

Máster Oficial en Conservación del Patrimonio Arquitectónico

Curso 2016

Trabajo Final de Máster

Análisis constructivo y estructural de la Casa Zarama, Pasto - Colombia

Título

Luis Ángel Plazas Rivera

Alumno

Alonso Adolfo Dura

Verónica Llopis Pulido

Cotutores

Septiembre del 2018 (Video Conferencia)

Fecha prevista para defensa

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad Politécnica de Valencia



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



MASTER OFICIAL EN  
CONSERVACIÓN DEL  
PATRIMONIO ARQ.



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA





Figura 1 Terremoto en Popayán 1999, Artista: Fernando Botero, Técnica: Óleo sobre tela, Dimensiones: 173 x 112 cm. FUENTE: (Banco de la república de Colombia, 2000).

A mis madres adoradas, familias, amigos, profesores y a todos los que me apoyaron y colaboraron en esta etapa tan enriquecedora de mí vida.



## Contenido

Glosario .....	7
1 Introducción .....	8
2 Objetivos .....	11
3 Caso específico .....	13
4 Metodología .....	15
5 Antecedentes .....	19
5.1 Arquitectura ancestral y colonial en Colombia .....	19
5.2 Norma y patrimonio .....	23
5.3 Sismos en Colombia .....	28
5.4 Sistema de inventarios bienes inmuebles en San Juan de Pasto .....	33
6 Estructuras en tierra .....	36
6.1 Vulnerabilidad .....	38
6.2 Daños .....	41
6.3 Refuerzo .....	43
7 Casa Zarama .....	49
8 Análisis constructivo .....	58
9 Análisis estructural .....	94
9.1 Geometría .....	95
9.2 Diseño y estado de la edificación .....	102
9.3 Materiales .....	104
9.4 Cargas .....	106
9.5 Vulnerabilidad sísmica .....	116
9.6 Modelo .....	123
9.7 Estructura actual .....	125
9.8 Refuerzo .....	136
10 Conclusiones .....	145
11 Bibliografía .....	148
12 Lista .....	158
12.1 Listado de Figuras .....	158
12.2 Listado Tablas .....	165

12.3	Listado de gráficos.....	166
12.4	Ecuaciones.....	166
13	Anexos .....	168
13.1	Fotos .....	168
13.2	Fotos históricas .....	184
13.3	Registro fotográfico.....	190
13.4	Ilustraciones.....	229
13.5	Mapa .....	243
13.6	Gráficas.....	267
13.7	Figura .....	268
13.8	Plano .....	269
13.9	ANGLE .....	273
13.10	Tablas.....	284

## Glosario

**Amenaza:** “Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales” (UNISDR, 2009, 5).

**Amenaza geológica:** “Un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales” (UNISDR, 2009, 6).

**Código de construcción:** Una serie de ordenamientos o reglamentos relacionados con estándares que buscan controlar aspectos de diseño, construcción, materiales, modificaciones y ocupación de cualquier estructura, los cuales son necesarios para velar por la seguridad y el bienestar de los seres humanos, incluida la resistencia a los derrumbes y a los daños” (UNISDR, 2009, 11).

**Evaluación del riesgo:** “Una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen” (UNISDR, 2009, 16).

**Grado de Exposición:** “La población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales” (UNISDR, 2009, 17).

**Medidas estructurales y no estructurales Medidas estructurales:** “Cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas. Medidas no estructurales: Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación” (UNISDR, 2009, 20).

**Mitigación:** “La disminución o la limitación de los impactos adversos de las amenazas y los desastres afines” (UNISDR, 2009, 21).

**Prevención:** “La evasión absoluta de los impactos adversos de las amenazas y de los desastres conexos” (UNISDR, 2009, 25).

**Reforzamiento:** “El refuerzo o la modernización de las estructuras existentes para lograr una mayor resistencia y resiliencia a los efectos dañinos de las amenazas” (UNISDR, 2009, 27).

**Riesgo:** La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas” (UNISDR, 2009, 29).

**Vulnerabilidad:** “Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza” (UNISDR, 2009,34).

## 1 Introducción

Las construcciones en tierra constituyen gran parte del patrimonio arquitectónico de las ciudades y pueblos en Colombia. Estas guardan entre sus muros y vigas de madera, la historia de un país y la forma en la cual nuestros antepasados interpretaban el mundo, y relatan por medio de sus construcciones y arquitectura los saberes, costumbres, manera de vivir y de organización de las primeras urbes del “nuevo mundo”.

La continua actividad sísmica en esta región del mundo, y la falta de apropiación por parte de los ciudadanos hacia este tipo de bienes, han puesto en peligro el legado de las personas que lucharon y murieron por un mejor país. Este legado es materializado y transmitido por medio de los monumentos, edificaciones o plazas en donde las primeras voces de independencia y libertad se empezaron a oír, y que hoy en día están siendo calladas, en la medida en que se derrumban edificaciones antiguas y parques para abrir paso al “progreso”.

Rescatar y preservar este legado material del pueblo colombiano, es un paso a la búsqueda de esa tan anhelada identidad nacional. Por medio de la apropiación del ciudadano al patrimonio arquitectónico y su conservación, se buscará que este se reconcilie con su pasado, conociéndolo y aprendiendo de él. De esta manera se reconoce las tradiciones, cultura e historia de los pueblos colombianos. Por eso es importante recalcar, que el patrimonio es del pueblo y por tal motivo la responsabilidad de su conservación recae en sus manos, y no en la del gobierno de turno.

Comprender los materiales y técnicas con los que fue concebida una estructura antigua, nos llevará a realizar un mejor análisis estructural. El resultado será soluciones más eficaces y económicas, que respeten los valores patrimoniales del inmueble y velen por proteger la vida de sus ocupantes.

Esta tesina busca la comprensión de la lógica constructiva - estructural de la Casa Zarama, una antigua casona de tapia pisada, ubicada en el corazón de Pasto<sup>1</sup>, mediante la elaboración de modelos 3D, utilizando softwares especializados y métodos de cálculos avanzados. Se simularán las condiciones de cargas actuales y se analizará el comportamiento ante un sismo. Esto con el fin de entender el papel de los muros, vanos y demás elementos de la edificación; y así proponer mejores alternativas para la intervención, que mejoren su comportamiento ante movimientos telúricos, salvaguardando la vida de los usuarios y el inmueble en sí.

---

<sup>1</sup> Centro histórico de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño, Colombia.

Les construccions en terra constituïxen gran part del patrimoni arquitectònic de les ciutats i pobles a Colòmbia. Estes guarden entre els seus murs i bigues de fusta, la història d'un país i la forma en la qual els nostres avantpassats interpretaven el món, i relaten per mitjà de les seues construccions i arquitectura els sabers, costums, manera de viure i d'organització de les primeres urbs del "Nou Mon".

La contínua activitat sísmica en esta regió del món, i la falta d'apropiació per part del ciutadà cap aquest tipus de béns, han posat en perill el llegat de les persones que van lluitar i van morir per un millor país. Aquest llegat és materialitzat i transmés per mitjà dels monuments, edificacions o places on les primeres veus d'independència i llibertat es van començar a sentir, i que hui en dia estan sent callades, en la mesura que s'afonen edificacions antigues i parcs per a obrir pas al "progrès".

Rescatar i preservar aquest llegat material del poble colombià, és un pas a la recerca d'eixa tan anhelada identitat nacional. Per mitjà de l'apropiació del ciutadà al patrimoni arquitectònic i la seu conservació, es buscarà que aquest es reconcilie amb el seu passat, coneixent-ho i aprenent d'ell. D'esta manera es reconeix les tradicions, cultura i història dels pobles colombians. Per això és important recalcar, que el patrimoni és del poble i per tal motiu la responsabilitat de la seu conservació recau en les seues mans a més de en la del govern de torn.

Comprendre els materials i tècniques amb els que va ser concebuda una estructura antiga, ens portarà a realitzar una millor anàlisi estructural. El resultat serà solucions més eficaces i econòmiques, que respecten els valors patrimonials de l'immoble i vetlen per protegir la vida dels seus ocupants."

Esta tesina busca la comprensió de la lògica constructiva - estructural de la Casa Zarama, un antic casalot de tàpia xafada, ubicada en el cor de Pasto<sup>2</sup>, per mitjà de l'elaboració de models 3D, utilitzant programes especialitzats i mètodes de càlculs avançats. Se simularan les condicions de càrregues actuals i s'analitzarà el comportament davant d'un sisme. Açò a fi d'entendre el paper dels murs, vans i la resta d'elements de l'edificació; i així proposar millors alternatives per a la intervenció, que milloren el seu comportament davant de moviments tel·lúrics, salvaguardant la vida dels usuaris i l'immoble en si.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Centre històric de la ciutat de Pasto, Departament de Nariño, Colòmbia.

<sup>3</sup> Traducción al Valenciano colaboración: Eduardo Martín García Licenciado en Historia del Arte de la UPV

The constructions in earth constitute great part of the architectural patrimony of the cities and towns in Colombia. They keep within their walls and wooden beams, the history of a country and the way in which our ancestors interpreted the world and relate by means of their constructions and architecture the knowledge, customs, way of life and organization of the first cities of the "new world".

The continuous seismic activity in this region of the world, and the lack of appropriation by citizens towards this type of goods, have put in danger the legacy of the people who fought and died for a better country. This legacy is materialized and transmitted through the monuments, buildings or squares where the first voices of independence and freedom began to be heard, and which today are being silenced, to the extent that old buildings and parks collapse for opening the way to "progress".

Rescuing and preserving this material legacy of the Colombian people is a step towards the search of national identity. Through the appropriation of the citizen of the architectural heritage and its conservation, it will be sought to reconcile with its past, knowing and learning from it. In this way the traditions, the culture and the history of the Colombian people will be recognized. That is why it is important to emphasize that the patrimony belongs to the people and for this reason the responsibility for its conservation falls on their hands and not on the government.

Understanding the materials and techniques with which an old structure was conceived, will lead us to make a better structural analysis. The result will be more effective and economic solutions that respect the heritage values of the property and ensure the protection of the lives of its occupants.

This thesis seeks to understand the construction - structural logic of the Casa Zarama, an old house with a stepped wall, located in the heart of Pasto<sup>4</sup>, through the elaboration of 3D models, using specialized software and advanced calculation methods. The conditions of current loads will be simulated and the behavior before an earthquake will be analyzed. This in order to understand the role of the walls, openings and other elements of the building; and thus, propose better alternatives for intervention, to improve their behavior against earthquakes, safeguarding the lives of users and the property itself.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Historic center of the city of Pasto, Department of Nariño, Colombia.

<sup>5</sup> Traducción al Ingles colaboración: Juan Camilo Mc Allister A, Antropólogo de la UPJ

## 2 Objetivos

El desinterés y la poca memoria histórica de los colombianos, la desvinculación de la ingeniería y arquitectura, la falta de rigurosidad por parte de los PEMP<sup>6</sup> y la NSR<sup>7</sup>, las intervenciones con poca sensibilidad y criterios, los intereses privados, el inadecuado entendimiento de este tipo de estructuras y la latente actividad sísmica del país; han puesto el patrimonio arquitectónico bajo amenaza, lo que deja en riesgo a sus habitantes y gran parte de la memoria de los pueblos en Colombia (Figura 91, 184*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*).

Los pueblos sin historia son estáticos y carecen de evolución, pues no comprenden su presente ya que desconocen sus orígenes (Osante, 2016).

“Colombia está condenada a ser Colombia” (La Pulla, 2018).

### Objetivo general

Realizar un análisis estructural y constructivo de la Casa Zarama, localizada en el centro histórico de la ciudad de Pasto, sur de Colombia.

### Objetivos específicos

- Estudiar las diferentes investigaciones y manuales para la rehabilitación sísmica en estructuras patrimoniales, enfocadas en construcciones en tierra.
- Analizar las intervenciones en los centros históricos y edificaciones en Colombia.
- Elaborar un levantamiento geométrico y del estado actual de la Casa Zarama.
- Identificar los elementos que estructuran la Casa Zarama, de esta forma comprender el sistema constructivo.
- Proponer métodos alternativos de análisis estructural y de vulnerabilidad sísmica para este tipo de arquitectura.
- Plantear modelos estructurales mediante ANGLE, software especializado en métodos avanzados de cálculos estructurales, que permitan una mejor comprensión del comportamiento de esta edificación frente a cargas de servicio y sísmicas.
- Evaluar el comportamiento de la Casa Zarama para distintas propuestas de refuerzo.
- Proponer una solución óptima de refuerzo para la Casa Zarama que mejore su comportamiento estructural.
- Señalar las ventajas socioeconómicas de la conservación de edificios de carácter patrimonial.
- Generar un vínculo entre el patrimonio arquitectónico y el pueblo colombiano, que sirva como puente para unir a la ciudadanía con su historia y así construir un mejor futuro.

---

<sup>6</sup> Plan Especial de Manejo y Protección.

<sup>7</sup> Norma Sismo Resistente.

### Objetivos a futuro

Además, se plantea para un futuro, mejorar las condiciones del centro histórico de Pasto, mediante un proyecto piloto, que busca sensibilizar y trabajar en conjunto con las personas que conviven a diario en este sector y a los dueños de las edificaciones. Se les darán a conocer los beneficios estructurales, arquitectónicos, sociales, económicos y ambientales que tiene la preservación de los centros históricos. Para esto se crearán planes de sensibilidad con el patrimonio, reciclaje, basuras, control de ruidos, incorporación de árboles, fachadas verdes, planes de emergencia y demás actividades que encaminen al usuario a cuidar y mejorar su patrimonio arquitectónico.

### 3 Caso específico

Para este proyecto de fin de máster se estudia el caso específico de la Casa Zarama (Figura 80, 178); una antigua casa de estilo republicano de dos pisos, 17 balcones, 2200 m<sup>2</sup> de área, un patio central con fuente y patio externo; construida a principios del siglo XVIII, ubicada en la carrera 24 No 18<sup>8</sup>, esquina de la Plaza de Nariño, centro histórico de la Ciudad de Pasto, capital del departamento Nariño (sur de Colombia). Su nombre se debe al apellido de la familia que ha sido propietaria del inmueble desde 1866. Es una de las pocas edificaciones que mantiene su estilo republicano en esta zona.

Está construida con muros estructurales de tapia pisada de espesor variable y muros divisorios de bahareque, con repollo en barro y papel de colgadura; cimentación de enrocado ciclópeo; entrepisos de madera soportados por vigas rollizas de pino y zócalos de madera; cielos rasos en canecillos de madera, repellos en chacla y yeso; cubierta con cerchas y tirantes de madera, revestida con caña brava y tejas de barro cocidas (Ingeniera Leonor Caicedo, 2017<sup>9</sup>).

Esta edificación ha sufrido múltiples intervenciones a lo largo de su historia debido a los cambios de dueños, reparaciones, moda y al uso que se le ha dado. Hoy en día esta casa cuenta con distintas oficinas, locales comerciales, cafeterías y aparta estudios. La edificación se encuentra en un buen estado estructural, y aunque no han habido colapsos por temblores en el pasado, esto no es garantía que no sea vulnerable ante eventos sísmicos, prueba de ello el terremoto de magnitud de 6.5 en la escala de Richter, que en el 2003 destruyó Arg-e-Bam (Irán), la mayor construcción en adobe y tapial del mundo, fortificación de más de 2500 años considerada patrimonio histórico de la humanidad por la UNESCO (Perez & Ruiz Valencia, 2010).

Este trabajo tiene como fin el estudio y comprensión del sistema constructivo y del comportamiento estructural de la Casa Zarama, ante las cargas de servicio y sísmicas. De esta forma se propondrán soluciones que mejoren el desempeño estructural de este tipo de construcciones, sirviendo como documento para futuras investigaciones e intervenciones, con el propósito de conservar las edificaciones históricas de la región.

El estudio del comportamiento de las estructuras históricas se dificulta, debido a la complejidad de su geometría y a la caracterización de las propiedades mecánicas de sus materiales, por lo que se hace necesaria la implementación de metodologías apropiadas para su correcto análisis. El funcionamiento de estas obras dependerá de la geometría con la que fueron dispuestos los materiales para su construcción, lo que nos lleva a estudiar el proceso constructivo, la tecnología y los recursos de la época en la que fueron construidas.

La compresión integral de los elementos, materiales y propiedades mecánicas de estas edificaciones nos llevará a generar mejores soluciones para la preservación de este tipo de construcciones. Así, se podrá entender la conservación de la arquitectura patrimonial como el reconocimiento de la cultura constructiva que ha dado origen a los pueblos (Vidal, 2012).

<sup>8</sup> Formato de geo codificación direcciones en Pasto (Figura 225, 207). Vía principal No Vía generadora – Distancia en metros a la vía generadora (Grupo de Investigación GRIAS- KDD, 2016).

<sup>9</sup> Ingeniera administradora de la Casa Zarama.

Hoy en día tenemos a nuestra disposición una gran oferta de softwares, que permite crear complejos modelos estructurales, que logran simular diferentes condiciones y esfuerzos a los que se puedan ver sometidas las edificaciones. En ocasiones se comenten errores al insertar datos o dibujar el módulo, ya sea por causas del operador o por la compleja caracterización de los materiales (Arnaud Delgado, 2017).

Entender la función de cada elemento de la estructura será la guía para la construcción del modelo de la edificación, respondiendo a su geometría y mecanismo original, de esta manera se evaluarán las acciones y esfuerzos internos de los elementos; el tipo de falla y su localización nos dará la información necesaria para el diseño de refuerzo a implementar, así se reforzará la construcción desde su geometría, arquitectura e historia.

