la influencia de las condiciones ambientales, especialmente la humedad, que pueden comprometer su desempeño a lo largo del tiempo (Domínguez Lorenzo, 2015).

Ilustración 20: Unión encolada

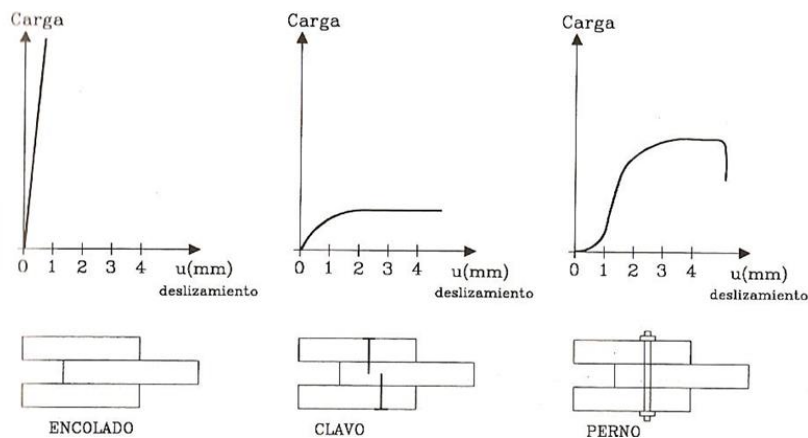


Fuente: Adoptado de *Taller de carpintería* (p.17), Julio Cesar Perales

Cada medio de unión en estructuras de madera presenta características de rigidez distintas. Las uniones encoladas se destacan por ser más rígidas en comparación con las uniones de fijación tipo clavija (**Error! Not a valid bookmark self-**

reference.). Estas últimas requieren ciertos deslizamientos para poder transmitir adecuadamente los esfuerzos que reciben, lo que provoca un aumento en las deformaciones de la estructura. Este fenómeno es particularmente evidente en elementos como cerchas y uniones en corona, donde el deslizamiento influye directamente en el comportamiento estructural (UDELAR, 2019).

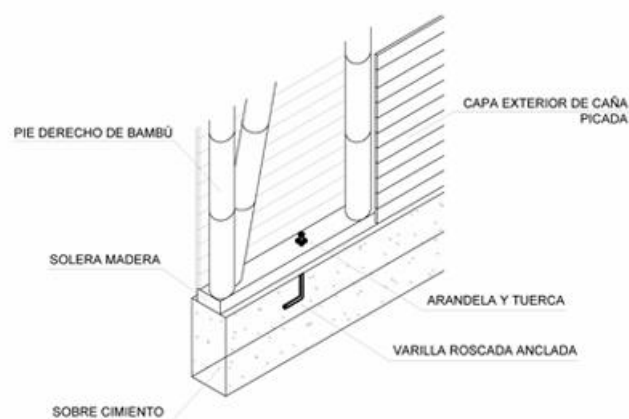
Ilustración 21: *Análisis de deslizamiento vs carga entre clavo, perno y encolado*



Fuente: Adoptado de *Estructuras de madera-tipos de uniones* (p.41), UDELAR, 2019

Uniones en la cimentación

Ilustración 22: *Unión sobrecimiento-muro por medio de una varilla roscaada anclada*



Fuente: Adoptado de *Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado* (p.61), López Muñoz, 2015

Uniones en cubiertas y muros

Las uniones en cubiertas y muros son fundamentales para garantizar la estabilidad y seguridad estructural en edificaciones de madera.

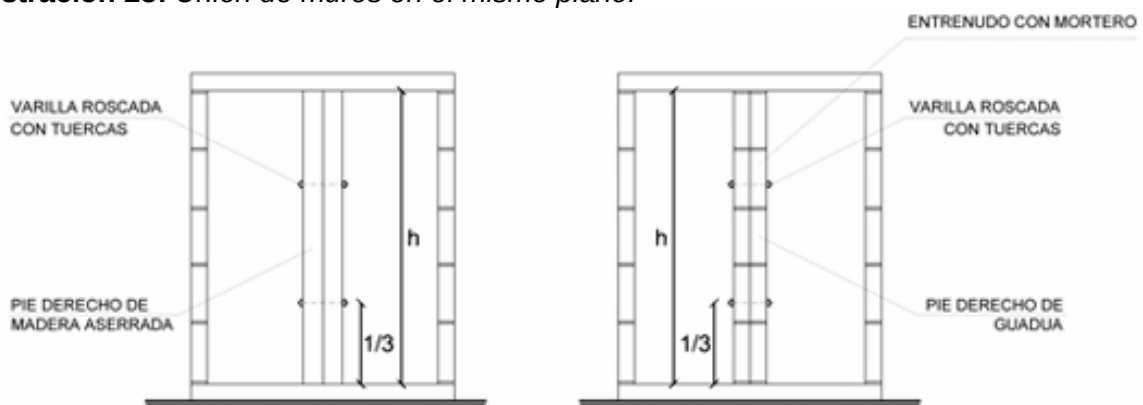
a) Uniones en cubiertas:

En el caso de las cubiertas, las cerchas y vigas se conectan utilizando elementos metálicos como placas dentadas y tirafondos, lo que permite absorber los esfuerzos dinámicos generados por factores como el viento o los sismos. En estructuras tradicionales, se emplean ensambles tipo caja y espiga o cola de milano, reforzados con pernos para incrementar la resistencia (López Muñoz, 2015).

b) Uniones entre muros

Los muros que se encuentran en el mismo plano se conectan entre sí utilizando pernos, tuercas y arandelas, garantizando una fijación segura y resistente. Para lograr una unión eficiente, es fundamental contar con al menos dos conexiones por cada unión, ubicadas en cada tercio de la altura del muro. Los pernos empleados deben tener un diámetro mínimo de 9.5 mm para asegurar la estabilidad estructural (Ilustración 23). En caso de que los pies derechos estén fabricados con guadua, los cañutos atravesados deben rellenarse con mortero para reforzar la unión y proporcionar mayor rigidez al conjunto (López Muñoz, 2015).

Ilustración 23: Unión de muros en el mismo plano.



Fuente: Adoptado de *Construcción sismo resistente de viviendas de uno y dos pisos de bahareque encementado* (p.38), AIS, 2001

Cuando los muros que deben unirse se encuentran en planos diferentes y son perpendiculares entre sí, la conexión puede realizarse directamente mediante pernos, tuercas y arandelas dispuestos en una sola dirección. Alternativamente, se puede utilizar un elemento adicional en la intersección de los muros, permitiendo fijarlos en ambas direcciones mediante los mismos elementos de sujeción. Para garantizar la estabilidad de la unión, es fundamental contar con al menos dos conexiones por cada punto de encuentro, ubicadas en cada tercio de la altura del muro, lo que asegura una distribución uniforme de las cargas y una conexión sólida (López Muñoz, 2015).

A continuación, se muestra tres tipos de uniones las cuales se evidencian en la **Ilustración 24: Unión de muros en T**, en la Ilustración 25: **Unión de muros en cruz** y en la Ilustración 26: **Unión muros en L**.

Ilustración 24: *Unión de muros en T*

Ilustración 25: *Unión de muros en cruz*

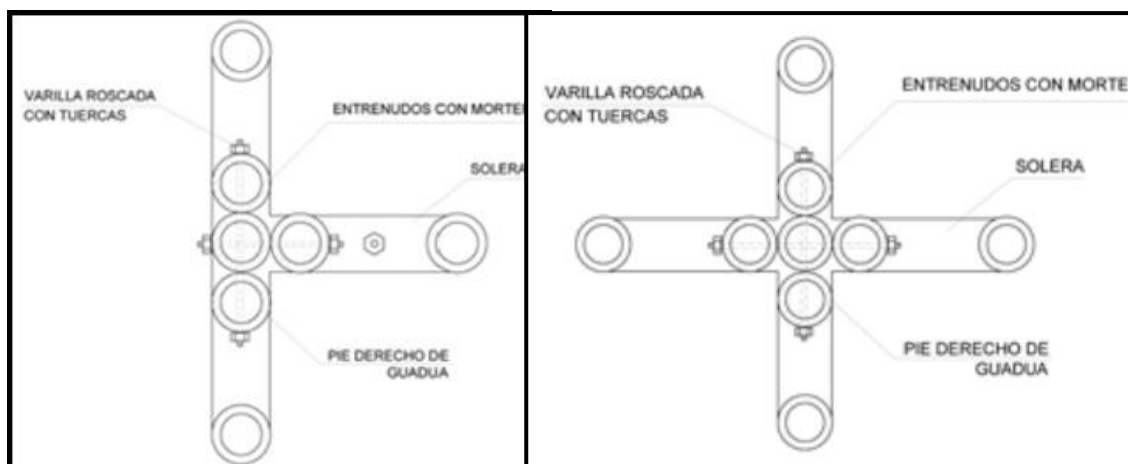
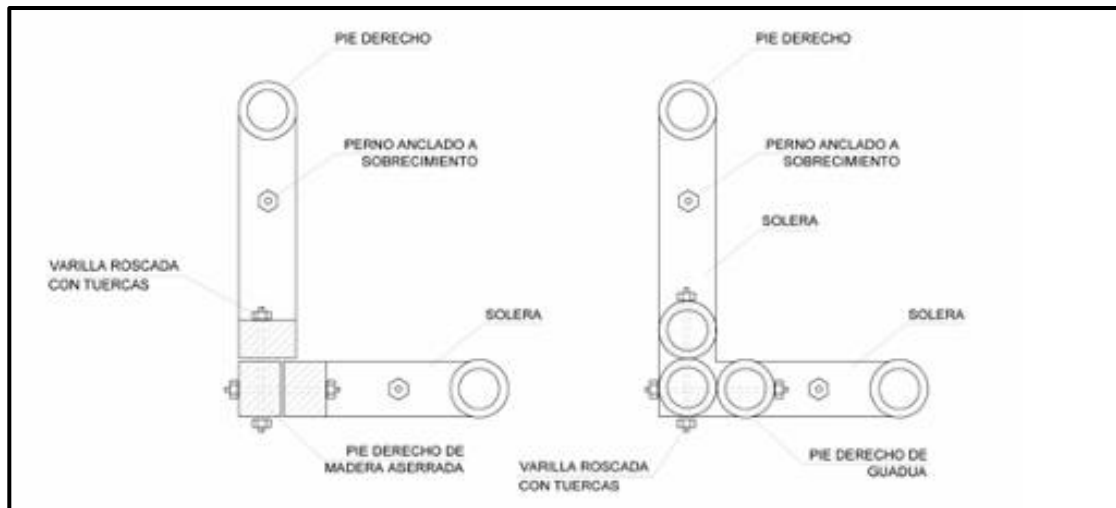


Ilustración 26: *Unión muros en L*

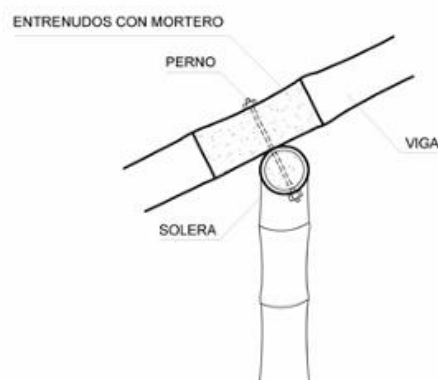


Fuente: Adoptado de *Construcción sismo resistente de viviendas de uno y dos pisos de bahareque encementado* (p.38), AIS,2001

c) Uniones entre muros y cubiertas:

Por otro lado, las uniones entre muros y cubiertas requieren amarres que aseguren la fijación de las vigas superiores de los muros a las vigas de la cubierta. Para garantizar la integración estructural y evitar movimientos indeseados, se utilizan conectores de anillo y clavos en ángulo, proporcionando una conexión firme y estable entre ambos elementos (Ilustración 27). (López Muñoz, 2015).

Ilustración 27: Unión vigueta cubierta a solera



Fuente: Adoptado de *Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado* (p.61), López Muñoz, 2015

4.3. Madera-Secado, corte, preservación y métodos de preservación

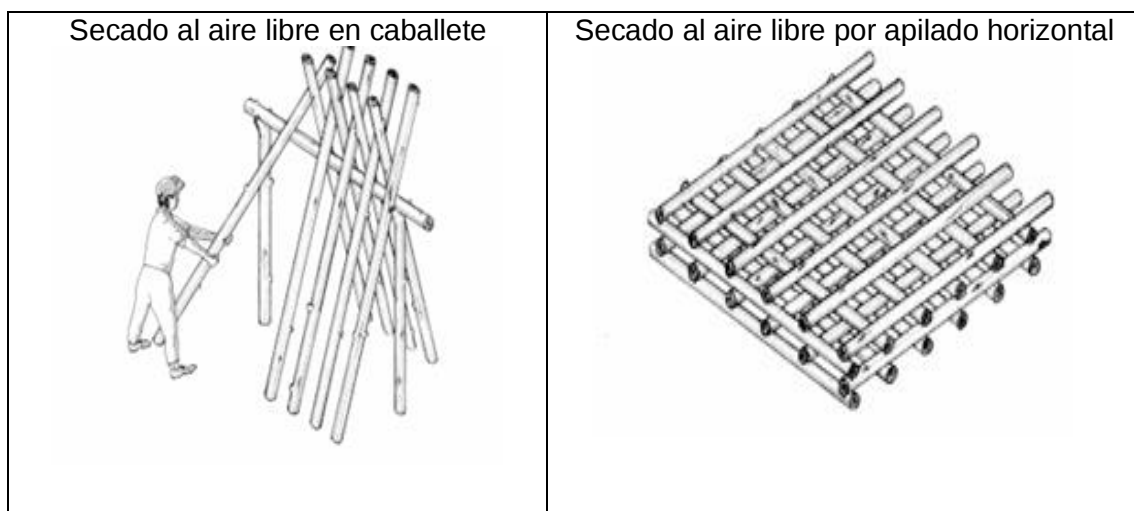
La madera, una vez cortada, debe pasar por un proceso de secado para mejorar su calidad y evitar deformaciones. Este proceso no solo elimina la savia y reduce la humedad, sino que también prepara la madera para su uso final, adaptándola a las condiciones ambientales a las que se enfrentará. Sin embargo, es crucial controlar el proceso de secado, ya que puede causar cambios en las dimensiones de la madera y, en consecuencia, generar imperfecciones en la pieza (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

4.4. Secado al aire libre o natural y secado artificial

El secado de la madera se realiza mediante dos métodos principales: el secado al aire libre (natural) y el secado artificial (Ilustración 28).

En el secado al aire libre, la madera no debe exponerse directamente al sol, sino que se coloca en terrenos planos, limpios y con buen drenaje. El apilado de la madera puede realizarse de diversas formas, como el apilado horizontal, en caballete y por los extremos (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 28: *Secado al aire libre de la madera*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

El secado artificial, por su parte, se lleva a cabo en instalaciones especiales (hornos) donde se controlan la temperatura, la humedad y la ventilación. Este método

reduce el tiempo de secado y permite obtener niveles de humedad muy bajos en la madera (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

4.5. Corte

El corte de la madera debe realizarse preferentemente en menguante y durante la estación seca, cuando el contenido de savia en el árbol es menor. Esto reduce el riesgo de que la madera sea atacada por insectos. Una vez cortado el tronco, se recomienda dejarlo reposar en el suelo seco durante aproximadamente 30 días, sin retirar la corteza y evitando que se curve o deforme (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

4.6. Preservación

La preservación de la madera, también conocida como inmunización, es un proceso que busca alterar la composición química de la madera para hacerla resistente o tóxica para organismos biológicos que puedan dañarla. Los preservantes utilizados pueden ser compuestos químicos individuales o mezclas de varios compuestos. Para que el tratamiento sea efectivo, es necesario que los preservantes penetren profundamente en la madera, por lo que esta debe estar seca y ya cortada (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Métodos de preservación

La madera se puede proteger de agentes dañinos aplicando el preservante directamente sobre su superficie o introduciéndolo a presión en un ambiente controlado (Ilustración 29). (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

- ✓ **Aplicación:** El preservante se aplica a la madera utilizando brochas, pulverización, inmersión o baños calientes y fríos.
- ✓ **Presión:** El preservante se introduce en la madera utilizando presiones superiores a la atmosférica dentro de una autoclave.