“No se puede llegar a calcular refuerzos de algún elemento si no se comprender y evaluar los esfuerzos y acciones internas, buscando restablecer y mantener el funcionamiento con el que se diseñó en un inicio” (Lafarga, 1996).

## 4 Metodología

Para este trabajo de fin de máster se desarrollará la siguiente metodología. Se tendrán en cuenta para toda la investigación y posterior análisis estructural los parámetros establecidos en la NSR-10 y otras normas a nivel mundial relacionadas con la construcción en tierra. La caracterización de los materiales, teorías y propuestas se basará la bibliografía consultada.

### Investigación preliminar

Realizar un estudio previo de las investigaciones que traten la conservación y rehabilitación sísmica de estructuras de carácter patrimonial, enfocadas en arquitectura de tierra de centros históricos. Así mismo se procederá con la investigación histórica y constructiva de la Casa Zarama y su entorno. Para ello se consultarán tesis, libros, artículos, tratados, manuales, planos, fotos, entrevistas y otros medios documentales.

### Levantamiento in-situ de la edificación

Ejecutar el reconocimiento y el levantamiento geométrico in-situ de la Casa Zarama, que permita entender los sistemas constructivos, materiales y estado actual del inmueble. Por medio de la documentación e información obtenida del estudio previo, se rectificarán las medidas con flexómetro y se tomarán fotografías, para así implementar técnicas de fotogrametría digital y lograr una caracterización de los materiales y patología del inmueble. Se hará uso de ASRix para la rectificación de las fotografías y PhotoScan para generar modelos digitales de la casa.

### Análisis de la edificación

Mediante el previo reconocimiento de la edificación, se procederá a realizar su análisis constructivo, identificando sus principales elementos, materialidad, evolución y su función. Se realizarán detalles constructivos utilizando AutoCAD, que permitirán entender la forma en la cual fue concebida la estructura, lo que generará una mejor comprensión de su comportamiento y puntos críticos.

### Elaboración de modelos estructurales

Elaborar un modelo 3D de la Casa Zarama basado en los estudios y levantamientos previos, mediante el dibujo de elementos tipo SÓLIDOS para muros estructurales y dinteles, BARRAS para vigas y columnas y MALLAS para escalera, muros divisorios y losas. Generar modelos próximos al funcionamiento real de la estructura, mediante la implementación de software especializado y métodos avanzados de cálculo (MEF<sup>10</sup>), con el fin de evaluar y entender la respuesta de la edificación ante cargas de servicio y sísmicas. Para la elaboración del modelo se utilizará AutoCAD y ANGLE, lo que nos permitirá su posterior análisis.

---

<sup>10</sup> Método de Elementos Finitos.

## Análisis estructural

Analizar el comportamiento del estado actual y del diseño original de la Casa Zarama ante distintas hipótesis de cargas y sismo, a través del software ANGLE se implementará la metodología de análisis no-lineal Pushover<sup>11</sup>. Esta metodología permitirá estudiar la resistencia y la capacidad a la deformación de las estructuras ante sismos, lo que ayudará a entender mejor el comportamiento estructural de la Casa Zarama ante múltiples eventos.

## Alternativas de reforzamiento

Tras el análisis estructural de la situación actual de la Casa Zarama, se propondrán y evaluarán diferentes alternativas de intervenciones y refuerzos sísmicos que optimicen el desempeño de la estructura. Así, se podrá minimizar la vulnerabilidad mediante el control de los desplazamientos, buscando salvaguardar la vida, los bienes y los valores patrimoniales de la construcción. Siguiendo esta misma metodología, se realizará el análisis estructural de la propuesta de reforzamiento.

## Hipótesis

Una correcta comprensión y conocimiento de las propiedades mecánicas de las estructuras y las diferentes alternativas para su rehabilitación, ayudarán a dar soluciones óptimas que integren los criterios de seguridad con los de la conservación patrimonial (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

## Resultados esperados

- Comprobar la importancia de la preservación de las edificaciones antiguas en conjunto para la mitigación ante esfuerzos sísmicos.
- Corroborar la importancia de realizar un análisis estructural previo a ejecutar intervenciones en este tipo de arquitectura.
- Corroborar el papel fundamental que cumple cada elemento constructivo de estas edificaciones y su aporte para el comportamiento integral de la estructura.

---

<sup>11</sup> Análisis de empujes incrementales.

### Software utilizado

A continuación, se muestra un listado de los programas necesarios para cumplir con la metodología propuesta.

Microsoft Word

Software para el procesamiento de textos.

Desarrollador: Microsoft.

Microsoft Excel

Software para la aplicación de hojas de cálculo.

Desarrollador: Microsoft.

AutoCAD

Software de diseño asistido por computadora.

Desarrollador: Autodesk.

ASRix

Software para la rectificación de fotos.

Desarrollador: Computer Aided Recording Tools.

PhotoScan

Software para el procesamiento de imágenes digitales, mediante técnicas de fotogrametría digital.

Desarrollador: Agisoft.

ANGLE

Software para el análisis estructural No-lineal, mediante la modelación de elementos finitos.

Desarrollador: Adolfo Alonso Durá (Universidad Politécnica de Valencia).

SIMQKE\_GR

Software para generar acelerogramas artificiales compatibles con el espectro de diseño.

Desarrollador: Piero Gelfi (Universidad de Brescia).

### Colaboradores

María José Caldas Eraso

Bellas Artes Universidad de Nariño

Colaboración: Guía de campo y acompañamiento en la investigación in-situ de la arquitectura tradicional Nariñense.

Eduardo Campo Pantoja

Arquitecto de la Universidad de Nariño

Maestro e investigador de los saberes constructivos regionales

Colaboración: Documentación y asesoramiento sobre los sistemas y arquitectura tradicional en tierra del centro histórico de la ciudad de Pasto.

Mauricio Conto

Arquitecto de la Universidad Nacional de Colombia

Arquitecto restaurador de la Casa de José Antonio Zarama

Colaboración: Documentación y asesoramiento de la intervención en la Casa de José Antonio y de estructuras en tierra regionales.

Juan Camilo McAllister Andrade

Antropólogo de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia

Colaboración: Redacción, gramática, traducciones y estructuración general del texto.

## 5 Antecedentes

### 5.1 Arquitectura ancestral y colonial en Colombia

La arquitectura en América ha evolucionado a lo largo de los siglos, heredando y combinando técnicas ancestrales con los conocimientos traídos por la invasión española, la cultura árabe y africanas. Estos saberes definieron la arquitectura tradicional colombiana, y han sido la base para construir edificaciones con características singulares de cada región, que se adaptaron a las condiciones únicas del paisaje colombiano.

#### Precolombina

Mediante una sabia utilización de recursos y materias primas autóctonas en cada región, se formaron los múltiples sistemas constructivos, los cuales se han adecuado a las diversas condiciones de los ecosistemas americanos (Figura 62, 168). Así, se han ideado soluciones para la construcción de viviendas, templos, necrópolis, canales y demás edificaciones, que constituyen los pilares de las civilizaciones precolombinas<sup>12</sup>. Estas últimas han poblado el vasto territorio americano desde hace más de 20.000 años, integrando su cultura con la naturaleza.

El legado de estos pueblos ha demostrado su alto nivel de desarrollo y conocimiento de la agricultura, arquitectura e hidráulica. Estas fueron civilizaciones bien estructuradas y avanzadas, que se comunicaban entre sí por medio de caminos y a su vez planificaban el crecimiento de sus ciudades mediante un sistema de terrazas, que eran utilizadas para la organización de la tala de árboles, la agricultura y la designación de viviendas. Las terrazas se diseñaban de tal forma que se permitiese el riego y abastecimiento de agua a los pobladores por medio de canales, evitando así la erosión del suelo (Valentina , 2016).

La implementación de materiales de origen pétreo (rocas y piedras preciosas), de tierra (barro), animal (pieles, caracoles, sangre, entre otros) y vegetal (madera, guadua, caña, palma, paja y demás) ha materializado las construcciones de los asentamientos indígenas, orientando sus estructuras como una respuesta a sus rituales, tradiciones y circunstancias ambientales. Esto ha dado forma a su particular arquitectura. Por ejemplo, emplearon la guadua para subir el nivel sus estructuras con respecto al de los cuerpos de agua; la caña entrecruzada y el barro (bahareque) para la construcción de muros; la palma y la paja trenzada para sus cubiertas (Figura 63, 168); los bloques de piedra para cimientos, calles y la construcción de grandes terrazas en donde se fundaban sus ciudades (Figura 66, 170); las piedras preciosas y la roca labrada para la construcción de templos y estatuas (*iError! No se encuentra el origen de la referencia*.Figura 67, 171).

La geometría y la distribución de las edificaciones son también variadas y han cambiado de forma a través del tiempo por la interacción cultural. Se pasó de construcciones de planta circular a cuadrada, mezclando sistemas constructivos y materiales debido al contacto con el continente africano y europeo (Figura 68, 171), lo cual dividió en dos la historia de estas tierras. Cabe resaltar la gran biodiversidad de ecosistemas y culturas a lo largo y ancho del territorio colombiano, lo que ha llevado a crear soluciones de índole constructivo y arquitectónicas singulares, que varían dependiendo de su localización geográfica, y se dividen entre cuatro tipologías básicas: construcciones ubicadas en montaña, llano, riberas y mar (Instituto Colombiano de Cultura Hispánica, 1990). La arquitectura se define a partir de los recursos y las condiciones del terreno, y así mismo la forma de vida y las

---

<sup>12</sup> Culturas que poblaron el territorio americano antes de la invasión castellana en 1492.

costumbres de las comunidades determinan la concepción de los espacios y la estructura de las edificaciones (Figura 1, 3).

### Colonia

En 1492 las primeras naves colonizadoras provenientes de España tocan tierras americanas, esta expedición tenía como objetivo entablar nuevas rutas de comercio con la China, ya que el imperio mongol había desaparecido a finales del siglo XIV, lo que fragmentó el control de la Ruta de la seda por vía terrestre. De ahí surge la necesidad de los europeos de buscar nuevas alternativas para mantener el comercio con estas civilizaciones, lo que incentivó a las expediciones a navegar por el oeste en busca de nuevas rutas. Tras cruzar el Atlántico, estas expediciones llegaron a tierras desconocidas por estas, por lo que se creyó haber arribado a territorios de la India, de ahí la confusión de llamar “Las Indias” a territorio americano y a sus pobladores “indios”. Estos términos perduraron durante toda la conquista.

El periodo de tiempo entre 1550 a 1810 fue denominado como la “época colonial”, etapa en la cual el dominio y presencia de españoles y de esclavos africanos en el actual territorio americano fue contundente para el desarrollo de las ciudades, la sociedad y la fallida nación que hoy se conoce como Colombia.

Durante este tiempo surgió un choque cultural entre las comunidades indígenas autóctonas, que lucharon por defender sus derechos, mantener su cultura, tradiciones, lengua, territorios, valores, creencias y su propia vida; ante las fuerzas inquisidoras de los colonizadores europeos, que vieron en esas tierras una fuente inagotable de recursos y riquezas, que podían ser arrebatadas y saqueadas por la fuerza, gracias a su ventaja armamentística y militar. Este sistema luego sería catalogado como “economía extractiva<sup>13</sup>”.

Esta lucha tuvo dos posiciones, la pacífica, donde los indígenas se dejaban ultrajar o huían de sus territorios para mantenerse con vida; o la violenta, en donde se enfrentaban a muerte con el invasor para defender sus derechos. Independientemente de la posición tomada por los nativos ante el colonizador, fueron erradicadas casi en su totalidad las distintas comunidades indígenas en el territorio americano<sup>14</sup>, desapareciendo junto a ellas su legado cultural y constructivo (Figura 69, 172). De este hecho histórico se conformaría lo que actualmente se conoce como Hispanoamérica<sup>15</sup>, un mestizaje entre las razas y los saberes de estas tres culturas y una imposición de la religión, lengua y sociedad por parte de las instituciones españolas.

El “descubrimiento” de América fue el encubrimiento de los pueblos que habitaban el Abya Yala<sup>16</sup> (Dussel, 1994).

El surgimiento y ubicación de los primeros centros urbanos en la época colonial corresponden a zonas seguras donde los nativos y esclavos huían de la barbarie de los colonizadores, pueblos indígenas irrumpidos, o como base de los centros de extracción minera o de cualquier otro recurso a tomar. Estos últimos servían como puntos estratégicos de descanso, acopio o de control administrativo y militar por parte de la corona española, para así desarrollar una infraestructura que garantizara mantener el dominio para la explotación de estos territorios. De esta manera los soldados de alto rango en los ejércitos invasores eran nombrados gobernadores

<sup>13</sup> Sistema mediante el cual las empresas o gobiernos extranjeros se instalan en un territorio, explotando sus recursos naturales y riquezas, lo que tiene un impacto ambiental, cultural, social y económico negativo, para la región explotada. (Angulo Muñoz, 2010).

<sup>14</sup> A mediados del siglo XVII la inminente extinción de los pobladores nativos por parte de la brutalidad española, significó un déficit económico para la corona, ya que se les agotaba la mano de obra.

<sup>15</sup> Países de América que tienen como oficial idioma el español.

<sup>16</sup> Denominación al continente americano antes de la invasión europea.

sobre las tierras conquistadas e instauraban las instituciones españolas en estos territorios, con la condición de rendir tributo a la corona (Rodriguez Saenz & Pablo Gil, 2017).

Las circunstancias geográficas, los múltiples pisos térmicos y el accidentado relieve colombiano llevaron a que las tropas colonizadoras tuvieran como única alternativa de enlace hacia el interior del país las vías fluviales a través de los ríos suramericanos. Establecieron así un eje de penetración mediante la creación de sistemas de circulación, que buscaba optimizar la extracción de los recursos y llevarlos a las costas. Por medio de la fundación de ciudades portuarias en las orillas de los ríos, se fueron estableciendo puntos de control, lo que generó un sistema de zonificación demográfica y económica, en relación con la distancia o dificultades para llegar a los puertos marítimos. De esta manera las ciudades con mayor actividad económica eran las más cercanas a las costas y con este sistema e infraestructura lograron tener un control económico y militar de la zona Andina<sup>17</sup>.

Mediante el establecimiento de leyes se logró el dominio de las masas, sistema que buscaba el ordenamiento urbano en función del poder. Este asignaba los espacios dividiendo jerárquicamente la sociedad, “la república de los blancos” en las ciudades y la “república de indios” en los campos, sistema mediante el cual el campo suministraba a las ciudades de alimentos y materias primas, y las ciudades acumulaban riquezas que atraían instituciones y colonos.

España logró dominar el territorio conquistado mediante la fundación de nuevas ciudades o núcleos urbanos (Figura 196, 243 - Figura 197, 244), lo que significaba para los colonizadores el apoderamiento de las tierras y la sumisión de los pueblos. Desde estas urbes se manejaba la logística para la explotación de los recursos y la administración de la economía de estos territorios, modelo que se mantuvo hasta mediados del siglo XIX. La fundación de nuevos núcleos urbanos respondía al modelo de ciudad del centro y sur de España (Figura 198, 244) y sus normas fueron aplicadas de igual forma que en la reconquista católica, en la zona de la península ibérica ocupada a mediados del siglo XIII por los moros.

“La creación de un espacio social es conceder lugares específicos para los diferentes grupos sociales, con fines de residencia, prestigio y de actividad” (Bernard, y otros, 1993, 25).

Los primeros asentamientos españoles en territorio colombiano implementaron construcciones con espacios, técnicas mixtas y materiales autóctonos de la zona, que llevaron a dar soluciones arquitectónicas y funcionales a las estructuras de viviendas, iglesias y demás edificaciones administrativas. Estas se fueron adaptando a las diferentes condiciones geográficas de cada región, dando forma a sus singulares centros urbanos reticulados, que utilizaban su cuadrilátera plaza central como hito para las actividades sociales, económicas y gubernamentales (Figura 218, 260). La plaza solía estar rodeada por las edificaciones de índole estatal, militar, religioso y administrativo, lo que lograba una vista estratégica para la supervisión de las actividades del pueblo. Contiguos a estas, se repartieron solares a la burguesía criolla y a los terratenientes provenientes de la península ibérica, quienes construyeron sus viviendas con muros de tapia, bahareque y adobe. Se veían también casonas de hasta 3 pisos, con planta en forma de “U”, “I”, “O” y “L”; patio central; cubiertas de cerámica de barro cocido a dos y cuatro aguas; forjados de madera y muros en tierra pisada. De esta misma manera se fueron construyendo edificaciones de orden menor, que servían como espacio para el desarrollo familiar y económico de las nuevas ciudades, a las cuales se les designaba un nuevo nombre, se vendían títulos y se establecían los cabildos<sup>18</sup>, donde convivían indígenas y españoles.

---

<sup>17</sup> Zona suroccidental del continente americano.

<sup>18</sup> Institución designada por la monarquía española, para la administración de ciudades y villas, en territorio americano.

La geometría urbana y sus elementos respondían al concepto de orden de los colonizadores, lo cual representó el triunfo de su civilización ante la dominada, y muestra de ello son las calles en cuadriculas (Figura 217, 259) y empedradas, la canalización de las aguas, las fuentes, puentes y los escudos en las plazas.