Ilustración 29: *Método de preservación por inmersión*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

Carazas Aedo & Rivero Olmos (2002), describen el procedimiento para el secado, corte, preservación e inmunización de la madera, la cual coincide en esencia con las disposiciones del Título G de la NSR-10. Ambos establecen que el secado, ya sea al aire libre o de forma artificial, es fundamental para eliminar la savia y reducir la humedad, evitando deformaciones y preparándose para el uso final. Asimismo, se recomienda realizar el corte de la madera en condiciones óptimas (preferiblemente en menguante y durante la estación seca) y dejar reposar el tronco para minimizar el riesgo de ataques de insectos y deformaciones, manteniendo la corteza intacta durante dicho proceso.

Por otro lado, en cuanto a la preservación, tanto el texto como el Título G enfatizan que la inmunización de la madera debe ejecutarse con la pieza ya seca y cortada, utilizando preservantes que se apliquen ya sea de forma directa (mediante brochas, pulverización o inmersión) o por presión en autoclave. En conclusión, la información es congruente con lo establecido en el Título G de la NSR-10, aunque se podría complementar incorporando detalles adicionales relativos al control de calidad y a la actualización tecnológica en el tratamiento de la madera.

4.7. Varas - Cañas / Bambú

Las cañas de bambú, clasificadas como gramíneas, ofrecen características físicas y mecánicas que las hacen útiles en la construcción. Es un material accesible y

fácil de trabajar con métodos manuales. El momento ideal para el corte es en época seca, durante la luna menguante y cuando la planta ha alcanzado su madurez, que varía según la especie. Se recomienda cortar entre 30 y 40 cm por encima del suelo y después de un nudo. Si se va a utilizar como elemento estructural, debe cortarse en la edad adulta (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

El corte debe ser limpio para no dañar el tallo, utilizando una herramienta afilada. Después del corte, las cañas necesitan un período de curado para eliminar la savia. Para ello, se dejan en el campo de corte en posición vertical, con sus ramas y sin tocar el suelo, durante 4 a 8 días (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Secado

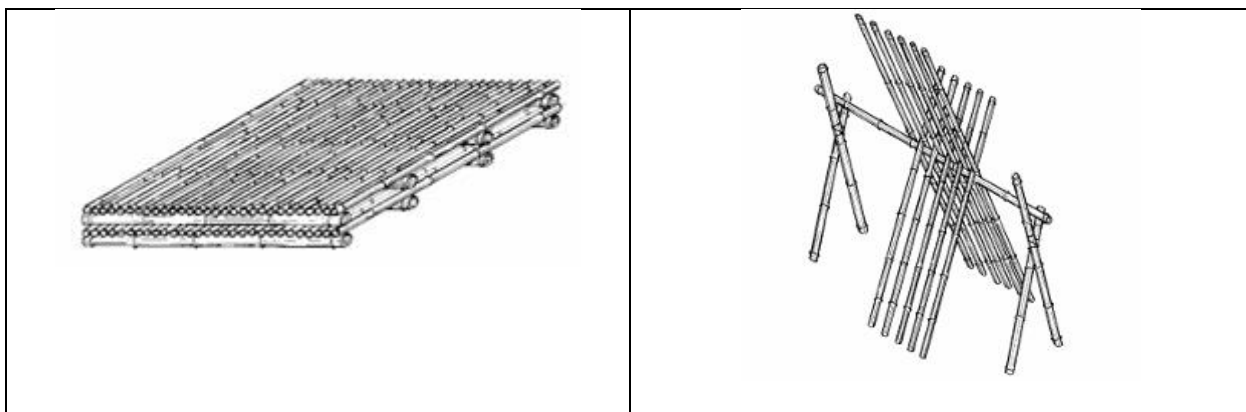
El secado de las cañas es un paso fundamental para prevenir deformaciones, rajaduras y cambios dimensionales en la madera ya trabajada. La reducción del contenido de humedad por debajo del 15% también evita la proliferación de organismos biológicos que puedan deteriorar el material (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Existen dos métodos principales para llevar a cabo el secado de las cañas:

- a) Secado al aire libre: Las cañas se exponen a las condiciones ambientales, preferiblemente bajo techo y en un lugar ventilado como se muestra en la Ilustración 30, durante un período aproximado de 60 días (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 30: *Método de secado al aire libre del bambú*

Secado al aire libre por apilado horizontal	Secado al aire libre en caballete
---	-----------------------------------



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

- b) Secado con calor: Se utilizan fuentes de calor como estufas o fuego abierto para acelerar el proceso de secado. Sin embargo, se debe tener precaución de no aplicar calor en exceso, ya que esto podría dañar las cañas. Este método reduce el tiempo de secado a 2 o 3 semanas (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Preservación

La preservación de las varas de bambú es un proceso crucial para asegurar su durabilidad. Consiste en introducir productos protectores, como germicidas, fungicidas e insecticidas, en los espacios entre las fibras interiores de las varas que estarán expuestas a la intemperie. Para las varas que se utilizarán en el interior de los muros, solo es necesario eliminar los almidones y azúcares que puedan quedar en su interior (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Existen varios métodos para llevar a cabo la preservación de las varas de bambú:

- ✓ Inmersión: Sumergir las varas en una solución conservante (salina, cal o asfalto quemado) durante 5 horas, o simplemente en agua limpia durante un mes, cambiando el agua a diario.
- ✓ Procedimiento "Boucherie": Conectar los tallos a un depósito elevado que contiene el producto preservante, permitiendo que este penetre en la madera.
- ✓ Llenado de tallos: Llenar los tallos, previamente tapados en un extremo, con productos preservantes.

Según Astudillo Cordero & Vacacela Albuja (2015) de los diversos métodos y sustancias para proteger la madera, se deben escoger los menos tóxicos. Por lo tanto, se utiliza bórax y ácido bórico mediante el método de inmersión y por último se aplica una capa de aceite de linaza para proteger la madera de las inclemencias del tiempo. El tiempo de inmersión son 48 horas y por cada litro de agua se colocan 10 g de bórax y 10 g de ácido bórico.

Especies más utilizadas en América Central

La construcción en América Central ha aprovechado históricamente los recursos naturales disponibles, y las especies de caña y bambú han jugado un papel fundamental debido a su abundancia, versatilidad y propiedades estructurales. Estas gramíneas, con sus tallos huecos y ligeros, ofrecen una alternativa sostenible y económica para diversas aplicaciones constructivas, desde viviendas hasta elementos decorativos (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

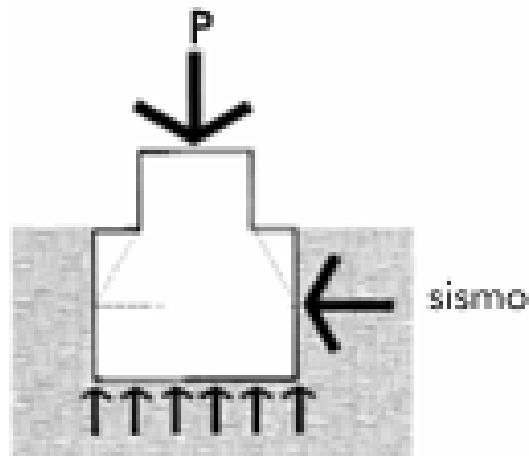
A continuación, se describen algunas de las especies más utilizadas en la región:

- ✓ Arundo donax (caña gigante, caña bambú, vara de coheta)
- ✓ Gynierium sagittatum (caña brava, caña blanca, caña amarga, vara de tusa)
- ✓ Phragmites communis (caña acuática común)
- ✓ Guadua angustifolia (caña de guayaquil, bambú, guadua)
- ✓ Chusquea spp (chusque, carrizo suro).

4.8. Cimentaciones

Las cimentaciones tienen la función principal de transferir el peso de una construcción al terreno subyacente (Ilustración 31). Es fundamental que la carga de la estructura sea compatible con la capacidad portante del suelo, el cual debe ser estable. Además, se debe asegurar una conexión sólida entre la estructura y la cimentación, así como un anclaje adecuado entre esta última y el terreno (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 31: Cimentaciones



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

Pineda Uribe (2017) describe las variadas y a menudo inadecuadas cimentaciones encontradas en viviendas rurales, reflejando la autoconstrucción sin asesoramiento técnico (Ilustración 32). Se mencionan desde zanjas de piedra unidas con argamasa de cal (a veces incluyendo sangre de toro), hasta pilastras de ladrillo en laderas y guaduas apoyadas directamente en el suelo.

Ilustración 32: Cimientos y sobrecimientos



zanja de piedra de canto



Sobrecimiento sobre piedra

Fuente: Adaptado de *Características y patologías constructivas del bahareque tradicional en la vereda san pedro del municipio de Anserma* (caldas) (p.24), Pineda Uribe, 2017

Según el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, la construcción de cimientos requiere que el fondo de la zanja no esté compuesto por

arena suelta ni suelo inestable. La excavación debe tener una profundidad mínima de 60 cm y un ancho de al menos 50 cm. Para su relleno, se debe emplear piedra de gran tamaño junto con una mezcla de cemento y hormigón o mediante técnicas de albañilería en piedra, alcanzando una altura de 50 cm. Además, los cimientos destinados a los muros deben ser contruidos con concreto ciclópeo o albañilería de piedra, garantizando así estabilidad y resistencia estructural (Dirección Nacional de Construcción -Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

La albañilería de piedra es una técnica constructiva ancestral que emplea piedras naturales unidas con argamasa para formar estructuras resistentes y duraderas. Su aplicación varía según el tipo de piedra disponible y el sistema constructivo utilizado. Existen diferentes tipos de mampostería de piedra, como la en seco, que no usa mortero, y la concertada, donde las piedras se labran y acomodan con precisión. La argamasa, generalmente compuesta de cal y arena, es fundamental para la cohesión y estabilidad de los muros. Además, la técnica de construcción debe considerar factores como la resistencia mecánica, la disposición de las piezas y la correcta distribución de cargas para evitar fallas estructurales. La albañilería de piedra ha sido ampliamente utilizada en la edificación de muros, puentes y edificaciones patrimoniales, destacándose por su sostenibilidad y adaptación a diferentes climas y terrenos (Camacho Mesa, 2008).

La argamasa en la albañilería de piedra es un material fundamental compuesto principalmente de cal y arena, aunque en algunas ocasiones se le agregan aditivos para mejorar sus propiedades. Su función principal es unir las piedras y proporcionar cohesión estructural, evitando desplazamientos y asegurando la estabilidad del muro. Además, rellena los espacios entre las piedras, reduciendo filtraciones y aumentando la resistencia mecánica. Para cumplir eficazmente su propósito, la argamasa debe combinar resistencia y flexibilidad, permitiendo pequeños ajustes sin comprometer la solidez de la estructura. Su durabilidad frente a la intemperie y su capacidad de adherencia son esenciales para prevenir desprendimientos y fisuras. Dependiendo de

su composición y uso, existen diferentes tipos de argamasa, como las de cal, que son más permeables y apropiadas para edificaciones tradicionales, o aquellas con aditivos como cemento o yeso, que mejoran la resistencia y aceleran el fraguado. En cuanto a su aplicación, se extiende en capas uniformes entre las piedras, utilizando herramientas como la llana o, en algunos casos, aplicándola manualmente para lograr una mejor compactación. Es crucial mantener un espesor homogéneo en la mezcla para garantizar una distribución equilibrada de la carga, asegurando así la estabilidad y longevidad de la construcción (Camacho Mesa, 2008).

La falta de cimentación adecuada (o su total ausencia en algunos casos) genera problemas como la pudrición de la madera, el ascenso de humedad a los muros y la falta de continuidad de cargas, especialmente en viviendas con muros de mampostería más pesados. La heterogeneidad de materiales y la falta de amarre horizontal en las cimentaciones impiden una transmisión uniforme de cargas al suelo, contraviniendo las normas de construcción (Pineda Uribe, 2017).

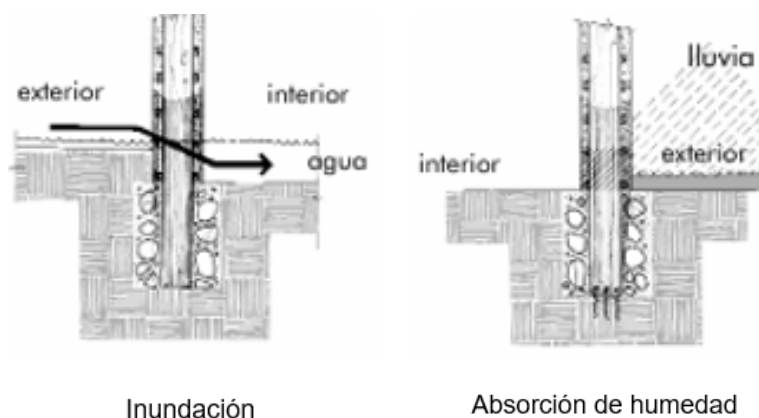
Sin embargo, se destaca una buena práctica constructiva en una vivienda que utiliza riostras diagonales en los cimientos, manteniendo la estabilidad con los materiales tradicionales del bahareque. En resumen, Pineda Uribe (2017) evidencia la necesidad de mejorar las prácticas constructivas en viviendas rurales, especialmente en lo que respecta a cimentaciones, para garantizar la seguridad y durabilidad de las construcciones.

La vulnerabilidad sísmica del bahareque tradicional, según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, radica principalmente en la falta de conexiones efectivas entre los muros y otros elementos estructurales como la cimentación, entrepisos y cubierta. Esta deficiencia se evidencia en viviendas con pilastras sin anclaje adecuado o guaduas simplemente apoyadas sobre piedra, donde la estabilidad depende únicamente del peso de la estructura, haciéndolas susceptibles a deslizamientos y desplazamientos (Pineda Uribe, 2017).

Para evitar problemas de humedad y posibles inundaciones que debiliten los muros y los hagan más vulnerables ante un sismo, es fundamental construir cimientos sólidos y asegurar que los sobrecimientos se eleven al menos 20 cm por encima del nivel del terreno exterior. De esta manera, se previene que el muro absorba humedad en caso de lluvia y se evita que el agua ingrese a la vivienda si el nivel del piso interior es más bajo que el exterior (

Ilustración **33**). (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

Ilustración 33: Problemas por inundación y humedad



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

La elección del material para cimientos y sobrecimientos dependerá de la disponibilidad de materiales en la zona, los costos asociados y la rapidez con la que se requiera construir la estructura. El ancho mínimo recomendado para una cimentación es de 40 cm. Sin embargo, se sugiere que este ancho sea 1.5 veces el ancho del muro que soportará. La altura mínima recomendada para los cimientos es de 20 cm. (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002)

4.9. Sobrecimentación

El sobrecimiento en viviendas construidas con bahareque cumple una función clave dentro del sistema estructural, ya que permite elevar la estructura por encima del nivel del suelo y protege los muros de la humedad. Para su correcta ejecución, se recomienda que el nivel inferior de las vigas de cimentación esté a una profundidad mínima de 500 mm respecto al nivel de acabado del primer piso. Sobre estas vigas se debe construir el sobrecimiento con mampostería confinada, mampostería reforzada o concreto, asegurando que sobresalga al menos 80 mm. Este debe anclarse adecuadamente a la cimentación mediante barras de refuerzo para garantizar estabilidad y resistencia. En casos donde la profundidad del estrato de suelo competente supere los 700 mm, es posible reducir la altura del sobrecimiento colocando la viga de

cimentación sobre un relleno de concreto ciclópeo. Este relleno debe tener una anchura mínima de 300 mm y una altura mínima de 200 mm (Casanova Echavez, 2011).