### Actualidad

A mediados del siglo pasado, Colombia sufrió una movilización del campo hacia las ciudades, producto de los desplazamientos forzados a causa de la guerra interna del país; construcción de nuevas carreteras que conectó el campo con las ciudades; “modernidad” en las ciudades, construcción en masa (requiriendo mano de obra); fundación de universidades; llegada de medios de comunicación; y un retroceso de la economía, salud, seguridad y educación en los campos. Esto obligó a muchas familias a migrar de sus tierras hacia las periferias de las ciudades, y a cambiar sus edificaciones de tierra por otras de ladrillos, concreto y demás materiales implementados para la construcción industrializada. Lo anterior ocasionó un olvido de los oficios relacionados con la construcción en tierra y con ella parte de su historia, cultura y costumbres.

“la modernización de lo tradicional influye en la cultura con gran fuerza, de ahí que al Pastuso<sup>19</sup> le cueste encontrar significados culturales importantes del contexto que lo rodea” (Ortega, 2015, 26).

“La ciudad iba enterrando su recuerdo de antaño, las paredes de tierra apisonadas caían sin remedio ante la fuerza del ladrillo, el hierro y el cemento. La pierda cedió al asfalto y los faroles de aceite a la energía eléctrica” (Muñoz Cordero, 2000).

Hoy en día las construcciones en tierra son vistas por la mayoría de las personas como una arquitectura de retraso, pobre, sucia y de carentes propiedades estructurales; además del escaso acompañamiento por parte de la NSR y POT, lo que ha dado como resultado los parqueaderos de automóviles, erróneas plazas comerciales, losas de cemento entre otros infortunios que observamos en los lotes de lo que eran las antiguas casonas y parques de los centros de las ciudades.

“Por su parte, la Corporación Centro Histórico San Juan de Pasto dice que el patrimonio arquitectónico y urbano de la ciudad en los últimos tiempos ha sufrido un proceso sistemático e incontrolable de aniquilamiento, como una respuesta progresista a las condiciones que genera la nueva ciudad. Edificaciones cargadas de historia, con altísimo valor estético o simplemente modestas casonas que prevalecieron dentro de la memoria colectiva de la ciudad han sido víctimas calladas de este atropello” (Parra Garzon, 1994).

Pese a la evidente falta de aprecio por este legado cultural existen múltiples profesionales, organizaciones e investigadores que han dedicado gran parte de su vida a construir, entender y poner en valor este tipo de arquitectura. Sumándole las investigaciones para su restauración y reforzamiento sismo resistente, lo que ha logrado la protección de las edificaciones, vidas y bienes de quienes los habitan, conviven y transitan a sus alrededores.

---

<sup>19</sup> Gentilicio de Pasto.

## 5.2 Norma y patrimonio

Gran parte de las edificaciones de índole patrimonial en el territorio colombiano se encuentran en zonas de alto nivel de riesgo sísmico. Pese a esto, la NSR-10<sup>20</sup> no contempla en su normativa las estructuras de adobe, bahareque, tapia pisada y demás sistemas constructivos en tierra, las cuales constituyen el 80% de los 1133 monumentos nacionales (Grupo de investigación y documentación - Dirección de patrimonio, 2016) y 47 centros históricos declarados según la Dirección de Patrimonio del Ministerio de Cultura (Ruiz Valencia, Lopez Perez , & Rivera, 2012). Esto debido a que los arquitectos, ingenieros y demás profesionales e instituciones a nivel nacional, que han sido los encargados de definir las normativas de construcción en Colombia, se han basado en investigaciones consideradas válidas en Estados Unidos, lo que llevó a traducir y adaptar al territorio colombiano las recomendaciones para la construcción de edificaciones sismo resistentes desarrolladas por la ATC<sup>21</sup>. Para ello fue de gran importancia la asesoría y el trabajo en equipo, entre los autores norteamericanos y los ingenieros y arquitectos colombianos.

Las características de Estados Unidos y Colombia son muy distintas a nivel de desarrollo económico, social, histórico y de prácticas constructivas, y como consecuencia de esto han quedado por fuera de la normativa colombiana los sistemas constructivos tradicionales (Figura 204, 249), que no son contemplados en los códigos sismo resistentes de las instituciones estadounidenses. Estas han desarrollado la mayoría de sus investigaciones alrededor sistemas y materiales modernos tales como el concreto, acero y fibras sintéticas (Riveros Bolaños, 2007).

"Título A.1.2.3.2 - Para edificaciones construidas antes de la vigencia del presente Reglamento, el Capítulo A.10 establece los requisitos a emplear en la evaluación, adición, modificación y remodelación del sistema estructural; el análisis de vulnerabilidad, el diseño de las intervenciones de reforzamiento y rehabilitación sísmica, y la reparación de edificaciones con posterioridad a la ocurrencia de un sismo" (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010, A-2).

Existe una serie de códigos y recomendaciones para la construcción en tierra, los cuales son fruto de diversos estudios (privados – públicos) realizados por equipos interdisciplinarios de universidades, instituciones gubernamentales y de la AIS<sup>22</sup>. Estos investigadores, mediante estudios de laboratorio, y analizando las edificaciones vernáculas y patrimoniales en América, especialmente en el territorio colombiano, han creado manuales para la construcción y rehabilitación de viviendas construidas en tierra. En ellos se explican los diferentes sistemas constructivos, su vulnerabilidad ante sismos, fallos típicos y alternativas de rehabilitación sísmica (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, 2004). Se brindan guías de buenas prácticas en las que se ponen a disposición mejores criterios al intervenir en este tipo de arquitectura, sencillas de comprender y gratuitas, dirigidas a la población y a profesionales no expertos en estructuras.

Pese a las buenas intenciones y la gran labor de los equipos de investigadores, hay que resaltar que estos trabajos están dirigidos a viviendas no patrimoniales. Sin embargo, se han adelantado estudios de nuevas propuestas de intervención, los cuales buscan mejorar el equilibrio entre los valores patrimoniales y la seguridad del usuario (Lopez Perez, y otros, 2007). Estos son excelentes manuales<sup>23</sup> para la conservación y

<sup>20</sup> Reglamento colombiano de construcciones sismo resistente del 2010.

<sup>21</sup> Applied Technology Council.

<sup>22</sup> Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica: Entidad sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es la investigación y promoción de la seguridad sísmica en el territorio nacional.

<sup>23</sup> (Manual de evaluacion, rehabilitacion y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales, 2004).

rehabilitación sísmica de estructuras en tierra, y deberían utilizarse con la asesoría de personal profesional calificado.

“Título A.1.2.2.1<sup>24</sup> - Estructuras que no estén cubiertas dentro de las limitaciones de cada uno de los materiales estructurales prescritos dentro de este Reglamento. Cuando el uso de estas estructuras es la habitación u ocupación por seres humanos, su diseño y construcción debe someterse a lo prescrito en el Capítulo II, Artículos 8° a 14° de la Ley 400 de 1997” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010, A-1).

Cabe recalcar la existencia de múltiples normas a nivel mundial que abarca la tierra como material constructivo y algunas de estas saben contemplar el reforzamiento sismorresistente para este tipo de estructuras (Tabla 33, 284).

Algunos de estos códigos son:

La NBR<sup>25</sup> 13553 de 1996 en Brasil y la SAZS<sup>26</sup> 724 del 2001 en Zimbabwe, brinda una serie de normas de buenas prácticas y estandarización para la construcción en tierra enfocada en tapia, la cual se basa en las investigaciones de Julián Keable<sup>27</sup> (Southern African Development Community Cooperation in Standardization's, 2014). El IS<sup>28</sup> 2110<sup>29</sup> de 1980 en la India ofrece un sistema de estandarización para la construcción de muros de tapia mejorado con cemento (Bureau of Indian Standards, 1980); El IS 13827 de 1993, señala una serie de guías para el reforzamiento estructural en distintos sistemas constructivos en tierra, donde se recalca la importancia de los contrafuertes o muros diafragmas de las construcciones en tapia, como elemento sismorresistente (Bureau of Indian Standards, 1993).

La NZS 4299 (Chief Executive of Standards New Zealand, 1998) - 4297 (Chief Executive of Standards New Zealand, 1998) de 1998 en Nueva Zelanda, estipula una norma para las edificaciones en tierra, donde exponen ejemplos y parámetros para el diseño y construcción de estructuras sismorresistentes en adobe y tapia. La Norma E0.80 de 2017 de Perú (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017) y la NBC<sup>30</sup>203 de 1994 en Nepal (Department of Urban Development and Building Construction, 1994), ofrecen una guía para reforzamiento de estructuras existentes en tierra; además de establecer límites geométricos para el diseño de vanos y muros en este material.

La ASTM<sup>31</sup> ha realizado múltiples estudios de la tierra como material para la construcción, lo que ha dado como resultado la norma ASTM E2392 del 2010 (mismo año de la publicación de la actual norma sismo resistente colombiana), donde se muestra una guía estandarizada para la construcción y el control de edificaciones en tierra, entre otras normas y estudios realizados por instituciones estadounidenses.

Llama también la atención que una de las pocas normas que estandariza la tierra como material de construcción en Colombia, es la NTC<sup>32</sup> 5324<sup>33</sup> emitida en el 2005 por el ICONTEC<sup>34</sup>; la cual es una copia idéntica de la norma

---

<sup>24</sup> Excepciones de la NSR-10.

<sup>25</sup> Norma Brasileira reguladora.

<sup>26</sup> Standards Association Zimbabwe Standard.

<sup>27</sup> Rammed Earth Structures: A Code of Practice 1996.

<sup>28</sup> Indian Standard.

<sup>29</sup> Code of practice for in situ construction of wall in building whit soil-cement.

<sup>30</sup> Nepal National Buiding Code.

<sup>31</sup> American Society of Testing Materials.

<sup>32</sup> Norma Técnica Colombiana.

francesa AFNOR<sup>35</sup> XP P 13-901:2001<sup>36</sup>, que dictaminan la estandarización del BTC (INCONTEC, 2005). Estas publicaciones entre otras que existen a nivel mundial ofrecen una serie de normas que estandarizan procesos a seguir, para tener un correcto control de materiales, construcción, diseño y seguridad para edificaciones nuevas en tierra.

Países como Italia estipulan en sus normas de construcción, varias leyes que velan por la protección del patrimonio arquitectónico, regularizando el tipo de intervención permitida para diferentes clases de edificaciones con valores culturales - patrimoniales (Ministero per i beni e le attivita' culturali, 2004).

La falta de sensibilidad por parte de los profesionales que intervienen obras con valores patrimoniales y la ausencia de una normativa que vele por este tipo de arquitectura, han traído una serie de consecuencias irreversibles para la memoria constructiva del país. Varias estructuras han colapsado debido a esfuerzos sísmicos, por falta de mantenimiento en su estructura, una mala intervención, o por la acción antrópica directa. Algunas de las edificaciones que aún permanecen en pie, han sufrido también graves daños por la falta de los cuidados que este tipo de inmuebles exigen, además de utilizar para su rehabilitación materiales actuales que son incompatibles con los originales, cuyas propiedades y comportamiento estructural, térmico o higroscópico son diferentes a los de la tierra; lo que puede ocasionar múltiples patología tales como humedades, desprendimientos y grietas, además de perturbar los valores patrimoniales de las construcciones. Esto ha dejado a un lado el equilibrio entre los valores del inmueble, la seguridad y el confort del usuario.

La implementación de métodos inadecuados para la restauración y rehabilitación, y las desafortunadas intervenciones en inmuebles con carácter histórico, han llegado a poner en riesgo sus estructuras y a distorsionar los valores intrínsecos de las construcciones, perdiendo así las cualidades que las hacían únicas y de interés patrimonial para sus habitantes.

Esto debido a la falta de aprecio hacia este legado constructivo e histórico; a los gobiernos negligentes; a los carentes criterios de intervención; al mal entendimiento del funcionamiento de este tipo de estructuras y la pérdida del lazo entre la arquitectura y la ingeniería, pues se tiene una concepción equívoca de los materiales, la rigidez y el comportamiento integral de estas construcciones (Lafarga, 1996).

Además, como lo menciona el prefacio de la NSR-10, este código y la mayoría a nivel mundial, tienen como objetivo principal establecer una serie de requisitos mínimos que garanticen alguna medida para salvaguardar las vidas humanas ante un sismo de gran intensidad, y como consecuencia directa, la protección de la propiedad y del inmueble en sí. Hay que recalcar que ningún reglamento de sismo resistencia a nivel mundial, tiene como fin la protección directa de las propiedades o bienes, incluyendo los de carácter patrimonial. Pero en la actualidad existe la tendencia de algunos países a direccionar sus normas hacia la protección de estos bienes (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010).

"Título A.1.2.2.1<sup>37</sup> - Reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del estado y de los ciudadanos" (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010, A-1).

---

<sup>33</sup> Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. definiciones. especificaciones. métodos de ensayo. condiciones de entrega.

<sup>34</sup> Instituto Colombiano de Normas Técnicas Certificación.

<sup>35</sup> Association française de Normalisation.

<sup>36</sup> Blocs de Terre Comprimée Pour Murs et Cloisons. Définitions, Spécifications, Méthodes d'essai, Conditions de Réception.

<sup>37</sup> Objetivo principal de la NSR-10.

La NSR-10 establece unos parámetros para el análisis y reforzamiento sísmico de edificaciones de índole patrimonial, en donde estipula las limitaciones y pasos a seguir para su correcto diseño. El título A.10.9.2.5 ha dejado vulnerable a estas edificaciones, pues permite un análisis estructural más “flexible”, justificado por el ingeniero diseñador, el cual no siempre cuenta con los criterios adecuados para este tipo de intervenciones. No obstante, este título también incentiva a las buenas prácticas de restauración y reforzamiento sísmico, que responden a los criterios de mínima intervención, compatibilidad y reversibilidad.

“Título A.10.9.2.5 - Edificaciones declaradas como patrimonio histórico — Cuando se trate de intervenciones estructurales de edificaciones declaradas como patrimonio histórico, donde existan restricciones severas para lograr un nivel de seguridad equivalente al que el Reglamento exigiría a una edificación nueva o al prescrito en A.10.4.2.2, excepto que se trate de edificaciones pertenecientes a los grupos de uso III y IV, tal como lo define A.2.5, se permitirá un nivel menor de seguridad sísmica siempre y cuando este menor nivel se justifique por parte del ingeniero diseñador y se acepte por parte del propietario, incluyendo dentro de los documentos que se presentan para solicitar la respectiva licencia de construcción, un memorial firmado en conjunto en el cual se incluyan las razones que motivan la reducción, el nivel de seguridad sísmica propuesto, y las medidas que se adoptarán para restringir el acceso al público en general o los procedimientos colaterales que se adoptarán para proveer seguridad apropiada a los ocupantes. Este memorial se debe protocolizar mediante escritura pública en Notaría” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010, A-109).

Las entidades encargadas de la expedición de permisos de construcción en el país, así como la Dirección de Patrimonio del Ministerio de Cultura, se encuentran con una contradicción a la hora de tomar decisiones para la preservación del patrimonio arquitectónico, ya que el marco técnico normativo no contempla en sus códigos a la tierra como material de construcción de edificaciones históricas.

Este material se comporta muy diferente a los incluidos en la NSR-10 (concreto, acero, madera, guadua, mampostería de arcilla concreto, entre otros). Las estructuras contempladas por la norma se diseñan por la capacidad de resistir esfuerzos de los distintos materiales; en cambio las construcciones en tierra se diseñan por estabilidad, predominando su geometría y masa, parámetros que la NSR-10 no abarca. Por lo tanto, la aplicación sin criterio de esta normatividad para edificaciones patrimoniales construidas en tierra puede traer graves daños a este tipo de patrimonio (Riveros Bolaños & de Valdenebro, 2016).

Se necesita una norma sismo resistente que tome los razonamientos establecidos por las cartas de restauro para la intervención en estructuras patrimoniales en tierra. Igualmente, que integre los criterios de mínima intervención, materiales compatibles y reversibilidad de las intervenciones. Así se logrará mantener el sistema estructural original del bien, minimizar costos de reforzamiento, evitar fraudes para declarar el inmueble en ruinas, incentivar a los dueños de BIC<sup>38</sup> para preservar sus propiedades, entre otras cosas.

Una futura norma deberá abarcar las construcciones en tierra en su totalidad y no solo en técnicas constructivas específicas; plantear un análisis y diseño estructural sismo resistente por estabilidad, el cual comprenda métodos de intervención en estructuras de tierra existente y que no atenten con sus valores patrimoniales ni con la estabilidad de la edificación; además de homogeneizar los ensayos en piezas y elementos estructurales para así poder llevar un control de calidad normalizado para las construcciones en tierra y su rehabilitación estructural (Cid, Manzanares, & Cañas, 2011).

---

<sup>38</sup> Bien de interés Cultural.

Gracias a las investigaciones, normas y guías enfocadas en los sistemas constructivos en tierra a nivel mundial; el crecimiento de la conciencia ambiental dirigida a la bioconstrucción; y el trabajo de instituciones colombianas dedicadas a la conservación de estos bienes, muy probablemente una futura norma sismo resistente colombiana contemplará este tipo de estructuras, la cual estandarizará la construcción, diseño, reforzamiento y demás parámetros que buscarán salvaguardar la vida de los pobladores, la integridad del inmueble y parte del legado histórico constructivo del país, de la forma más ética, estética, económica y técnicamente viables para el territorio colombiano .

Muestra de ello son las reuniones con la CAP<sup>39</sup>, en donde se solicita la aplicación de la AIS 600-EP-17, código para la evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada. Documento redactado por la AIS y liderado en el 2015-16 por los investigadores Luis Yamín y Juan Carlos Reyes, en donde se estandarizó los estudios y reforzamientos para este tipo de arquitectura (Universidad de los Andes, 2018).