El sobrecimiento debe ser construido con concreto ciclópeo o albañilería de piedra. Su altura debe permitir que sobresalga mínimo 20 cm sobre el nivel del suelo para garantizar protección contra la humedad y estabilidad estructural. Para su construcción, se recomienda usar tablas de 30 cm de altura como mínimo para encofrarlo, separadas según el ancho del muro. Se llena con piedra mediana y una mezcla de concreto ciclópeo o albañilería de piedra, asegurando un buen compactado. Además, el sobrecimiento cumple la función de nivelar las hiladas de los muros, facilitando su correcta alineación durante la construcción (Dirección Nacional de Construcción -Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

Según Cardoso Mora (2015) el sobrecimiento cumple una doble función esencial y es que resguarda los muros de tierra de la humedad del suelo y de las salpicaduras de lluvia, y actúa como un encadenado que rodea la estructura, sosteniendo y protegiendo las columnas de madera. Se construye con piedra de cantera, unidas con hormigón en el centro, aunque también se podría usar la misma mezcla de barro de los muros, siempre evitando que la tierra toque la cara exterior.

4.10. Estructura y relleno - Bahareque tradicional

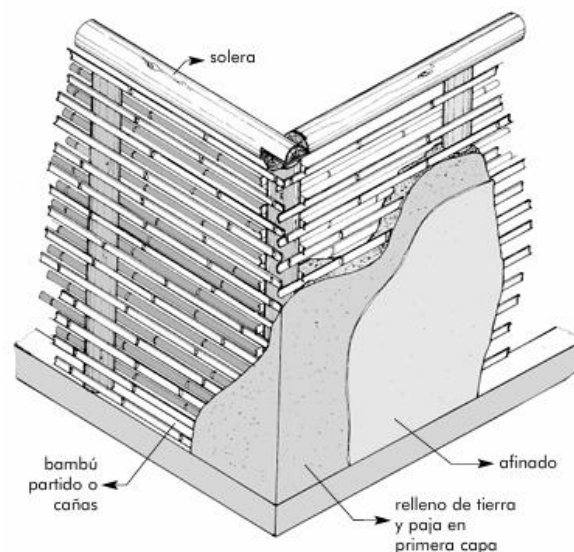
El bahareque tradicional, una técnica constructiva ancestral, se basa en la creación de muros mediante el entramado de elementos vegetales. Se construye una estructura, ya sea de madera rolliza o bambú (guadua), que posteriormente se rellena con una mezcla de tierra y paja. Esta mezcla se introduce a presión dentro de un doble enrejado de tiras de bambú o cañas delgadas, conformando así el muro (Ilustración 34). (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002).

El bahareque, un sistema constructivo tradicional, emplea una mezcla de barro, agua y paja picada para crear muros. Esta mezcla, al secar, ofrece buena adherencia a la estructura de soporte, típicamente hecha de guadua o madera. En algunas ocasiones,

se añade estiércol seco de ganado vacuno o equino a la mezcla, lo que mejora la cohesión del material y aumenta su resistencia. Actualmente, algunos constructores también incorporan aglomerantes como cal o cemento a la mezcla de bahareque, buscando incrementar aún más la resistencia y durabilidad de los muros construidos con este sistema (Pineda Uribe, 2017).

El artículo “Diseño de un sistema autoconstructivo a base de tapial y bahareque de bajo costo e impacto ambiental para una vivienda” habla de que el relleno de los muros de bahareque requiere una preparación cuidadosa de los materiales. La paja, elemento fundamental de la mezcla, debe estar completamente seca y cortada en trozos delgados. La tierra, por su parte, se hidrata progresivamente con una manguera, evitando formar montículos, hasta alcanzar una consistencia "chiclosa" y homogénea al integrarse con la paja. La aplicación del relleno se inicia desde la parte inferior del muro, lanzando bolas de tierra del tamaño de un puño con fuerza suficiente para que penetren en los huecos del entramado. Durante este proceso, es necesario modelar la tierra con las manos para asegurar que se distribuya uniformemente y rellene todos los espacios (Rodríguez Ruiz et al., 2020).

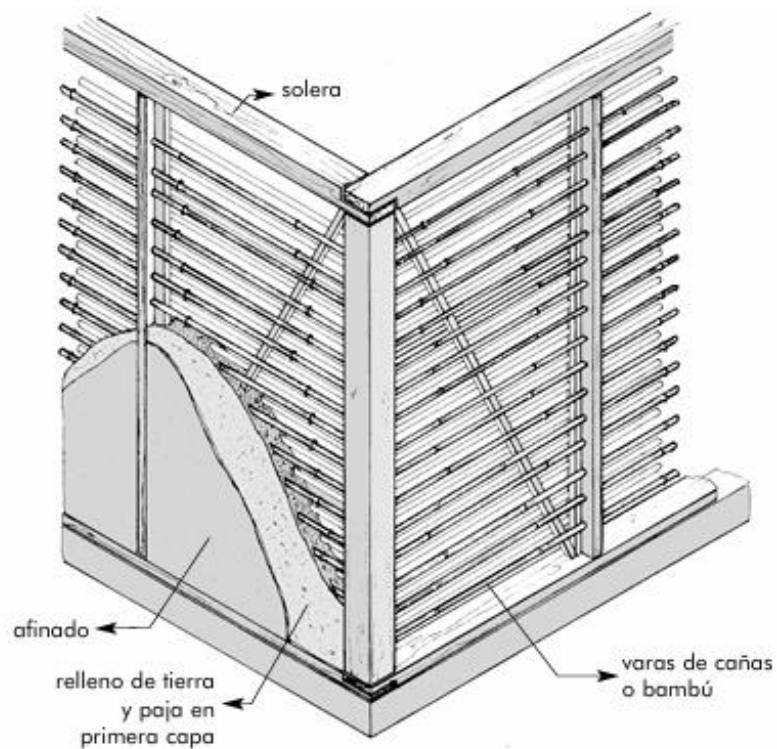
Ilustración 34: *Detalle de la estructura del muro en bahareque tradicional*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002.

4.11. Estructura y relleno - bahareque convencional

Ilustración 35: *Detalle de la estructura del muro de bahareque convencional*



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002

4.12. Cubierta

Ilustración 36: *Cubiertas de teja de barro y paja*



4.13. Revestimientos

Ilustración 37: *Repello con cal*



Fuente: Adoptado de *Manual popular para la construcción y mantenimiento de la vivienda de adobe sismo-resistente* (p.23), Peña, 2021.

Según Astudillo Cordero & Vacacela Albuja (2015) para preparar el recubrimiento, se combinan 6 kg de tierra (compuesta por 75% de arena y 25% de arcilla) con 8% de cabuya, 8% de estiércol de caballo y 4% de engrudo, todos medidos en volumen. La cantidad de agua necesaria para lograr una consistencia pastosa en la mezcla dependerá de la humedad presente en los materiales.

El proceso de repello, que consiste en revestir las paredes para protegerlas y embellecerlas, se lleva a cabo en varias etapas clave:

Preparación

Ilustración 38: *Preparación del muro para repello.*

Ilustración 39: *Capa de nivelación para repello del muro.*

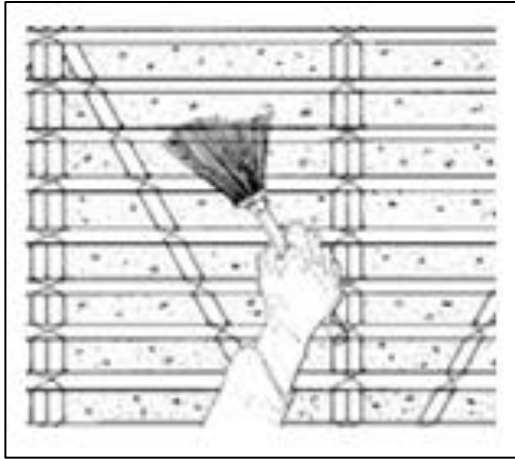


Ilustración 40: Incisiones en la primera capa del repello del muro

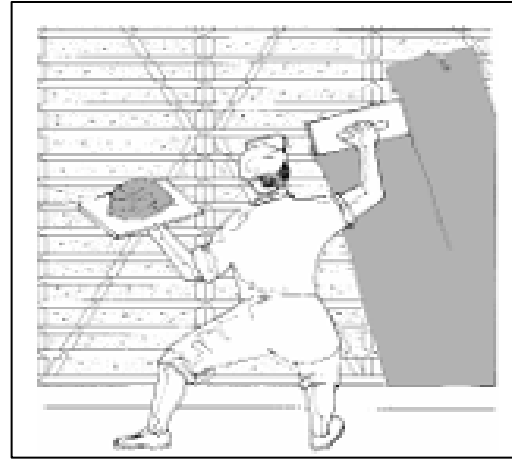


Ilustración 41: Segunda capa o afinado del repello del muro.

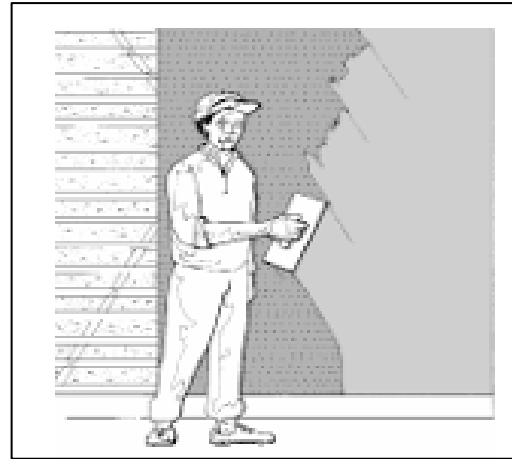
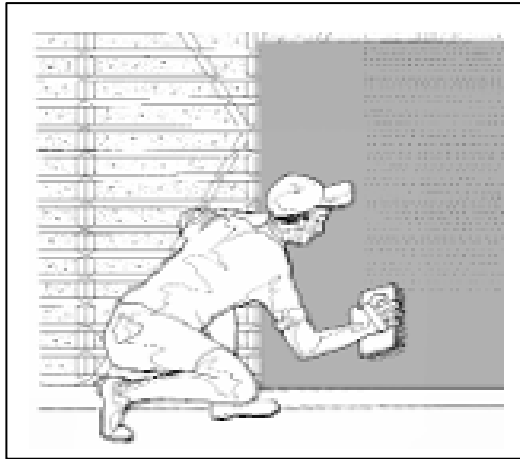
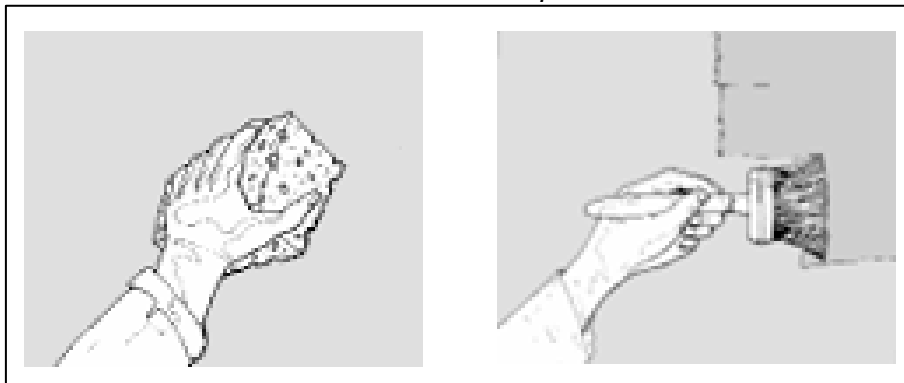


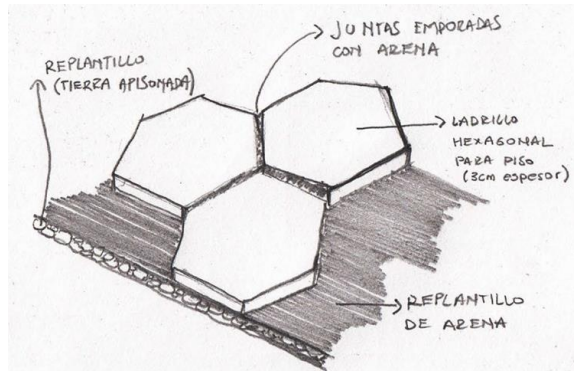
Ilustración 42: Sellado del repello de un muro.



Fuente: Adoptado de *Bahareque-guía de construcción parasísmica* (p.18), Carazas & Rivero, 2002.

4.14. Pisos

Ilustración 43: Pisos en ladrillo hexagonal



Fuente: Adaptado de *Manual para la autoconstrucción de una vivienda en adobe y bahareque* (p.99), Cardoso Mora, 2015

4.15. Cieloraso

La falta de cieloraso en las viviendas tradicionales analizadas genera una pérdida significativa de calor interior, especialmente durante las noches frías, afectando negativamente el confort térmico de sus habitantes. La incorporación de cielos rasos, ya sean horizontales o inclinados, mejoraría la eficiencia energética y la estética de las viviendas. En el caso de cielos rasos horizontales, se recomienda crear una cámara de aire entre los muros y la cubierta para un mayor aislamiento. Para cielos rasos inclinados, se sugiere el uso de un aislante térmico como lámina de corcho de 3mm sobre el cielo raso (Quizhpe Vacacela, 2016).

Para la construcción del cieloraso, se nivela y se encola, seguida de una mezcla de arena finamente molida y arcilla con agua de arroz. Una vez preparada la superficie, se deja secar y posteriormente se procede a pintarla. (PNUD/UNESCO, 1983).

El rápido crecimiento de la guadua, que alcanza su óptima calidad a los 4 años, la convierte en un material ideal para la construcción, especialmente en cielosrasos elaborados con latas y esterilla. Esta tradición se refleja en cuatro viviendas centenarias, conservadas por generaciones, donde el cieloraso de guadua, junto con el bahareque tradicional y mantenimientos sencillos como fumigaciones y pintura, han garantizado su perdurabilidad. La guadua demuestra así su resistencia y valor como material de construcción, capaz de mantenerse en perfecto estado a lo largo del tiempo (Pineda Uribe, 2017).

El cieloraso de barro, una técnica constructiva ancestral, emplea el mismo método del bahareque para revestir las superficies interiores de las viviendas. Esto significa que se aplica una mezcla de barro, fibras vegetales y, a veces, otros materiales, sobre una estructura de soporte, creando una capa protectora uniforme. Esta capa de barro cumple una doble función: por un lado, actúa como aislante térmico y acústico, regulando la temperatura interior y absorbiendo el sonido; por otro lado, protege las estructuras subyacentes de los elementos climáticos, como la humedad y la lluvia, previniendo la corrosión y el deterioro. Además, el barro actúa como una barrera natural contra insectos y otros animales, evitando que dañen la construcción. En resumen, el cieloraso de barro ofrece una solución constructiva sostenible, duradera y eficiente, que aprovecha los recursos naturales locales para crear espacios habitables confortables y protegidos (Cardoso Mora, 2015).