“En la reunión No. 139 del día 02 de mayo de 2017, los miembros de la Comisión recibieron el documento AIS-600-EP-17 para que lo estudiaran e hicieran sus respectivos comentarios al respecto.

Luego de la revisión, los miembros de la Comisión aprueban por unanimidad el documento AIS-600-EP-17 – Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada. La Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, considera que es apropiado la utilización del documento AIS-600-EP-17 para la evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de adobe y tapia pisada de uno y dos pisos, y coordinará con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio la redacción de un proyecto de decreto que modifique el Reglamento NSR-10, incluyendo la autorización de utilización del mencionado documento en los estudios de vulnerabilidad y reforzamiento de edificaciones patrimoniales de adobe y tapia pisada de uno y dos pisos” (Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes, 2017).

Cabe mencionar que hasta la fecha está pendiente a la firma del decreto por parte del presidente y ministerios, según Mercedes Arciniegas Ovalle - Directora Administrativa de la AIS, por lo que en esta investigación no será tomado en cuenta.

---

<sup>39</sup> La Comisión Asesora Permanente - Creada por medio de la Ley 400 de 1997, para la interpretación y aplicación de las normas sobre construcciones sismo resistentes.

### 5.3 Sismos en Colombia

Colombia se encuentra localizado en la zona andina, la cual hace parte del Cinturón de fuego del Pacífico<sup>40</sup>, una de las zonas de mayor riesgo sísmico en el planeta. El choque de las placas tectónicas Suramericana, Nazca y del Caribe, hacen de Colombia una región en continua actividad sísmica. La principal falla está inducida por el “doblamiento” de la placa de Nazca, cuando esta se “subduce” bajo la placa Suramericana (Figura 201, 247), en sentido Norte- Sur, lo que tiene como resultado la formación de las tres cordilleras que atraviesan a lo largo del país y el continente (Figura 202, 248). Provocando la liberación de energía en forma de onda sísmicas al fracturarse la roca. Además de esta gran falla, existen otras geológicamente activas que están distribuidas a lo largo del territorio nacional, que pueden provocar actividad sísmica en el país (Figura 205,250).

Lo que no ha de extrañar que según el DANE<sup>41</sup> y la AIS, cerca del 87% de la población colombiana se encuentra habitando zonas de amenaza sísmica considerables (Figura 199, 245). Estudio que señaló que 39.7% de los colombianos, unos 16.45 millones de personas viven en zona de amenaza sísmica alta, el 47.3%, lo correspondiente a 19.62 millones habitan en zona de amenaza sísmica intermedia, cifras provenientes del censo realizado en el 2005. Otras investigaciones han localizado las construcciones en tierra identificando su nivel de amenaza sísmica (Figura 200, 246); además señalan que el 33% (Gráfica 5, 267) de las 270 edificaciones coloniales declaradas patrimoniales, se encuentran en zona de riesgo sísmico alto (Acero Matallana, 2012).

Se tiene registros históricos de diversos sismos ocurridos en el país, desde la época de la colonia hasta 1922, año en el cual se instaló el primer sismógrafo en el país. Siendo en 1541 el primer sismo documentado por las instituciones europeas. Desde 1957 hasta 1992, tan solo se contaba con 7 estaciones sismológica permanentes en el país. Hoy en día Colombia cuenta con una vasta y moderna red de instrumentación para la toma de datos de eventos sísmicos, las cuales están siendo monitoreadas a tiempo real, mediante un sistema satelital por el SGC<sup>42</sup> y a otras instituciones con intereses geológicos. Lo que le ha permitido a la NSR-10, reunir la suficiente información para generar catálogos de eventos sísmico en el país y ponerlos al servicio de los colombianos.

La NSR-10 realizó el estudio de amenazas sísmicas en el país, basándose en la teoría sismología clásica, la cual tiene en cuenta la causa, distancia, energía y la probabilidad de ocurrencia, para un sismo de intensidad definida, y así lograr calcular la aceleración, desplazamiento o velocidad de un eventual sismo en cualquier punto del país. Donde se logró la elaboración de mapas, que sobreponían aproximadamente 28.000 terremotos registrados entre 1541 y 2009, de los cuales 9.000 eran de una magnitud igual o mayor de 3 en la escala de Richter (Figura 206, 250), lo que dio como resultado los mapas de la zonificación sísmica, donde se cataloga el territorio colombiano en función de la amenaza sísmica: baja, intermedia y alta (Figura 209, 253). Además, se generaron mapas empleando la metodología desarrollada por el profesor Mario Ordaz de la UNAM<sup>43</sup> para la evaluación de amenaza sísmica, atreves del programa CRISIS V7.2<sup>44</sup>. Donde se muestran los valores correspondientes, a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño<sup>45</sup>, para los períodos de vibraciones cortas  $A_a$  (Figura 210, 254) e intermedias  $A_v$  (Figura 211, 255). La cuantificación de estas aceleraciones fue la pauta para establecer los límites para la zonificación de amenaza sísmica, la cual establece que los territorios en

<sup>40</sup> Anillo Circumpacífico.

<sup>41</sup> Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

<sup>42</sup> Servicio Geológico Colombiano (anteriormente INGEOMINAS).

<sup>43</sup> Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>44</sup> Program for computing seismic hazard 2007.

<sup>45</sup> Para edificaciones existentes los valores de  $A_a$  y  $A_v$ , se sustituirán por  $A_e$  como lo indica la NSR-10 en el artículo A.10.3.4.

donde los valores tanto de  $A_a$  como  $A_v$  sean menores o iguales 0.10, será considerada baja; en el caso de que algunas de estas dos aceleraciones sean mayores a 0.10 pero menores que 0.20, se catalogara como intermedia; y en caso de que sean mayores que 0.20, su nivel de amenaza sísmica será alta (Tabla 48, 293) (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010).

Siendo esta la única manera de intentar controlar la vulnerabilidad de las edificaciones en Colombia, frente al continuo aumento de la población en zonas de amenaza sísmica. Mediante la realización de actividades para reducir el riesgo de estas poblaciones, mejorando la seguridad sísmica de los edificios; Tema que los actuales y futuros ingenieros y especialista debemos estudiar, para saber afrontarlo de la manera apropiada (Salgado, Bernal, Yamin, & Cardona, 2010).

Los sismos a lo largo de la historia en el territorio colombiano han mostrado lo vulnerables que son las construcciones en tierra, las cuales han llegado a colapsar en segundos ante este tipo de fenómenos naturales; lo que ha provocado pérdidas incalculables de vidas, económicas y patrimoniales.

En la Tabla 1, 29 se pretende mostrar lo principales eventos relacionados con los sismos ocurridos en el país (Figura 208, 252). La letra "S" indica un terremoto ocurrido; la "I" señala la implementación de sismógrafos; y la "N" muestra las normativas sismorresistentes en Colombia. A cada evento se indica el año, la ciudad, la magnitud del sismo en la escala de Richter y las observaciones del acontecimiento.

Principales eventos sísmicos en Colombia				
Símbolo	Año	Ciudad	Magnitud	Observaciones
S	1644	Pamplona, Norte de Santander	6,5	El sismo arruinó casi en su totalidad, la histórica ciudad de Pamplona, ya que la mayoría de las iglesias y casas quedaron destruidas, hubo 20 muertos y numerosos heridos. En Sogamoso y Firavitoba se averiaron las iglesias y en Bogotá fue sentido levemente por algunas personas. En San Cristóbal (Venezuela), se reportó el colapso de la iglesia de los agustinos y la ruina general de la población. Igualmente se registraron daños en Tostós y Acequias (Mérida). Las minas ubicadas en Vetas y California -Pamplona- que eran trabajadas por los indígenas, se derrumbaron tapando los socavones (Servicio Geológico Colombiano, 2009).
S	1766	Buga, Valle del Cauca	6,5	Este sismo causó efectos en algunas poblaciones de los departamentos de Valle del Cauca, Cauca y Tolima. Las poblaciones más afectadas fueron Buga y Cali, en las cuales hubo colapso de varias edificaciones, siendo las únicas donde se registró este tipo de daño. Las ciudades de Ibagué y Popayán presentaron daños leves (Servicio Geológico Colombiano, 2009).
S	1875	Cúcuta, Norte de Santander	6,8	También conocido como el temblor de los andes, que dejó más de 460 muertos en esta ciudad y más de un centenar en otras zonas afectadas, entre las perdidas cabe destacar el colapso del Templo del Congreso (Figura 70, 169), considerado como el mayor monumento de valor histórico en Colombia, en donde se firmó la constitución de 1821, de la

mano de Simón Bolívar y otros personajes importantes en la independencia de la patria, así creando la Gran Colombia (Fundación Red Proturismo, 2015).

S	<b>1906</b>	Costa pacífica	8,9	Uno de los sismos de mayor magnitud de la era moderna de la humanidad (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010).
I	<b>1922</b>	Bogotá		Instalación primer sismógrafo en Colombia en el observatorio San Bartolomé, inicialmente dedicado a la meteorología (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010).
S	<b>1947</b>	Pasto, Nariño	6	El sismo se sintió en varios municipios de los departamentos de Nariño, Cauca, Caquetá, Huila y Putumayo y los daños más graves se reportaron en las poblaciones de Pasto, Genoy, Obonuco, Matituy, Rosal del Monte, Buesaco y Chachagüí en el departamento de Nariño (Servicio Geológico Colombiano, 2009).
N	<b>1981*</b>	Colombia		Surge la primera norma para la construcción sismo resistente de Colombia fue la AIS-100-81, la cual no obligaba a los constructores a seguirla (Niglio & Valencia Mina, 2014).
S	<b>1983</b>	Popayán, Cauca	5,5	Sismo afectó a la "Ciudad Blanca", dejando un saldo de 300 muertos y más de 10.000 damnificados, lo cual causó grandes pérdidas económicas llegando a los 378 millones de dólares, el 0.98% del PIB de aquel año (Semana, 2017).
N	<b>1984</b>	Colombia		Se creó el CCCSR-84, la primera norma nacional que obligaba por decreto a diseñar y construir edificaciones sismorresistentes (Niglio & Valencia Mina, 2014).
S	<b>1994</b>	Páez, Cauca	6,8	El sismo dejó como consecuencias 1.100 personas muertas y perdidas económicas estimadas de 150 millones de dólares, el 0.18% del PIB de aquel año (Semana, 2017).
N	<b>1998</b>	Colombia		Los códigos de construcción van evolucionando para mejorar la normalización, haciéndola más estrictas, abarcando más sistemas constructivos, mejorando zonificaciones sísmicas, entre otras modificaciones que pretenden mejorar drásticamente la calidad en la construcción en Colombia; surgiendo así la NSR-98 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010).

S	1999	Eje cafetero, Quindío	6,2	Reconocido como el evento natural más desbastador en los últimos 40 años de la historia colombiana, cuyo sismo dejó una cifra de 1.900 víctimas mortales, generando pérdidas económicas por 1.590 millones de dólares, el 1.81% del PIB de este año (Semana, 2017).
S	2008	Quetame, Cundinamarca	5,7	Localizada a 35 kilómetros de la ciudad de Bogotá, se registró un sismo que ocasionó el colapso de una edificación de adobe, cerca del epicentro, y daños no estructurales en algunas edificaciones de la capital (Semana, 2017).
N	2010	Colombia		Se actualiza la NSR-10, actual norma sismo resistente del país, haciendo más estrictas las zonificaciones sísmicas y los criterios de diseño de la NSR-98 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2010).
S	2013	Guaitarilla, Nariño	7	<p>Debido a la profundidad y magnitud del sismo, fue sentido en un área extensa del país, en poblaciones ubicadas a más de 500 km del epicentro, como Bogotá, Medellín y Villavicencio, aunque se sintió especialmente fuerte en los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca. La mayoría de las personas reportó el movimiento en forma de balanceo y en muchos casos, lograron diferenciar dos o tres fases del sismo. Se reportaron daños en municipios de los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca, principalmente apertura de fisuras y grietas en muros y techos, caída de revestimiento de los muros, caída de tejas e igualmente ampliación de grietas preexistentes.</p> <p>En algunas poblaciones costeras de Cauca y Nariño, se reportó la falla de los pilotes de madera que conformaban los cimientos de las viviendas, lo cual se vio favorecido por la cimentación en suelos arenosos que se encontraban saturados, lo cual amplificó la respuesta del sitio (Servicio Geológico Colombiano, 2009).</p>

Tabla 1 Principales eventos sísmicos ocurridos en Colombia, autor.

La primera norma para la construcción sismo resistente de Colombia fue la AIS-100-81<sup>46</sup>; la cual no obligaba a los constructores a seguirla. Debido a las alarmas que provocó el sismo en Popayán en 1983, a nivel de ingeniería y construcción sismorresistente; se creó el CCCSR-84<sup>47</sup>, la primera norma nacional que obligaba por decreto a diseñar y construir edificaciones sismorresistentes. Este código fue evolucionando para mejorar la normalización, haciéndola más estrictas, abarcando más sistemas constructivos, mejorando zonificaciones sísmicas, entre otras modificaciones que pretenden mejorar drásticamente la calidad en la construcción en

<sup>46</sup> Adaptación al territorio colombiano del código ATC-3-06.

<sup>47</sup> Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes.

Colombia; surgiendo así la NSR-98, y posteriormente la NSR-10; Esto con el fin de salvaguardar las vidas y minimizar los daños en los bienes de los pobladores (Niglio & Valencia Mina, 2014).

Las intervenciones para la rehabilitación ante vulnerabilidad sísmica, debe garantizar una mayor ductilidad<sup>48</sup> en sus estructuras, siendo capaces de disipar la energía sísmica por medio de las deformaciones plásticas, salvaguardando la integridad de los usuarios y de la edificación. (Aguero Benites, Ceron Uribe, Gonzales Levano, & Mendez Landa, 2015). Sin dejar a un lado los elementos no estructurales, siendo una de las mayores causas de mortandad en los sismos (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

---

<sup>48</sup> Capacidad de desplazamiento sin generar falla de una estructura.

## 5.4 Sistema de inventarios bienes inmuebles en San Juan de Pasto

A mediados del siglo XX, se empezó a reglamentar diversas leyes con el fin de defender y conservar el patrimonio histórico, artístico y monumentos públicos del país. Estas normas que han evolucionado con el pasar de los años, definiendo los procedimientos para la intervención y declaración de los BIC y los PEMP, con el fin de darles un buen manejo y protección (Figura 215, 257).

En el marco legal se redactó el documento para el PEMP, que busca la conservación de los BIC del centro histórico de la ciudad de Pasto, el cual destaca en el artículo 192<sup>49</sup> el fin de la protección del bien que merecen ser preservados.

**"Artículo 192. Tratamiento de Conservación.** El tratamiento de conservación tiene por objeto proteger el patrimonio cultural, histórico, urbanístico y arquitectónico de la ciudad en todas sus manifestaciones, mediante acciones encaminadas a la recuperación, restauración y mantenimiento de recintos, conjuntos e inmuebles, que son poseedores de riqueza urbanística, arquitectónica e histórica; los cuales representan una visión, un momento o un modo de construir, de habitar, de vivir y que hoy son parte fundamental de la memoria colectiva de los habitantes del municipio y que por ello merecen ser catalogados y preservados como bienes de interés cultural (BIC)" (Ministerio de cultura, 2012, 1).

Estos inmuebles (para este estudio), en su mayoría pertenecen a personas u organizaciones privadas. Los propietarios de estas edificaciones son incentivados a conservar las características que hacen patrimoniales a este tipo de edificaciones, mediante acciones económicas por una adecuada preservación de su bien que se acojan a lo determinado por del PEMP del BIC.

"El **artículo 142** del Plan de Ordenamiento Territorial dispone que "Las normas específicas, los incentivos y acciones económicas para el sector central de la ciudad se determinarán en el Plan Especial de Manejo y Protección del Centro Histórico y de los BIC.

Conservar y revitalizar los inmuebles, recintos y conjuntos urbanos definidos en el citado plan como patrimonio arquitectónico y urbanístico, conectados por medio de ejes estructurantes que permitan la lectura histórica de la ciudad.

1. Recuperación y generación de espacio público, recuperando la imagen urbana (volumetría y fachadas) de los inmuebles, recintos y conjuntos arquitectónicos patrimoniales, como estrategia de cualificación del espacio público.
2. Densificación de áreas de renovación urbana.
3. Generación de espacios para la movilidad peatonal.
4. En el sistema estratégico de transporte público colectivo, generar un anillo perimetral al centro que incluya la carrera 19 entre calles 17 y 19, la calle 20 entre carreras 19 y 27, y la carrera 27 entre calles 20 y 17, para garantizar la movilidad en el área patrimonial.
5. Estimulación del uso residencial.
6. Actualizar el inventario y valoración de los inmuebles patrimoniales.
7. Especificar las normas urbanísticas en los sectores definidos en el centro de la ciudad, especialmente en lo referente a aprovechamientos, alturas, índices, densidades, niveles de conservación y demás parámetros" (Ministerio de cultura, 2012, 2).

---

<sup>49</sup> Resolución número 0452 de 2012: Por la cual se aprueba el Plan Especial de Manejo y Protección del Centro Histórico de Pasto (Nariño) y su zona de influencia, declarado bien de interés cultural del ámbito nacional.

Para que las edificaciones sean adoptadas por el PEMP, deben contar con la aprobación del ministerio de cultura.

"Que el **artículo 4 del Decreto 763 de 2009**, numeral 1.2, establece que el Ministerio de Cultura tiene competencia específica para "vii. Aprobar los PEMP de bienes que declare BIC del ámbito nacional o los declarados como tales antes de la expedición de la Ley 1185 de 2008, si tales bienes requieren de dicho plan, previo concepto del Consejo Nacional de Patrimonio Cultural" (Ministerio de cultura, 2012, 3).

Los parámetros que son tomados en cuenta por PEMP para la clasificación de las edificaciones a conservar<sup>50</sup>, dependerán de los valores históricos, estéticos y simbólicos del bien. La ausencia de estas normativas para la protección permitió la sustitución de construcciones patrimoniales por otras más "modernas" de mayor altura y cuyo estilo arquitectónico no va concorde a su entorno.

Las intervenciones en los inmuebles protegidos por el PEMP deberán estar acogidas a lo establecido por el decreto 763 de 2009.

- "
1. Conservación de la estructura vial y de paramentación del damero fundacional, con manzanas regulares cuadradas, así como su estructura predial.
  2. Conservación de los perfiles urbanos: Los ritmos de fachadas (vanos y muros, o llenos y vacíos) y sus elementos característicos (aleros, áticos, cornisas, molduras, yeserías, etc.); la paramentación alineada sin generar retrocesos; la inclinación o pendiente de las cubiertas.
  3. Armonización del paisaje urbano con una altura que permita la conservación de los continuos urbanos existentes y resaltar los hitos arquitectónicos de valor histórico y patrimonial.
  4. Consolidación de los usos institucionales, administrativos y culturales."

El PEMP señala su ánimo de proteger y velar por el patrimonio arquitectónico y cultural del centro histórico de Pasto; Pero sus normativas son abolidas por los dueños, arrendatarios, entidades públicas, políticos y empresarios; Los cuales no cuentan con el criterio para intervenir en estas edificaciones o su sentimiento de pertenencia por el patrimonio constructivo es mínimo.

Prueba de ello son las demoliciones de las antiguas casonas en el centro, a causa de la ampliación de la Carrera 27, y los futuros derrumbes que se aproximan, debido a la valorización de la zona, lo que hará más rentable las edificaciones del centro como lote que como bien patrimonial.

El área protegida del centro histórico por el PEMP de Pasto toma tan solo el 30% del área total declarada como patrimonio nacional histórico en 1959, lo que deja desprotegido gran parte del legado constructivo de la ciudad (Fonseca Gonzales , 2013).

Esta pérdida cultural-mueble es causada por la desarticulación entre la modernización ciudades y su historia; acompañado por una deficiente estructuración de los POT (Ortega C. , 2015). Los cuales demuelen parte de la identidad regional de los Pastusos cuando se tumban casas y demás edificaciones que representan por medio de sus muros, la historia y saberes regionales; cambiándola por una arquitectura mediocre, losas de cemento y un pueblo sin memoria (Figura 101, 190iError! No se encuentra el origen de la referencia.).

---

<sup>50</sup> Resolución por la cual se aprueba el Plan Especial de Manejo y Protección del Centro Histórico de Pasto (Nariño) y su zona de influencia, declarado bien de interés cultural del ámbito nacional.

Además, el sistema de inventarios de los BIC no cuenta con ningún ítem que indique o describa el sistema estructural o constructivo del bien. Información que sería necesaria para la cuantificación de la capacidad de la estructura para lograr soportar esfuerzos tanto horizontales como verticales de la construcción. Esta documentación permitiría identificar las estructuras en riesgo, priorizando las intervenciones en estas edificaciones, ejerciendo labores preventivas para la conservación del inmueble (Acero Matallana, 2012).

## 6 Estructuras en tierra

La tierra ha sido utilizada como material para la fabricación de las viviendas y toda clase de edificaciones de índole religioso, público y gubernamental. Su uso en la construcción se remonta desde los primeros asentamientos de múltiples civilizaciones a nivel global, lo que demuestra que es un material que hace parte de la historia de la humanidad y que ha podido adaptarse a casi todas las condiciones del planeta, predominando en las regiones de clima cálido y templado (Sanchis Mullor, 2009).

Hoy en día estas técnicas constructivas están siendo retomadas como sistemas de construcción sostenibles, en alternativas para la preservación del patrimonio arquitectónico y lo serán en futuros usos como opciones para la edificación económica de comunidades rurales<sup>51</sup> (Riveros Bolaños, 2007).

Múltiples investigaciones que se han desarrollado a lo largo del territorio americano tuvieron como objetivo el estudio de las estructuras construidas en tierra y la estimación de la vulnerabilidad sísmica. Estas investigaciones lograron una mejor comprensión de los sistemas constructivos en tierra, de los principales elementos y propiedades de los materiales que los constituyen, además, permitieron analizar el comportamiento estructural de estas construcciones ante eventos sísmicos y su resistencia a través de los años. Así mismo, estos equipos compuestos de investigadores multiculturales e interdisciplinarios han desarrollado nuevas propuestas de reforzamiento y rehabilitación estructural para este tipo de arquitectura, mediante la implementación de materiales como la madera, polímeros, acero, entre otras fibras y compuestos de origen orgánico o sintético; y el reforzamiento de las técnicas de construcción en tierra, como son el super adobe o BTC<sup>52</sup>. Las nuevas propuestas han demostrado a través de experimentación en laboratorio y en edificaciones insitu, su eficacia ante eventos sísmicos y su resistencia frente a condiciones a las que se puedan ver expuestas.

Estas alternativas son más eficaces, económicas y respetuosas con los valores patrimoniales, que las técnicas establecidas en la NSR-10, la cual sólo autoriza el uso de materiales como el concreto o el acero en las intervenciones en obras BIC (Redacción Especiales, 2016). Esto teniendo en cuenta que, como se mencionó anteriormente, la tierra como material constructivo no se encuentra dentro de los alcances de la normativa colombiana.

Pese a los innumerables beneficios que traen consigo las construcciones en tierra, tanto a nivel social, económico y ambiental (Tabla 40, 287), no se puede desconocer la baja resistencia a tracción de la tierra, su vulnerabilidad ante la humedad y los terremotos. Lo anterior hace necesario minimizar las patologías causadas por fuerzas naturales (acción volcánica, sismos, inundaciones, entre otras), o antrópicas (negligencia, vandalismo, fallas por mantenimiento, etc.) (Tabla 41, 288); sin olvidar el papel fundamental que cumple la geometría de estas estructuras, la cual busca reducir tracciones y maximizar los esfuerzos de compresión. Este factor es de gran importancia al momento de plantear abrir vanos, derribar muros o cualquier intervención que cambie la forma o las cargas originales del inmueble.

Hay que recordar que la época en la que fueron construidas estas edificaciones, las condiciones de confort y de servicio eran diferentes a las actuales, tampoco existían los códigos de construcción sismorresistentes, métodos de cálculos avanzados y demás herramientas para su control y diseño. La experticia del maestro y los tratados

---

<sup>51</sup> Construcción en tierra, de vivienda de interés social, en el municipio de Sonsón- Antioquia, por parte de la constructora VIVA (La Empresa de Vivienda de Antioquia).

<sup>52</sup> Bloques de tierra comprimida.

de construcción, eran los únicos instrumentos para el diseño y puesta en pie de las edificaciones históricas y de las actuales construcciones vernáculas y campesinas en muchas regiones del país<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> Edificaciones que han resistido el paso de los años, sismos y el paso de sus ocupantes, manteniéndose en pie hasta el día de hoy.

## 6.1 Vulnerabilidad

Como se ha mencionado en esta investigación, las estructuras construidas en tierra debido a su materialidad y sistema constructivo son vulnerables a la humedad, agentes biológicos (vegetación, xilófagos, hongos, entre más) y a los esfuerzos provocados por los sismos. La falta de mantenimiento, las sobre cargas (Figura 108, 194) y el deterioro de las propiedades mecánicas de los distintos elementos de estas edificaciones ponen aún más en riesgo a los usuarios y al bien en sí, ante un futuro evento telúrico. Se mencionarán los principales agentes, los cuales aumentarán la vulnerabilidad estructural de este tipo de arquitectura:

La **cimentación** de este tipo de arquitectura suele ser insuficiente, puesto que son poco profundas y su materialidad es muy débil, lo que generará problemas de asentamientos diferenciales, una inadecuada distribución de las cargas hacia el suelo y humedades por capilaridad, contribuyendo a:

1. Aumento del nivel de deterioro los muros.
2. Inestabilidad de los muros.
3. Deficiente capacidad de carga de la estructura.

La **irregularidad geométrica** tanto en planta como en altura de las construcciones en tierra, hacen susceptible a la estructura a los esfuerzos horizontales generados por los sismos, lo que causará fisuras y desplazamientos de los muros, poniendo al inmueble en riesgo de colapso.

Las estructuras que cuentan únicamente con **muros de carga orientados en una sola dirección** y que carecen de muros contrafuertes o muros diafragmas perpendiculares, serán vulnerables a los esfuerzos sísmicos fuera de su plano.

La **esbeltez** o relación entre el alto y el ancho del muro juega un papel fundamental en el comportamiento de la estructura para resistir diferentes cargas. Entre la estructura sea más esbelta (más ancha), será más estable y podrá resistir mejor las cargas sísmicas.

Una inadecuada conexión en la **intersección de los muros** conllevará a un fallo local en estos puntos, debido a que son uniones rígidas que no resisten a los esfuerzos de tracción; Además, de la pérdida de plomo, fisuración y demás patología que se derivan de estas circunstancias.

La **ausencia de entrepisos o entrevigados**, que sirvan como una estructura de diafragma rígido y de conexión firme entre los muros de la estructura, la hace vulnerables ante fuerzas perpendiculares, lo que generará a una falla al momento de un sismo considerable.

La ausencia de una **viga perimetral** a la altura del entrepiso o de la cubierta, que sirva como elemento de confinamiento, ocasionará una inadecuada transmisión de esfuerzos de las vigas a los muros, generando fallas por corte; además de una deficiente unión entre los muros provocando que estos se agrieten.

La **pérdida de la verticalidad** de los muros y pilares de madera entre otras piezas estructurales implicará a una mala distribución y transmisión de las cargas horizontales y verticales de la estructura.

Un deficiente **apoyo y conexión** entre las vigas del entrepiso, dinteles o de la cubierta, con los muros portantes, llevará a un colapso de estos elementos al momento que se desplacen los muros o exista una sobrecarga, lo que pondrá en peligro la estabilidad de la edificación.

La presencia de **luces** de gran magnitud ocasionará deflexiones considerables en los entrepisos, fisuras en elementos no estructurales, inconformidad al usuario y fallas locales en los puntos de anclaje del muro, causados por los sobre esfuerzos concentrados en esta zona.

Los **vanos** de puertas, ventanas y de más aperturas en los muros de tierra, son puntos críticos de la estructura. Su dimensión y ubicación están fuertemente ligadas con el desempeño estructural para soportar cargas estáticas y dinámicas. Los muros con gran cantidad de vanos o aperturas considerables que se ubican cerca de sus esquinas o discontinuidades son más susceptibles a sufrir daños y colapsar ante un sismo o sobre cargas.

La falta de mantenimiento, deficientes elementos estructurales que conforman la cercha, pérdida del tejado, sobre cargas, etc., harán vulnerable de colapsar a la estructura de la **cubierta**, además de incrementar las humedades, erosión y demás patología que traerá el contacto directo de la estructura con la intemperie.

Las estructuras construidas con tierra requieren un **mantenimiento** periódico, para así evitar que diversas patología ataque los elementos que componen la casa. La fumigación periódica, limpieza de canaletas, reparación de grietas, cambio de piezas faltantes, entre otras acciones; son medidas que contribuirán a que la estructura sea más durable.

Falta de **control de calidad** de los materiales y de la construcción, así como la ausencia de pega entre adobes, mal trabe de muros, baja calidad de los elementos portantes, vanos muy largos o cercas de las esquinas, muros poco esbeltos, materiales incompatibles, entre otros inconvenientes constructivos, de intervención o de diseño; Pueden generar fallas locales, haciéndolas más vulnerables a sismos.

Las **instalaciones** sanitarias, eléctricas, internet, térmicas, ventilación y demás adecuaciones para satisfacer las exigencias de servicio y confort del usuario de este tipo de edificaciones, han llevado a la generación de regatas y aperturas de vanos en los muros, las cuales son rematadas en su mayoría de veces con materiales poco compatibles con la tierra, lo que generará discontinuidad en la estructura de los muros.

La implementación de materiales como lo morteros de cemento, enchapes y demás insumos que no son **compatibles** con las propiedades isotrópicas, térmicas y de rigidez de la tierra, han evitado el correcto flujo de humedad de los muros de tierra, lo que ha provocado la pérdida de cohesión entre las partículas del suelo, el desprendimiento de pañetes, humedades y pérdida de la capacidad portante de los muros de carga, lo que pondrá en peligro su estabilidad y disminuirá la vida útil del inmueble.

La ausencia de **junta sísmica** entre edificaciones colineales construidas con materiales más rígidos, distinto sistema estructural y geometría, provocará el golpeteo entre ambas edificaciones y a su vez graves daños a los muros de cargueros ante fuerzas sísmicas (Figura 107, 194).

La **humedad** es la principal causa del deterioro de los elementos estructurales en las construcciones tradicionales de tierra (erosión, disgragación, floración de agentes bióticos, socavación, pudrición). Las causas de las humedades se dan por múltiples circunstancias:

- Capilaridad (deficiente cimentación).
- Infiltración (contacto directo con el suelo, mala conducción de las aguas).
- Condensación (falta de ventilación).
- Penetración (alero corto, ausencia de revestimiento en muros y cubiertas).

La humedad afecta el comportamiento de los materiales y su capacidad de resistir esfuerzos.

Como resultado de la humedad y de los excrementos de animales, surgirán múltiples afloramientos de **vegetación, líquenes y musgo**, que generan raíces y mantendrán la humedad en diversos sectores del inmueble, acelerando el proceso de pudrición y la disagregación de los materiales que constituyen el bien (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

## 6.2 Daños

Las estructuras de tierra tendrán un desempeño a sísmico, el cual dependerá directamente de su geometría, sistema constructivo y estado actual del inmueble. Ante un terremoto, el comportamiento de estas construcciones será de forma elástica, previo al fisuramiento de sus muros. Cuando estos están agrietados su comportamiento se asemejará al de trozos de muros independientes, entrando la esbeltez y estabilidad a ser factores principales para su análisis, lo que “dejará” a un lado el análisis elástico de los materiales.

Las grietas en este tipo de arquitecturas son muy comunes y son causadas por los asentamientos diferenciales, deformaciones en muros, sobre cargas o sismos; y se hacen evidentes en los puntos donde se concentran los esfuerzos como son los vanos, intersecciones de muros, bases de muros, esquinas y empotramientos.

En los vanos, los agrietamientos más comunes son causados por esfuerzos a flexión y cortante; las intersecciones de los muros se caracterizan por presentar grietas verticales y diagonales, provocadas por los esfuerzos a tensión.

Los muros largos trabajan de modo a voladizo, ante fuerzas fuera del plano, lo que generará grietas horizontales cerca de la base del muro. Si estos tienen restricción en la parte superior por efectos de una viga corona, esa grieta se formará por la mitad del muro, ya que entrará a comportarse como una viga simplemente apoyada.

Las sobre cargas transmitidas por las vigas a los muros, generarán grietas verticales en los empotramientos, causadas por el aplastamiento y esfuerzos a tensión (Figura 171, 230).

Aunque este tipo de arquitectura presente estos daños, podrá seguir en pie, incluso resistirá a sismos. A pesar de que las edificaciones con agrietamientos presentan mayores desplazamientos ante eventos sísmicos, estos movimientos no bastan para hacer voltear la sección de muro fisurada, debido a su gran masa, esbeltez y de la conexión en la parte superior de los muros (diafragmas).

La EERI<sup>54</sup> realizó un estudio para normalizar el agrietamiento en edificaciones de tierra después de un sismo; clasificándolo y describiendo su efecto en la estructura (Tabla 42, 289), con el fin de comprender la causa, para así proponer una eventual intervención (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

La esbeltez, condiciones de la base, conexiones entre muros, diafragmas, ubicación de vanos, son factores que harán que la estructura se comporte de una manera en particular, evitando el volteo de muros, permitiéndole así soportar diversos esfuerzos y cargas sísmicas.

Las **fuerzas sísmicas perpendiculares** al plano del muro generan esfuerzos a tensión, los cuales ocasionan grietas verticales en las esquinas y en sus intersecciones (efecto de “ariete”), chocando debido al movimiento del suelo. Continua a esta fisura, se extenderá una grieta horizontal provocada por el movimiento de balanceo del muro, lo que conectará grietas y discontinuidades de los muros, llevándolas a un eventual colapso (Figura 172, 230).

Entre los daños más comunes por acciones sísmicas fuera del plano, están el colapso de tímpanos, la interconexión de grietas a lo largo de muros y el fisuramiento a media altura de los muros.

---

<sup>54</sup> Earthquake Engineering Research Institute.

Cuando las cargas del sismo son **paralelas al plano** de los muros, generarán esfuerzos a cortante debido a las fuerzas horizontales, manifestándose como grietas diagonales a 45° y en "X", causadas por el movimiento cíclico del sismo.

Debido a la deficiente **conexión** entre los muros y a la concentración de esfuerzos en estos puntos, se originarán fisuras que pondrán en riesgo la estabilidad del muro. Las grietas verticales en ambas caras de los muros en una esquina son causadas por esfuerzos de flexión y movimientos fuera del plano (Figura 173, 231). Las fisuras diagonales ocasionadas por los esfuerzos a cortante que conecten la parte inferior de las esquinas, tenderán a crear un plano de falla por deslizamiento o volteo del pedazo del muro (Figura 174, 231).