En las viviendas de bahareque, los ciellorrasos pueden construirse con tierra, esterilla, caña brava o bambú, materiales que aportan aislamiento térmico y regulación de la humedad, (Ver

lustración 44). Cada técnica varía según la disponibilidad de recursos y las tradiciones locales, manteniendo siempre un equilibrio entre funcionalidad y estética.

lustración 44: *Tipos de Cieloraso presentes en casas de bahareque.*



Esterilla



Caña Brava



Bambú



Tierra

Fuente: Adaptado de Manual para la autoconstrucción de una vivienda en adobe y bahareque (p.110-113), Cardoso Mora, 2015

5. Características de vivienda autóctona en adobe

5.1. Cimentaciones

La vivienda autóctona se caracteriza por cimientos ciclópeos sobre el terreno natural, constituidos por la combinación del barro o greda y piedras de diferentes tamaños, las cuales fluctúan entre un rango de 3-9 pulgadas (Rivera Salcedo et al., 2021).

El artículo “Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada” nos dice que las cimentaciones inspeccionadas consisten en vigas corridas de piedra unidas con un material de relleno, formando una estructura

reticular debajo de los muros principales. Estas cimentaciones alcanzan el suelo firme, por debajo de la capa de tierra orgánica. Las vigas de cimentación presentan formas variadas, como en "L", en "T" invertida o una sección prismática del mismo ancho que el muro, como se muestra en la

Ilustración 45 y en la Ilustración 46. Los rellenos utilizados incluyen suelo arenoso o lleno de cal y canto, con rocas angulosas, redondeadas o una mezcla de ambas (Yamín Lacouture et al., 2007).

Ilustración 45: Cimentación en L con rocas y mortero de cal y arena

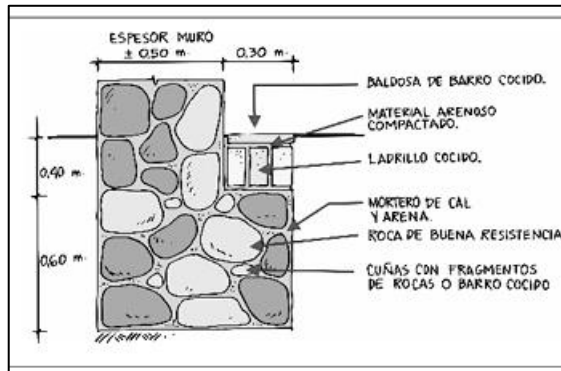
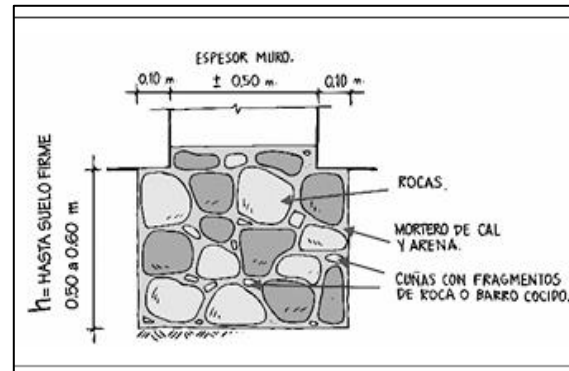


Ilustración 46: Cimentación en T invertida



Fuente: Adaptado de *Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada* (p.6), Yamín, Phillips, Reyes & Ruiz, 2007

En El Salvador, se han implementado estrategias de conservación en sitios arqueológicos mediante recubrimientos de tierra estabilizada con cal, obteniendo resultados muy positivos. Estas acciones se han llevado a cabo tanto en estructuras de tierra de la zona arqueológica de Chalchuapa como en el Valle de Zapotitán. Estos trabajos sirven de guía para la conservación y restauración, ya que durante más de una década se han realizado ensayos enfocados en técnicas tradicionales para elaborar adobes y recubrimientos de tierra compactada estabilizada con cal y materiales puzolánicos volcánicos en cimentaciones. Estos materiales han demostrado cumplir con los criterios de firmeza, fidelidad y estética, importantes en intervenciones de estructuras prehispánicas de tierra (Guerrero y Camacho, 2015).

En la Ilustración 47 se observa el proceso de consolidación del mortero de unión en la estructura arqueológica de Tazumal, utilizando tierra estabilizada y compactada. Se puede apreciar la textura del mortero y la marca distintiva de la herramienta de madera empleada para su compactación.

La elección del material para las cimentaciones dependerá de su disponibilidad, costo y facilidad de instalación. El ancho mínimo recomendado para la cimentación es

de 40 cm; sin embargo, para una mayor estabilidad, se sugiere que su dimensión corresponda al menos a 1.5 veces el ancho del muro (Carazas Aedo, 2002).

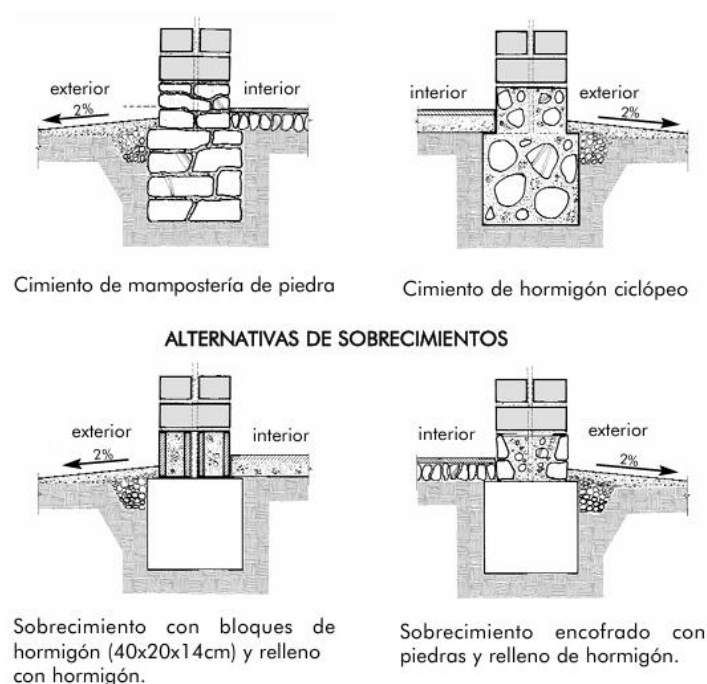
Ilustración 47: *Consolidación del mortero de unión con tierra estabilizada y compactada en Tazumal*



Fuente: Adaptado de Recubrimientos de tierra compactada para la conservación del patrimonio arqueológico de México y El Salvador, (p.2), Guerrero & Camacho, 2015

La Ilustración 48 muestra distintos tipos de cimentaciones y sobrecimientos en construcciones de bahareque. Se presentan cimentaciones de mampostería de piedra y hormigón ciclópeo, así como sobrecimientos con bloques de hormigón rellenos de concreto y encofrados con piedras y hormigón, garantizando estabilidad y resistencia estructural.

Ilustración 48: *Tipo de sobrecimientos y cimientos presentes en estructuras de adobe*



Fuente: Adaptado de Adobe- *Guía de construcción parasísmica* (p.24), Carazas Aedo, 2002

5.2. Estructura

En relación con la normativa vigente, el código ecuatoriano de construcción no contempla regulaciones específicas para estructuras de adobe, ni disposiciones sobre su evaluación y refuerzo. En contraste, la normativa chilena (INN NCh 3332) establece criterios destinados a preservar y mejorar la capacidad estructural de estas edificaciones, con el objetivo de resistir cargas estáticas y sísmicas. Por otro lado, la norma peruana E:080 (MVSC, 2017) aborda intervenciones en edificaciones patrimoniales y construcciones de adobe reforzadas con geomalla, incluyendo especificaciones de buenas prácticas y la obligatoriedad de arriostres horizontales (en entrepisos y cubiertas) y verticales (como contrafuertes o muros transversales) (Lara y Bustamante, 2022).

En Colombia, la NSR-10 establece disposiciones especiales para el diseño, rehabilitación y refuerzo de estructuras patrimoniales en adobe o tapia pisada, buscando mejorar su seguridad sísmica sin comprometer su integridad y autenticidad. La norma recomienda métodos de intervención mínimos, compatibles con los materiales originales

y, de ser posible, reversibles. Además, exige evaluaciones estructurales y sísmicas detalladas, y coordinar las intervenciones con las autoridades de patrimonio para preservar el valor histórico, garantizando la protección de los ocupantes y del legado cultural.