Las grietas en las **aperturas** de puertas o ventanas son muy comunes debido a la acumulación de esfuerzos en estos puntos. Estas por lo general comenzarán en sus esquinas, provocadas por asentamientos verticales, incompatibilidad entre el dintel de madera y la tierra, o por esfuerzos a cortante (Figura 175, 231).

Las grietas verticales en las intersecciones de los muros son ocasionadas por el balanceo fuera de su plano, mientras que los muros perpendiculares a estos permanecen rígidos. Estas fallas ocasionarán que el muro actué como un elemento "libre" o sin restricción en sus extremos, lo que lo hace susceptible de volteo y colapso (Figura 176, 232).

Un mal **apoyo** en los muros y vigas, acompañado del movimiento de los muros, provocará un eventual colapso del entrepiso o de la cubierta hacia el interior de la edificación ante las fuerzas sísmicas. Si los apoyos de los entrepisos, cubiertas o vigas de coronación son demasiado rígidos, aparecerá una grieta horizontal cerca de estas, debido a las fuerzas fuera y dentro del plano (Figura 177, 232).

Si la conexión entre los muros de las **plantas consecutivas** no está bien lograda, esto puede provocar que se generen planos débiles en estas uniones, lo cual las hace propensas a sufrir daños y volteo al verse sometidas a cargas sísmicas fuera del plano (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

La **humedad** en las construcciones de tierra puede llegar a afectar drásticamente la estabilidad de su estructura, ocasionando la disgregación del material, deterioro de muros, disminución de capacidad portante, entre otros inconvenientes.

Las humedades en la parte inferior de los muros o **humedad basal** pueden provocar la pérdida de sección del muro. Esto disminuye el área transversal en la base (Figura 109, 195), , punto donde los esfuerzos de compresión son mayores, lo cual genera un plano débil ante fuerzas perpendiculares al plano, además de hacer inestable al muro por volteo.

Un exceso de humedad en los muros de tierra puede llegar a disminuir su capacidad de resistir esfuerzos hasta un 90% (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002). Esto se verá reflejado en el "hinchamiento<sup>55</sup>" de los adobes o módulos del muro, debido a la deformación causada por el debilitamiento del material, rompiendo las uniones de las partículas (arcillas, limos, agregado y materia vegetal) que componen el muro.

---

<sup>55</sup> Aumento de la sección trasversal del adobe debido a la deformación lateral causada por esfuerzos a compresión.

### 6.3 Refuerzo

Las recomendaciones y el reforzamiento estructural buscarán salvaguardar la vida de los ocupantes y la estabilidad del inmueble ante cargas estáticas y dinámicas; manteniendo, restituyendo o aumentando la capacidad estructural del inmueble. Para esto será necesario que la estructura trabaje solidariamente y en conjunto con cada uno de sus elementos (vigas, cubiertas, muros, canes, soleras, cimientos, entre otros).

Se proponen intervenciones que logren minimizar los desprendimientos y controlar los desplazamientos de los muros una vez las grietas aparezcan; Para esto se plantea diseñar conexiones más flexibles entre muros, que soporten los movimientos de las tapias fisuradas. Lo que lleva a realizar mejores refuerzos estructurales con materiales de mayor ductilidad y resistencia (Gaete Cruz, 2010). Esto se logrará mediante la implementación de mallas de distintos materiales y formas; listones de madera dispuestos horizontal y verticalmente; tensores; contrafuertes en tierra; columnetas y vigas de confinamiento. Con respecto a las vigas, será necesario que éstas se encuentren bien arriostradas y ancladas a los muros; ya que estas trabajan como elementos de arriostramiento evitando los movimientos de las tapias hacia el interior y exterior de la construcción; además se buscará mediante vigas de coronación (madera o concreto reforzado), afianzar los muros a la altura de los entrepisos y cubierta, que también servirá como elemento que ayude a distribuir mejor las cargas de las vigas a los muros.

Para contrarrestar los asentamientos diferenciales y arriostrar la parte inferior de los muros con la cimentación, se recomienda el reforzamiento de la cimentación con concreto armado, que logre conectar, unificar y fortalecer la base de la estructura. Para así lograr una mejor distribución de las cargas de la edificación hacia el suelo y controlar la humedad capilaridad; la eliminación de sobrepesos y cargas innecesarias de la estructura, contribuirán en minimizar los esfuerzos iniciales causados por los terremotos. Todas estas medidas buscarán disminuir la vulnerabilidad del edificio, sin cambiar su sistema estructural original (Martínez Delgado, 2016).

El fin de estas intervenciones será que las estructuras resistan los movimientos sísmicos leves sin daños; en sismos de intensidad media no presenten daños en elementos estructurales; y que evite el colapso en sismos de alta magnitud. Se deberá tener en cuenta que un adecuado mantenimiento de las edificaciones intervenidas ayudará a garantizar el buen funcionamiento del refuerzo y de la edificación en sí<sup>56</sup> (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Según la GSAP<sup>57</sup>, existen dos conceptos principales de diseño para el refuerzo a sismo resistencia de las estructuras en tierra. Las intervenciones que pretenderá mejorar la **estabilidad de la estructura** y la que busca **mejorar la resistencia de los materiales** que las componen. Los diseños basados en la resistencia de los materiales, dependerá directamente de las propiedades elásticas de los materiales; las propuestas para mejorar la estabilidad se basan en el rango inelástico de la construcción, buscando mayor ductilidad y unificación de la estructura (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

A continuación, se mencionan algunas obras de mejoramiento del comportamiento estructural que busquen salvaguardar las vidas de los ocupantes y edificio como patrimonio arquitectónico. Estos métodos se aproximan a los principios establecidos por las cartas del restauro<sup>58</sup>; respetando los principios de mínima intervención, compatibilidad y reversibilidad.

---

<sup>56</sup> Título A.10.1.2 de la NSR-10.

<sup>57</sup> Getty Seismic Adobe Project.

<sup>58</sup> Carta de Atenas (1933); Carta de Venecia (1964); Carta de Quito (1967).

Estas intervenciones se enfocarán en su mayoría a mejorar la estabilidad de la construcción, más que en aumentar la capacidad de resistencia sus elementos.

Las técnicas para **mejorar la estabilidad general** consisten en “envolver” los muros de las edificaciones en tierra con elementos continuos a tensión, buscando que la estructura trabaje solidariamente y en conjunto.

### Drizas

Esta técnica trata de reforzar estructuras construidas en tierra (adobe), mediante un sistema de cordones de cuerdas o nylon dispuestas horizontal y verticalmente, las cuales se encuentran tensionadas y amarradas entre sí, formando un conjunto de malla que envuelve a la edificación (Figura 81, 179). De esta forma se mejorará su comportamiento ante sismos, evitando el colapso de sus muros. Esta técnica tiene como principal ventaja: el fácil acceso a los materiales no requiere personal ni equipos especializado, materiales compatibles con la tierra, economía (Giribas, 2017).

### Tiras de llantas recicladas

Esta técnica busca reutilizar llantas usadas de carros, cortándolas en tiras, para posteriormente ser utilizadas en el reforzamiento de casas construidas en tierra; Estas tiras se unirán y tensionarán, de manera que envuelvan la edificación tanto vertical como horizontal mente; similar a las técnicas de refuerzo con drizas (Figura 82, 179). Esto lograra que el muro trabaje solidaria mente con el refuerzo, haciendo más dúctil el muro, permitiéndole tener desplazamientos mayores y resistir esfuerzos considerables. Lo que minimizara el riesgo de colapso del muro y de la estructura en sí, ante un eventual sismo. Esta técnica es de bajo costo, recicla llantas y mejora la respuesta de la estructura ante terremotos. Siendo una excelente alternativa para el reforzamiento sísmico de viviendas en comunidades de escasos recursos (Charleson, 2011).

### Geomallas

Tambien conocido como “pañete estructural”, sistema de refuerzo pretende “envolver” los muros estructurales con geomallas<sup>59</sup>; para posterior mente ser enlucida con un mortero de cal, esto aumentará la adherencia entre ambos elementos y la protegerá de los rayos UV. Además, mediante filamentos que atraviesan el muro, unirán el refuerzo de ambas caras, lo que permitirá que la estructura trabaje solidariamente con la malla. Este refuerzo aumentará la resistencia de los muros de adobe; la ductilidad de la estructura, lo que permite una mejor disipación de energía originada por el sismo; servirá de confinamiento para los muros, minimizando la probabilidad de colapso ante desplazamientos considerables. Este es un material que no se corroen con la humedad, su instalación es “superficial” y las propiedades mecánicas de los materiales son certificadas por sus fabricantes (Solis, Torrealva, Santillan, & Montoya, 2015)

### Electrosoldadas – Mallas de acero

Consiste en la simulación de vigas y columnas de confinamiento, mediante la implementación de mallas electrosoldadas – metálicas, revocadas con mortero de barro en ambas caras del muro. Ubicadas en los lugares más vulnerables de la edificación, tales como: vanos, soleras y esquinas. Acompañados de la construcción de vigas de coronación como elemento fundamental de amarre de muros (Quiun & San Bartolomé, 2008).

### Madera de confinamiento

Consiste en la instalación de tiras de madera de 20 cm x 2 cm, a lo largo de ambas caras de los muros, tanto vertical como horizontalmente; a separados a una distancia de 1.50 metros, asegurándose que la ultimo refuerzo este a 20 cm de la coronación del muro y el primer refuerzo a 50 cm de la cimentación. Este sistema de confinamiento con maderas se interconectará mediante pernos que atraviesan los muros, uniendo ambos

---

<sup>59</sup> Mallas de polímeros.

refuerzos; Las uniones en las esquinas de los refuerzos se conectarán por medio de platinas y tornillería. Se cubrirá la madera con cinta malla, para minimizar la fisuración del pañete en la unión de ambos materiales (Figura 178, 232). Esta intervención tiene como objetivo aumentar la resistencia de los muros, servir de confinamiento y lograr que la estructura trabaje como una unidad (Gomez, Lopez, & Ruiz, 2016). Existen propuestas similares que emplean el bambú o la caña como reforzamiento sismorresistente a modo de elemento de confinamiento (Figura 84, 180).

### Tensores de acero

Este método busca “anular” los esfuerzos de tensión en los muros, por medio de tensores de varillas de acero de  $\frac{1}{2}$ ” con roscas en sus extremos, ubicados horizontal y verticalmente del muro, que comprimirán la estructura a modo de refuerzo postensado. Para su instalación se realizará un regate de 2 cm de profundidad en ambas caras del muro; posteriormente se ubicarán los tensores que se conectarán por medio de platinadas a sus extremos (Figura 88, 182); Se tensionarán las varillas con llaves inglesas hasta generar los esfuerzos necesarios para compensar las cargas a tracción. Esta intervención tiene un impacto mínimo a la construcción, debido a que no se requiere el retiro de grandes áreas de recubrimiento de los muros (Lopez Perez, y otros, 2007).

### Confinamiento con columnas y vigas de hormigón

Propone la construcción de columnas, columnetas, vigas y viguetas de confinamiento en hormigón reforzado, para el reforzamiento de estructuras en tierra (Figura 85, 180). Con el fin de minimizar fallos en “V” (Figura 86, 181) en los muros, se generará una conexión entre el muro y los pórticos, mediante la instalación mallas electrosoldadas o refuerzo horizontal cada cierta altura (Matos, Quiun, & San Bartolomé , 1997).

### Tensores superiores

Mediante tensores de acero y nylon; o tiras de maderas (Figura 179, 233). Ubicados en la parte superior de los muros y entrepiso; estos tensores deberían ir firmemente anclados a los muros, estructuras de los entrepisos y cubiertas. Se buscará evitar el volteo, confinar la estructura y darles continuidad a los planos de los muros (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

### Tirantes

Mediante la implementación de tirantes de acero o de madera ( $\varnothing 15$  cm) que conectan y atraviesan perpendicularmente los muros (Figura 180, 233), se buscara arrostrar y evitar el volteo de estos. Los tirantes tendrán en sus extremos cuñas que anclarán los muros (Figura 169, 228) , con el fin de unificar el comportamiento estructural de la construcción, minimizando los desplazamientos y agrietamiento de los muros (Torrealva & Vicente, 2014).

### Coronación

El reforzamiento de la parte superior de los muros y del entrepiso de las edificaciones de tierra busca servir de confinamiento y amarre estructural, garantizar la continuidad de los planos, minimizando desplazamientos y fisuración de muros, lo que evitara que estos se “abran” o caigan hacia el interior del bien (volteo); Además de servir como elemento que distribuirá mejor las cargas y evitarán los esfuerzos cortantes provocados por la carga puntual de las vigas a los muros. Estas vigas de coronación se incorporarán en el perímetro de los muros, lo que simulará un zuncho en su extremo superior; se recomienda construir con vigas de amarre con madera o con ladrillos; el concreto no es óptimo ya que debido a su rigidez “excesiva” en comparación con la tierra, por lo que es susceptible a presentar fallas al momento de un sismo (Michiels, 2015). Siempre asegurándose de tener un correcto anclaje y amarre entre la viga, el refuerzo y el muro.

### Diafragmas

El fin de los diafragmas es trasmitir los esfuerzos generados en muros fuera del plano, a muros en el plano. Ya que este tipo de sistema constructivo son capaces de afrontar eficazmente las cargas dentro del plano; Los muros de gruesos considerables son más estables a fuerzas fuera del plano, por lo tanto, las medidas a tomar serán menores a las requeridas por muros más delgados (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002). Se propone fundir una placa de concreto de 5-10 cm de espesor reforzada con malla electrosoldada, sobre el entrepiso existente; Se utilizarán conectores con puntilla o con varillas de acero, para generar un correcto anclaje entre el piso original y la placa de concreto (Figura 181, 234); Será necesario hacer una “regata” en el muro con el propósito de que la losa quede indebida a este; acompañada de anclajes con varillas de acero que conecten la placa y el muro (Martellott, Martens, & Teuffel, 2015). Otra alternativa consiste en implementar un entablado en dos direcciones: mediante la instalación de vigas perpendiculares a las existentes y un nuevo entablado sobre el entrepiso original.

### Conexiones

Una correcta conexión y anclaje de los elementos que componen la estructura de la edificación es crucial para que esta trabaje conjuntamente; Además, de aportar mayor estabilidad y minimizar el desplazamientos y desarticulación de los elementos al momento de un sismo o de cargar considerables. Se proponen realizar anclajes que conecten efectivamente las vigas, entrepisos, cubiertas (Barrow, Porter, Farneth, & Leroy Tolles , 2009), dinteles y demás piezas a los muros. Esto por medio de “micropilotes” que buscan generar una mejor conexión entre la cubierta y los muros; pernos que atraviesan los muros y anclan el entrepiso y las vigas; refuerzo en las intersecciones de los muros buscando una mejor conexión entre estos.

Las intervenciones que buscan la **estabilidad de los elementos constructivos** son aquellas técnicas que mejoran la estabilidad puntual de los elementos que componen la estructuras. Entre ellas están las intervenciones que busquen restituir, evitar desplazamientos, volver a su posición original a elementos, inexistentes o en mal estado.

### Refuerzo esquinas

La incorporación de refuerzos que trabajan a tensión, en las zonas más vulnerables de la estructura tales como: encuentros y esquinas; Permitirá mejorar la capacidad portante del muro y su comportamiento ante sismos. Mediante la utilización de “llaves” y “grapas”, elaboradas con madera (Figura 87, 181) (Peñaranda Orias, 2011); Otras alternativas de refuerzo para las esquinas, propone el reforzamiento con pernos metálicos (Figura 183, 235); o con escuadras de maderas (Hurtado Valdez, 2009). Estas alternativas permitirán mejorar la traba en las esquinas de los muros, creando mejores uniones que lograr resistir los esfuerzos a flexión causados por un sismo; además de evitar la propagación de grietas y el desprendimiento de bloques (Figura 184, 235).

Las técnicas para **aumentar la resistencia de los muros** pretenden mejorar las propiedades mecánicas de la estructura de tapia. Mediante la implementación de técnicas que mejoren su comportamiento a tracción y compresión.

### Reforzamiento con fibras y polímeros

La aplicación de fibras o polímeros sobre los muros de tierra para mejorar su comportamiento a tracción al momento de un sismo, no son recomendables. Puesto que presentan problemas de humedad y su mecanismo de falla no es deseado ya que se genera de forma repentina (Michiels, 2015).

### Consolidación de muros

Esta técnica propone consolidar internamente los muros de tierra reparando las grietas y llenando los vacíos de los muros, mediante la inyección de una mezcla de barro y cal en estado líquido. En agrietamientos

considerables (1 cm), la reparación trabajara similar a una junta elástica, logrando una mejor disipación de la energía sísmica y asentamientos graduales del muro (Hurtado Valdez, 2009). Los muros reparados incrementan su resistencia a diversas cargas, evitara mayores patología, prolongara su vida útil y prepara la estructura para reforzamiento sísmico (Sosa Cardenas & Soto Oblea, 2014).

### **Rehabilitación de revestimientos**

Los pañetes es la protección principal de los muros, estos los protegen ante diversos agentes atmosféricos que podrían comprometer la estabilidad de la edificación y la resistencia de sus materiales. Se recomienda trabajar con morteros de cal y barro, lo que permitirá una correcta “transpiración” de los muros de tierra; Además, se propone picar la superficie e incorporar malla tipo gallinero anclada a los muros. Con esto se buscará hacer más duradero el recubrimiento de los muros. Logrando mejorar la adhesión del pañete, minimizar su fisuración, evitar descascaramientos y demás patología causadas por la ausencia de revestimientos (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

### Recomendaciones

Antes de tomar alguna decisión para el tipo de refuerzo o intervención en cualquier bien de carácter patrimonial, específicamente en las edificaciones en tierra. Es necesario que los profesionales, realicen un análisis interdisciplinario de la construcción, creando una sinergia entre la evaluación estructural, usuario, valores patrimoniales, tradiciones alrededor del inmueble, técnicas de construcción, vulnerabilidad y modos de falla de la estructura. Se deberá respetar a mayor medida los principios de compatibilidad, mínima intervención y reversibilidad. Con el fin de salvaguardar la vida de los pobladores, el bien y parte del legado cultura-mueble de la región. Preservando la integridad y la autenticidad de la construcción.

Diseñar refuerzos que permitan que la estructura se comporte como un sistema integrado.

Realizar análisis previo de la edificación con el fin de localizar puntos débiles y futuras grietas. Con el fin de reforzar estos puntos; limitando los daños de la estructura a niveles aceptables.

No es necesario “envolver” los muros de la estructura en su totalidad. El área de refuerzo y los puntos críticos deberán ser estudiados para diseñar un reforzamiento optimo que salvaguarde la vida de los usuarios, los bienes de los propietarios, cultura mobiliaria de la región y la economía del interventor (Blondet M. , Torrealva, Vargas, Velasquez, & Tarque, 2006).

En caso de que los revestimientos de los muros presentan acabados artísticos, se deberá estudiar la posibilidad de remover los murales para colocar el refuerzo y posteriormente ser reincorporados. Desistir de un reforzamiento en ambas caras del muro compromete el buen funcionamiento de la estructura haciendo ineficaz la intervención.

Previo a cualquier trabajo de reforzamiento será necesario el apuntalamiento preventivo de muros o elementos que peligren su estabilidad y por ende la vida de los trabajadores y de la construcción.

Nivelar los muros y consolidarlos mediante inyecciones de barro y cal en las grietas y vacíos, es necesario, ya que mejora las propiedades mecánicas de los muros y lo consolida internamente. De lo contrario bloques en mal estado o defectuosos de adobe o de tapia se podrían disgrregar o fracturar, debido a las tensiones que ejercen algunas técnicas de intervención a los muros.

El mantenimiento preventivo de este tipo de construcciones mejorara el comportamiento estructural ante diversas cargas. Ya que gracias a una adecuada labor se podrá tener una mejor resistencia de los materiales y comportamiento de los elementos que componen la estructura.

## 7 Casa Zarama

Colombia se encuentra **localizado** en el noroccidente de América del sur, zona tropical. Es el único país de esta región que cuenta con costas en el océano Pacífico y mar Caribe, con una posición privilegiada, gracias a su accesibilidad por mar y por ser un punto limítrofe entre el sur y el centro del continente.

Este país de 49.5 millones de habitantes<sup>60</sup> y 11.441.748 Km<sup>2</sup> de área<sup>61</sup>, se encuentra compuesto por 32 departamentos. Uno de ellos es Nariño, el cual está ubicado al suroeste del país, cuya capital es San Juan de Pasto<sup>62</sup>, fundada en 1537 por Sebastián de Belalcázar, a 9 Km del Volcán Galeras<sup>63</sup> (Figura 100, 189).

Pasto se encuentra localizada al suroeste del departamento (Figura 213, 256), en el Valle de Atriz o Hatunllacta sobre el Río Pasto, abarca una extensión de 1.181 Km<sup>2</sup>, a una altura de 2527 m.s.n.m., con temperatura promedio de 14°C, lluvias de 900 mm y su población municipal se estima en 411.706 habitantes<sup>64</sup>.

Tanto en su zona urbana como en la rural de la ciudad, se aprecia el uso de la tapia, adobe y bahareque como sistema de construcción. En la ciudad de Pasto existen 5.933 edificaciones de tierra (Programa PREPARE - USAID/OFDA, 2017), manifestadas en iglesias, conventos, cerramientos, casas, gobernaciones, entre otras estructuras.

La Casa Zarama se encuentra ubicada en el centro histórico de la ciudad de Pasto, en la esquina sur de la Plaza de Nariño<sup>65</sup>, sobre la Calle 18 y Carrera 24 (1°12'49.5" N 77° 16'43.1" W). Sobre la calle 18 limita con el Hotel Zorocan, una estructura a porticada de concreto de 5 niveles, y por la carrera 24 con la Casa Episcopal, una edificación en tapia de 2 pisos.

Este es un sector muy transitado en horas del día por los pobladores de la ciudad, pues el centro de Pasto es la zona de mayor flujo de la ciudad, donde se ubican bancos, comercios y entidades gubernamentales. En horas de la noche es un espacio poco habitado, pues la existencia de vivienda residencial es casi nula (Figura 4,51).

"El sector se mantiene como un mono centro urbano "vivo" que presta servicios a la totalidad de la ciudad" (República de Colombia - Ministerio de Cultura, 2012, 6).

El PEMP, ubica a la Casa Zarama en el sector 2, manzana 101, predio 009<sup>66</sup> - 010<sup>67</sup> de la ciudad de Pasto (Figura 214, 257); designándole como código predial: 0201010009000.

---

<sup>60</sup> DANE.

<sup>61</sup> Instituto Colombiano Agustín Codazzi.

<sup>62</sup> Toponimia Pas: gente – To: tierra. El primer nombre que tuvo Pasto fue "Villaviciosa de La Concepción" (Herrera, 2014).

<sup>63</sup> Es uno de los volcanes con mayor actividad en el territorio colombiano.

<sup>64</sup> DANE 2010.

<sup>65</sup> Plaza principal de Pasto.

<sup>66</sup> Predio Casa Zarama.

<sup>67</sup> Predio Casa José Antonio.

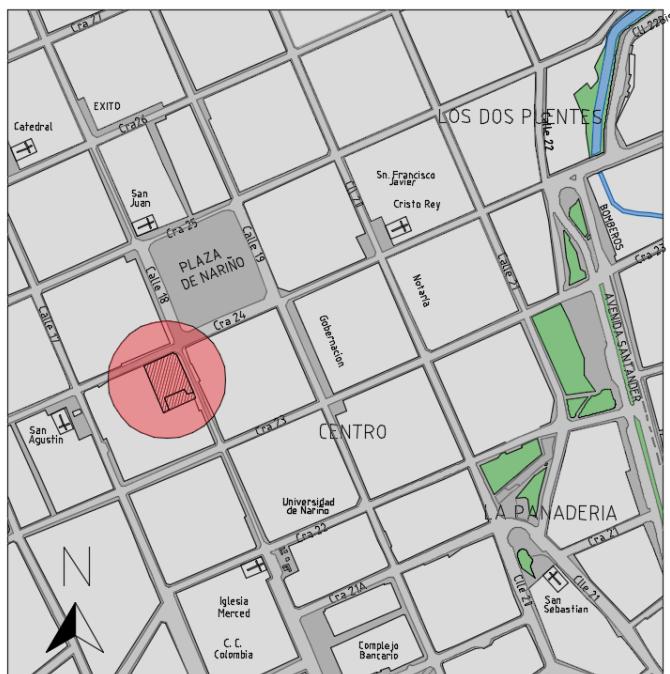
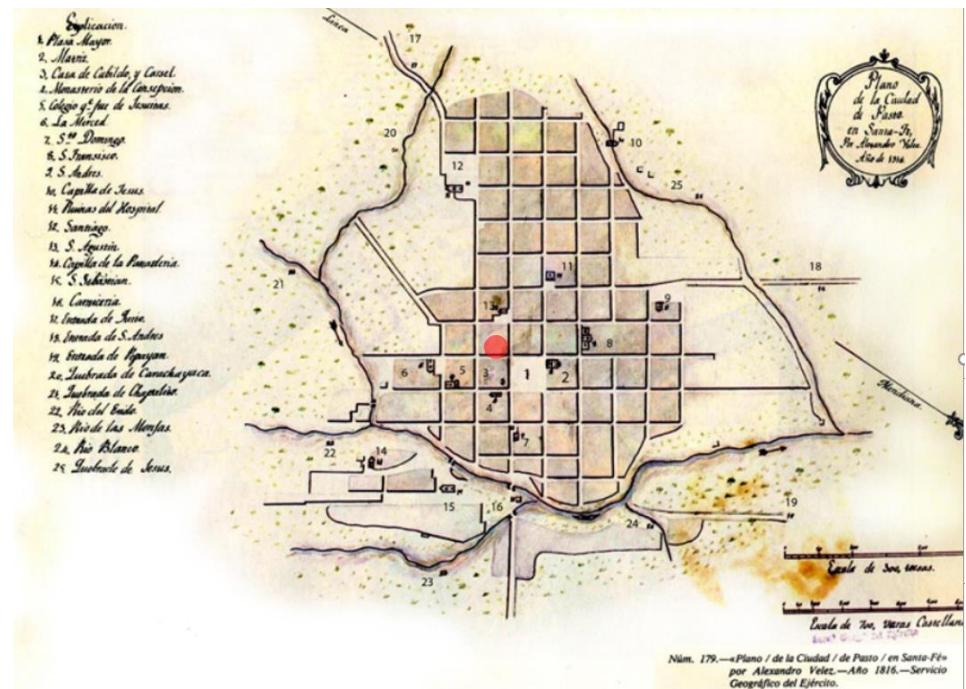


Figura 2 Ubicación Casa Zarama, Centro histórico de Pasto, actualidad.

Figura 3 Ubicación de la Caza Zarama.  
Plano histórico de la Ciudad de Pasto elaborado por Alejandro Vélez en 1816. FUENTE: (Universidad de Nariño, 2010).



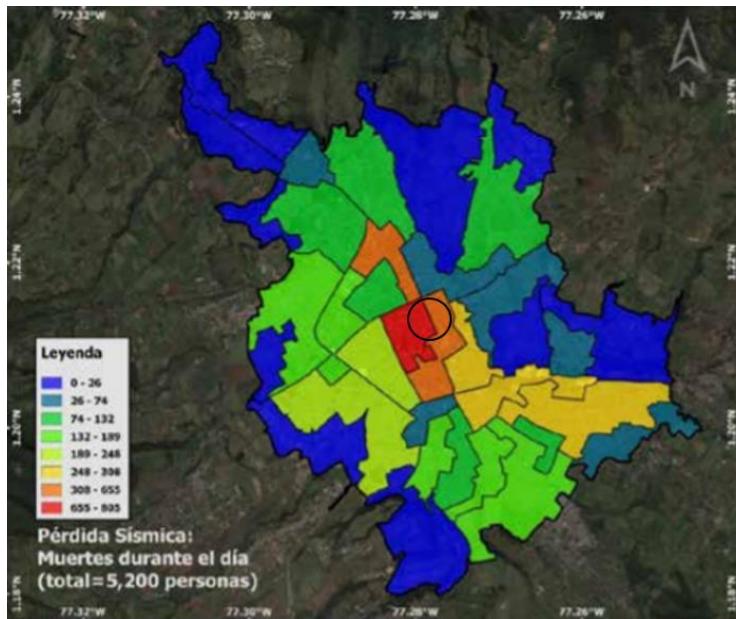


Figura 4 Ubicación Casa Zarama, Mapa de perdida en vidas ante un terremoto durante horas del día (Programa PREPARE - USAID/OFDA, 2017).

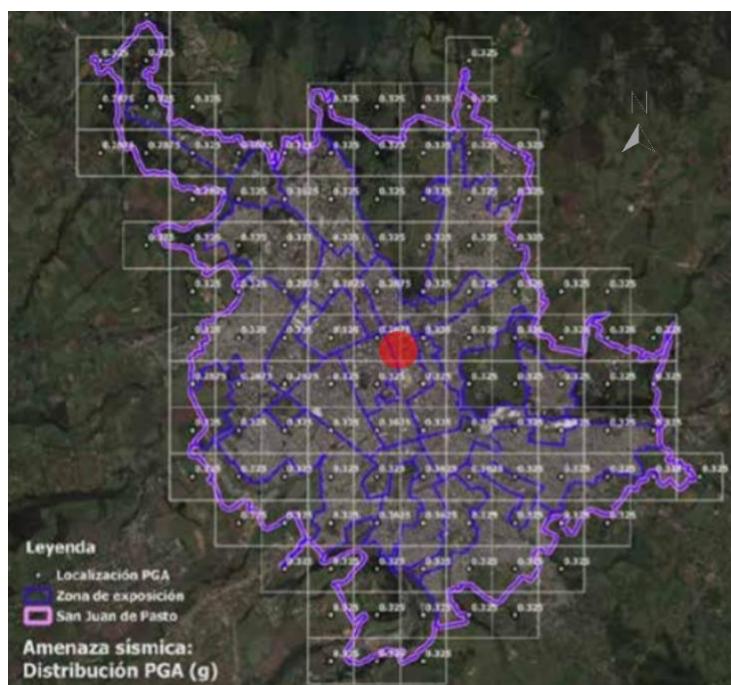


Figura 5 Localización Casa Zarama, Mapa PGA de diseño sísmico amplificado para Pasto (Programa PREPARE - USAID/OFDA, 2017).

El **suelo** en el cual se cimento las edificaciones del centro de Pasto, incluida la Casa Zarama, según el mapa geológico de la zona (Figura 216, 258*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*), corresponde a rocas

ígneas – sedimentarias, Qvc<sup>68</sup> - Qcal<sup>69</sup> - TQvIc<sup>70</sup>: “Rocas fluvio- volcánicas semi consolidadas del terciario – cuaternario. Flujo de lodo volcánico de composición heterogénea; intercalaciones de lava andesítica cerca de conos volcánicos lahares y cenizas”<sup>71</sup>.

El suelo se clasifica según la NSR-10 (Tabla 44, 291), como perfiles tipo D o suelos rígidos, con una capacidad portante calculada de 1.03 Kg/cm<sup>2</sup> (Fuertes Torres, 2014), la PGA<sup>72</sup> o aceleración pico es de 0.33g (Figura 551). La topografía en la cual se ubica la Casa Zarama es muy regular, superficie horizontal sobre la calle 18 y una inclinación leve sobre la carrera 24 (Figura 102, 190), presentando mínimos desniveles del terreno de fundación.

La información **histórica** de la Casa Zarama se obtuvo gracias a la documentación suministrada por la Ingeniera Leonor Caicedo, Arquitecto Mauricio Conto, Maestro Eduardo Campo Pantoja y al trabajo de investigación realizado por Julián Esteban Oliva Hernández<sup>73</sup>.

La planimetría de la Casa Zarama fue suministrada por el arquitecto Conto y la ingeniera Caicedo. Los levantamientos de la Casa Zarama fueron realizados en el 2009 por PLOTArt, con el fin de realizar las adecuaciones para el local esquinero (Ventura Café); el área correspondiente a la Casa José Antonio fue elaborado por el arquitecto Conto en el 2008 para los diseños de la aparta estudios ubicados en ese sector.

La investigación de Oliva Hernández se fundamentó en el archivo personal de Francisco Javier Zarama, notas de Hermógenes Zarama, entrevistas con María Mercedes Zarama y archivos fotográficos del Pasto antiguo. Además, realiza un video en el cual se expone un modelo 3D de la fachada de la Casa Zarama, una reseña histórica y fotos de la casa.

La ingeniera Caicedo, el arquitecto Conto y el Maestro Campo brindaron información sobre la técnica, sistema constructivo y materialidad de la casa. Esto gracias a sus investigaciones y a la experiencia en las obras realizadas en la Casa Zarama y otras edificaciones con características similares.

Según los relatos y archivos personales pertenecientes a la familia, la casa siempre ha pertenecido los Zarama Zambrano, exceptuando el periodo que perteneció al Obispo Puyana y en el tiempo en el cual la familia tuvo que refugiarse en el Ecuador debido a la era catalogada como “la violencia”<sup>74</sup>, en donde existió una persecución a los conservadores y a la iglesia. En aquel periodo la casa fue escuela, convento y cárcel (Oliva Hernandez, 2015).

Según las entrevistas realizadas en esta investigación, los relatos concuerdan que a mediados del siglo pasado se impuso una ley por la cual se debía modificar los aleros de las cubiertas que daban hacia la calle<sup>75</sup>. Estos tenían que ser remplazados por un antepecho y una placa de hormigón reforzado, como se implementó en la Casa Zarama y en otras edificaciones históricas de la ciudad de Pasto.

---

<sup>68</sup> Lluvias de ceniza.

<sup>69</sup> Depósito coluviales y aluviales.

<sup>70</sup> Lavas y cenizas.

<sup>71</sup> Segundo estudios de suelos realizados en el centro histórico de Pasto, por INGEOHID.

<sup>72</sup> Peak Ground Acceleration.

<sup>73</sup> Estudiante del Liceo de la Universidad de Nariño.

<sup>74</sup> Periodo de sangre y violencia del siglo XX, el cual nunca fue declarado guerra civil; en donde se enfrentaron a muerte el miembros y simpatizantes de los Partido Liberal y Conservador en Colombia.

<sup>75</sup> No se hayó documentación que corrobore dicha ley.

La casa se ha transformado a lo largo de los años, modificando sus espacios, materiales, usos y de dueños. Según lo observado en los archivos fotográficos (Figura 92, 184 - Figura 99, 188) y la inspección insitu, se evidencian las siguientes intervenciones en el bien, se recalca que esta ha conservado su volumetría “original” (Figura 223, 265).

La casa en un principio era de estilo colonial, pintada de blanco, balcones de madera, aleros y cubierta de tejas de barro.