De forma general, se reconoce que el sistema en adobe se conforma por muros compuestos por bloques de adobe adheridos entre sí por un mortero de pega a base de greda (Rivera Salcedo et al., 2021). Los muros de adobe varían en tamaño según la tradición y las preferencias de construcción, con bloques que miden entre 0,30 y 0,40 metros de largo, 0,15 y 0,20 metros de ancho y 0,07 y 0,10 metros de alto. Los muros terminados varían en grosor desde 40 cm hasta 1 metro, con alturas de piso inferiores a 3,5 metros y longitudes variables. Los muros de carga generalmente se construyen con un patrón específico mientras que los muros no portantes a menudo usan un patrón de unión simple. En algunas construcciones en Bogotá, se observan refuerzos internos en muros divisorios sin conexión con los muros principales, probablemente para mejorar la estabilidad (Yamín Lacouture et al., 2007).

Carazas Aedo (2002) elaboró una guía en la que explica el proceso de construcción de moldes para la fabricación de ladrillos de adobe (

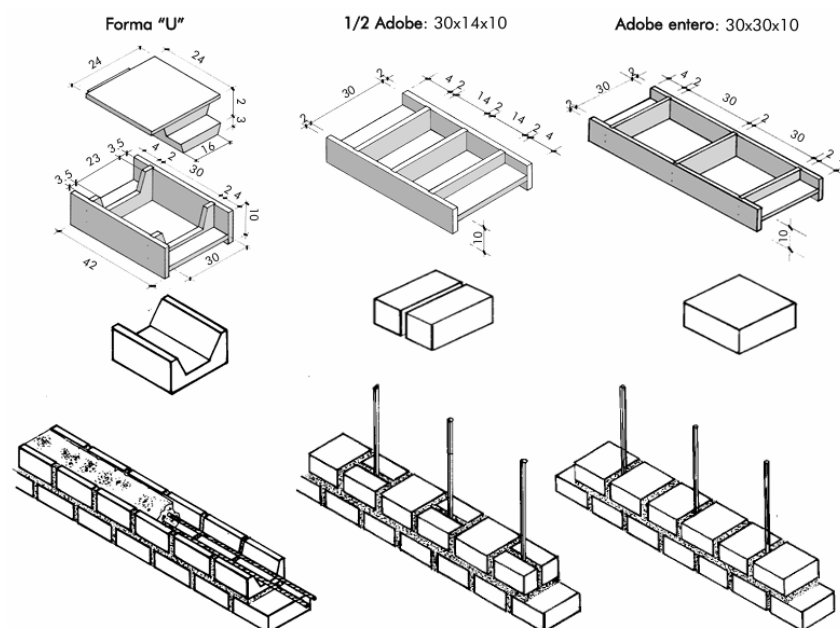
Un muro de carga tiene la función de transferir tanto su propio peso como las cargas del techo hacia la cimentación. Durante un sismo, estos muros están sometidos a esfuerzos perpendiculares a su plano, lo que puede comprometer su estabilidad. La incorporación de refuerzos verticales y horizontales fortalece su resistencia sísmica, reduciendo el riesgo de colapso. Además, la integración de refuerzos internos ayuda a mantener la cohesión estructural, evitando la separación en las esquinas y previniendo desprendimientos o caídas del muro.

Ilustración 49). Además, aborda el concepto del adobe sismorresistente, destacando que un adobe de forma cuadrada se ajusta mejor a la lógica constructiva para resistir sismos. Su diseño facilita la integración en la estructura de la vivienda y

mejora el aparejo, proporcionando mayor estabilidad. Se ha demostrado que su resistencia mecánica es superior a la de los adobes rectangulares. Asimismo, la calidad del adobe y su comportamiento ante un sismo dependen de factores como la selección adecuada de la tierra, el uso de fibra vegetal seca y la proporción exacta de agua en su elaboración.

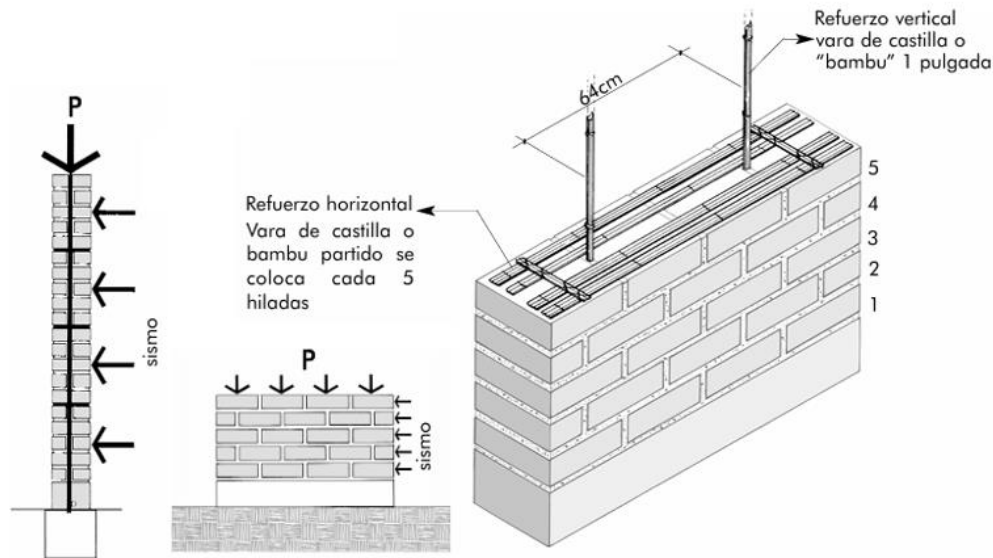
Un muro de carga tiene la función de transferir tanto su propio peso como las cargas del techo hacia la cimentación. Durante un sismo, estos muros están sometidos a esfuerzos perpendiculares a su plano, lo que puede comprometer su estabilidad. La incorporación de refuerzos verticales y horizontales fortalece su resistencia sísmica, reduciendo el riesgo de colapso. Además, la integración de refuerzos internos ayuda a mantener la cohesión estructural, evitando la separación en las esquinas y previniendo desprendimientos o caídas del muro (Carazas Aedo, 2002).

Ilustración 49: *Moldes para fabricación de ladrillos en adobe*



Fuente: Adaptado de *Adobe- Guía de construcción parasísmica* (p.14), Carazas Aedo, 2002

Ilustración 50: *Refuerzos verticales y horizontales*



Fuente: Adaptado de Adobe- *Guía de construcción parasísmica* (p.28), Carazas Aedo, 2002

5.3. Cubierta

El armazón, o cubierta son construidas en cedro, material con el cual se construye también las puertas y las ventanas son abatibles doble hoja. Esta madera debe ser cortada en menguante, pues durante dicha fase lunar, el frío y la oscuridad de la noche contraen la savia del árbol, lo cual permite que el secado de la madera sea más rápido, uniforme y con una menor probabilidad de que se arquee al secarse (Rivera Salcedo et al., 2021).

Las cubiertas son mayoritariamente de dos vertientes con una pendiente entre el 20 y el 35%. Presentan una estructura de madera que se compone de varas de pino o de eucalipto con un diámetro de 8 cm, apoyadas sobre los muros periféricos y sobre la pared maestra, cuando existe; o en su defecto, sobre una viga cumbrera de madera, generalmente de roble, cuadrada o circular con una dimensión de 25 cm. Es rara la existencia de armaduras de madera, que permiten anular la transmisión de acciones horizontales resultantes del peso de la cubierta. Por lo general, bajo las tejas existe un forro en cañas o listones de madera (Braga y Graça, 2011).

El techo puede estar conformado por láminas de zinc (material más utilizado actualmente) o en palma real (método más aplicado en la antigüedad por los pobladores de Casanare), pues, según personas que habitaron este tipo de edificaciones, la palma

es un gran aislante térmico. Sin embargo, su uso ha disminuido por la facilidad de que en dicho material se críen hongos e insectos que pueden atentar contra la salud de las personas.