*A forma de resumen se expone la*

Tabla 2, 53, en donde se señala el origen y se describe las principales intervenciones de la Casa Zarama.

Principales intervenciones de La Casa Zarama	
Ítem	Modificaciones
Cubierta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambio del armazón de la cubierta, en donde se cambia el sistema de cercha tradicional de par y nudillo al actual (Figura 75, 132).</li> <li>- Se construye un alero en concreto reforzado y antepecho en muro de ladrillo; Se modifica la geometría del tejado y elimina los aleros originales de la casa.</li> </ul>
Balcones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apertura de vanos del segundo piso en la actual Casa José Antonio.</li> <li>- Modificación de la tipología del vano del segundo piso esquinero.</li> <li>- Cambio de sistema estructural de los balcones. Eliminado los canecillos de madera por una plataforma en madera y ladrillo.</li> <li>- Cambio de barandales en madera por balaustres de concreto.</li> </ul>
Fachadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se “moderniza” las fachadas, cambiando su estilo colonial a republicano. Añadiéndole molduras, arcos en los vanos, cambio de pintura, balaustres de concreto y demás decoraciones propias del estilo arquitectónico republicano pastuso.</li> <li>- Se incorporan letreros de los locales comerciales del primer piso, lo que distorsiona las fachadas de la casa.</li> <li>-Instalación de alumbrado público, red eléctrica y de comunicaciones, a nivel del antepecho de la cubierta.</li> </ul>
Uso y distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actualmente la Casa Zarama funciona como un pequeño centro de oficinas en el segundo piso y comercio en su planta baja.</li> <li>- La antigua caballeriza y su patio se transformó en locales comerciales en el primer piso y en el segundo en la Casa José Antonio, un conjunto de 9 aparta estudios que preservan el estilo de arquitectónico de la casa.</li> <li>- Parte del patio de la antigua caballeriza fue techado incorporando un nuevo nivel sirviendo de plancha (hormigón) para el conjunto residencial. El área restante fue adecuada como oficinas de un solo nivel.</li> </ul>

Tabla 2 Principales intervenciones observada de la Casa Zarama, autor.

Actualmente está dividida en dos partes, la Casa Zarama y la Casa José Antonio (Figura 226, 269 - Figura 227, 270). Las cuales hacen parte del mismo conjunto, pero pertenecen a distintas personas que la administran, poniendo en riesgo de sufrir modificaciones que puedan alterar la armonía, conjunto y estilo del inmueble. En el 2018 se pintó la fachada de la Casa José Antonio de verde, color que no es propio a esta estructura y que rompió con la “unidad” de la fachada. Esto debido a diferencias entre los propietarios, arrendadores y el desinterés por mantener los valores arquitectónicos de la edificación.

A continuación, se plantea a modo de resumen una ficha cronológica de la Casa Zarama, en donde se señala las principales fechas que abarcan los eventos más significativos de orden constructivo, legal y sísmico relacionados con la historia del edificio. Cada echo está acompañado por una fecha, un símbolo o letra, el cual clasifica el acontecimiento. Mediante un guion (-) o un punto (●) se señalan la fuente de la cual se obtuvo la información; el asterisco (\*) indica un evento constructivo; la letra “S” ubica un sismo; y la “N” la implementación de alguna normativa que influya en el bien.

- Investigación Julián Esteban Oliva Hernández

● Ingeniera Leonor

\* Aspectos constructivos

S Evento sismo (Servicio Geológico Colombiano, 2009)

N Normativa (Basados en las entrevistas)

Ficha cronológica		
Símbolo	Año	Evento
		El Alfares Nicolás Gregorio Zambrano, venden a su hijo Esteban Zambrano la casa por un valor de 5000 pesetas.
-	<b>1712</b>	Para ese entonces el inmueble constaba en la planta baja con tres alcobas, un horno de panadería, caballerizas y tres entradas. En la segunda planta existía dos habitaciones, una sala, dos despensas y una cocina.
* ●	<b>1750</b>	Construcción del volumen de la actual casa.
-	<b>1786</b>	José Zambrano hereda la casa a su hija María Mercedes Zambrano.
-	<b>1794</b>	María Mercedes Zambrano vende a María Mercedes Marcionila Zambrano, la casa por 2129 pesetas con 4 reales más algunas joyas y objetos de valor.
S	<b>1827</b>	“Sismo de 7,1 en la escala de Richter y 7 en la EMR-98 (Daño severo). En Pasto y Popayán muchas casas, edificios públicos e iglesias presentaron agrietamientos y daños de consideración.”

- Sismo de 6,7 en la escala de Richter y 8 en la EMR-98 (Daño severo). “En Pasto quedaron semidestruidos numerosos edificios, casas e iglesias, como la de San Sebastián, San Francisco, Santo Domingo y Santiago. Bajo los escombros de las edificaciones murieron 50 personas y hubo un número similar de heridos. Debido al estado en que quedó la ciudad, tuvo que ser reconstruida casi en su totalidad. Quedaron destruidas las iglesias de algunos corregimientos de Pasto, como Mocondino, La Laguna y Gualmatán, al igual que las de municipios cercanos como las de Buesaco, El Tambo Funes y Yacuanquer.”
- Sismo de 5,9 en la escala de Richter y 8 en la EMR-98 (Daño severo). “El sismo fue sentido intensamente entre Pasto y Túquerres. Nuevamente, poblaciones como Guaitilla, Tangua, Yacuanquer y Pasto, se ven afectadas, agravándose los daños que había causado el sismo del 7 de agosto de ese año. Otros sitios como Túquerres, Ospina y Sapuyes, que no habían presentado efectos con el sismo anterior, sufrieron daños severos en sus construcciones, quedando muchas personas damnificadas. La zona rural del occidente de Yacuanquer y el corregimiento de Neira (Santa Ana) fueron los sitios que reportaron mayor destrucción.”
- 1845 Rosa Zambrano hereda la casa tras la muerte de Manuel Zambrano y María Pérez.
  - 1860 Luis Pérez vende la casa sin terminar de construir al Obispo de Pasto José Elías Puyuna, por 5700 pesos sencillos.
  - 1866 Los herederos de José Elías Puyana venden la casa a Antonio Zarama, por 4400 pesos sencillos. La casa contaba en la planta baja con 8 habitaciones, 2 huertos, 2 cañerías de agua, un desagüe, caballerizas y 3 tiendas. En la segunda planta tenía 9 habitaciones y 2 recamaras.
  - 1886 Antonio Zarama hereda la casa a sus hijos Virginia, Carmen, Isabel y José Antonio Zarama.
  - 1894 Virginia Zarama cede a sus hermanos su parte de la casa por 5000 pesos.
  - 1905 Carmen, Isabel y José Antonio Zarama realizan la repartición de los diferentes bienes heredados.
  - 1907 José Antonio Zarama se queda con la casa después de permutar unas propiedades por la parte de la casa de Carmen.
  - 1919 José Antonio Zarama hereda la parte de Isabel Zarama.
  - 1931 Muere José Antonio Zarama heredando la casa a su hija Matilde Zarama.
  - 1934 Muere Matilde Zarama, dejando en poder la casa a Miguel Román y Josefina.
- Sismo de 6,1 en la escala de Richter y 8 en la EMR-98 (Daño severo). “El sismo fue sentido fuertemente al sur de Pasto. Las poblaciones que mayores daños presentaron fueron Yacuanquer, Tangua, Puerres, Guaitilla y algunos corregimientos de Pasto, donde muchas casas se agrietaron y otras quedaron semidestruidas. En Iles, Ipiales, Nariño y Potosí, se sintió fuerte y se presentaron daños leves en pocas construcciones”.

- ● 1944 Muere Josefina, heredando la casa a los 4 hijos de Matilde Zarama: María del Carmen, Alberto, Francisco y Rafael Zarama.
- N 1945 Se decreta la ley para que estipula el cambio de aleros de estilo colonial por otro con antepecho y placa de hormigón armado.

El esposo de Matilde Zarama, Hermógenes Zarama, realiza una remodelación integral de la casa debido al mal estado de esta. En donde se cambian la cubierta, modificación de aleros, pisos de ladrillo del segundo nivel por entablado en madera, cambio de ventanas, balcón en la esquina, cambio de acceso principal de la Calle 18 a la Carrera 24. Estas obras duraran 4 años.
- \* - ● 1947 Sismo de 6 en la escala de Richter y 8 en la EMR-98 (Daño severo). "Algunos de los principales efectos en Pasto fueron: en el cementerio colapsaron los muros de cerramiento y las tumbas se salieron de las bóvedas; el Hospital San Pedro tuvo que ser demolido; hubo daños en las torres y estructura de las iglesias de San Felipe, Pandiaco y Santiago; en el palacio municipal, palacio de la gobernación, plaza de mercado, el matadero municipal que estaba en construcción, Universidad de Nariño y el Colegio San Francisco Javier hubo numerosas grietas y desperfectos; según datos de la alcaldía fue necesario demoler 500 casas hechas de adobe o de ladrillo sin refuerzo."
- ● 1948 Hermógenes Zarama, comienza a comprar todas las acciones y tiendas de la casa con el fin de devolver la planta baja a la casa.
- \* ● 1987 Se efectúa la remodelación de los baños de la segunda planta por parte del Arq. Alejandro Villota
- 1987 María del Carmen Zarama hereda su parte de la casa a sus hermanos vivos.
- 1988 Se procede a realizar la división de las acciones de la casa, quedándose con el 70% de esta Rafael y el 30% en manos de Francisco Zarama.
- S 1995 Sismo de 5 en la escala de Richter y 6 en la EMR-98 (Daño leve). El sismo se sintió en un área reducida, principalmente en Pasto y algunos municipios vecinos. El epicentro se localizó al noreste del cráter del Volcán Galeras y se considera un sismo volcano-tectónico.

Los habitantes de Pasto sintieron el sismo con intensidad, muchos se asustaron y salieron a la calle. En el área urbana se registraron pocas viviendas con daños entre leves y moderados, mientras que en la parte rural hubo daños en muchas viviendas debido a la alta vulnerabilidad de estas. El caso más mencionado por la prensa local fue el de la destrucción de una vivienda en el Barrio Pandiaco, a causa del derrumbe de un pequeño cerro que cayó sobre esta y causó la muerte a sus siete ocupantes.
- \* ● 1996 Se efectúa la remodelación del primer piso, combinado el uso de un local a 12 oficinas, con divisiones en ladrillo; instalaciones hidráulicas, eléctricas y sanitarias. Los pilares de madera del primer piso alrededor del patio interno, se le remplaza el primer tramo de estos por un pedestal de concreto. Obras efectuadas por Esteban Zarama.

- 1996 Actuales dueños: Luis Rafael, Juan Pablo, Bernardo, Rosa Matilde y Esteban Zarama.
- \* 2009 Remodelación en el local esquinero. Se crea hueco para escalera en espiral y se adecua el espacio para cafetería de dos niveles.
- \* 2011 Remodelación de la Casa José Antonio, antigua caballeriza de la Casa Zarama. Se realizan 9 aparta estudios en el segundo nivel. Redistribución de locales comerciales en la primera planta (Figura 103, 191).
- \* 2018 Se pinta la fachada de la Casa José Antonio de un color distinto a la de la Casa Zarama.
- \* 2018 Además de realizar trabajos de mantenimiento de cubiertas y enlucidos de muros internos de la casa.

Tabla 3 Ficha cronológica de la Casa Zarama, autor.

## 8 Análisis constructivo

Para el análisis constructivo de la Casa Zarama se realizó un estudio de las edificaciones antiguas de la ciudad de Pasto y de las poblaciones aledañas. Además de utilizar como bibliografía principal los textos<sup>76</sup> y estudios del Maestro Eduardo Campo Pantoja, uno de los investigadores que más han estudiado las construcciones del centro histórico de Pasto y del departamento de Nariño. Esto con el fin de entender la materialidad, sistema constructivo y estructural de la Casa Zarama.

La **cimentación** de este tipo de edificios está constituida mediante una viga corrida, construida con un concreto ciclopé, de mortero pobre de cal y rocas rodadas de 10-15 cm (Figura 105, 193). Este cumple la doble función de: distribuir los esfuerzos de la estructura y trasmitirlos al terreno; y de servir como elemento que aisle los muros de tapia con la humedad del terreno natural.

Para su construcción se cava una zanja de ancho igual al muro que soportara, a una profundidad de 60 cm. Utilizando el terreno natural como formaleta, se precede a echar una capa del mortero de cal, seguida por una de roca. De esta manera se continuará hasta llegar a la altura de 20 cm a nivel del terreno (sobre cimiento), minimizando así las humedades por capilaridad.

Debido a la cercanía y la constante actividad volcánica del Galeras<sup>77</sup>, el subsuelo de la ciudad de Pasto está rodeado de rocas de gran tamaño que fueron expulsadas en erupciones del pasado. Es fácil encontrarse con estas rocas en cualquier cimentación de las construcciones de la ciudad (Figura 106, 193).

Para la construcción del **pavimento** en las primeras plantas de estas edificaciones, era usual utilizar baldosas hidráulicas de forma cuadrada, las cuales podían conformar mosaicos que adornaban los salones, simulando los patrones de un tapete; También se eran utilizadas tabletas o ladrillos de barro cocido para dar solución al piso.

Para la construcción de estos se nivelaba el terreno y se apisonaba; luego se procedía a mejorar el terreno mediante la extensión de una subbase de roca mesclada con arena, de aproximadamente 10 cm, la cual era compactada; a continuación, se construía la base con material de relleno, compactando y nivelado; para recibir una capa de mortero de cal la cual serviría de pega para las baldosas y el remate de estas. Para las tabletas de barro cocido se situaban directamente sobre el material nivelado haciendo las dilataciones entre elementos con una lechada de cal (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

El primer piso de la Casa Zarama no cuenta con su pavimento original, todo fue remplazado por baldosas con motivos que imitan rocas, mármoles y de más (Figura 110, 196). Cabe mencionar que en Pasto el uso de piedra laja negra era utilizado para la construcción de las aceras peatonales.

Gran parte de las construcciones vernáculas y patrimoniales en Colombia utilizaron la tierra cruda como principal material para su elaboración. Estos materiales se encontraban disponibles en la zona de las edificaciones, los cuales fueron trabajados por los campesinos locales, para construcción de muros de tapia, bahareque y adobe. Lo que dio origen a soluciones particulares para cada región, estableciendo su singular arquitectura y un significado cultural e histórico para su pueblo.

---

<sup>76</sup> (Campo Pantoja & Suarez, Descripción y clasificación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales implementados en la construcción de muros en tapia pisada, presentes en las edificaciones de carácter republicano, pertenecientes al centro histórico de San Juan de Pasto, 2017)/ (Campo Pantoja, Pasto: Arquitectura - Procesos Construtivos en Tierra, 2006).

<sup>77</sup> También llamado Volcán Urcunina.

Los **muros** de tierra cruda son sistemas constructivos que han empleados desde la fundación de las primeras civilizaciones para la construcción de edificaciones. Los cuales se han servido como cerramientos, vivienda, templos y demás edificios de uso público, militar y gubernamental, para sus pobladores.

Este sistema murario trabaja solidariamente con la estructura de la cubierta, entre pisos y umbraladuras<sup>78</sup>, sirviendo como elemento arriostrador y portante, permitiendo abrir vanos y mantener la estructura en pie ante las distintas cargas a las que se pueda ver sometida.

La estructura muraria de la Casa Zarama está constituida principalmente por muros de tapia pisada, bahareque y adobe. Cabe recalcar que se han implementado otro tipo materiales para la construcción de muros tales como: bloque de ladrillo, paneles de madera, Drywall y concreto, en pasadas intervenciones de la casa.

Los muros de tapia pisada cumplen la función de delimitar el interior con el exterior de la casa, resistir y trasmisitir las cargas de la cubierta, entrepisos, peso propio, vientos, de servicio y sismos; a los cimientos y estos al terreno portante.

Las habitaciones internas de la casa se dividen por medio de muros de bahareque, estas únicamente soportaran su peso propio y cargas producidas por muebles u ornamentos fijados a estos, sin cumplir mayor función estructural.

La coronación de los muros de tapia, hastiales y pilares se realizará con mampostería de bloques de adobe, sirviendo de cerramientos y apoyos para la estructura de la cubierta de la casa.

En el reconocimiento insitu de la Casa Zarama y demás edificaciones en tierra históricas de la ciudad de pasto, no se evidencio la presencia de vigas coronas ni de vigas de entrepiso. Las cuales cumplirían el papel de “zuncho” y ayudaran a distribuir mejor la carga de los forjados a los muros. No podemos afirmar que estas no están presentes en la Casa Zarama, ya que estas vigas se instalaban en la mitad del muro carguero, por lo que no se puede observar a simple vista, haciendo necesarias catas para determinar la presencia de estos elementos.

La **tapia** es un sistema estructural y constructivo de muros en tierra cruda. El cual consiste en apisonar tierra humedecida, dentro de un encofrado de madera llamado tapial (Figura 185, 236) compactándolas en capas de 10 – 15 cm, mediante un pisón de madera, hasta llegar a la altura requerida. De esta manera la tierra se consolida formando un bloque de tierra homogéneo, llamado también tarea<sup>79</sup>.

---

<sup>78</sup> Dintel / 4. m. Arq. Madero que se atraviesa en lo alto de un vano, para sostener el muro que hay encima (RAE).

<sup>79</sup> Nombre con el que fue nombrado al bloque de tapia en obra, para facilitar las cuantidades y pagos de la labor realizada. (Campo Pantoja, Pasto: Arquitectura - Procesos Construtivos en Tierra, 2006).

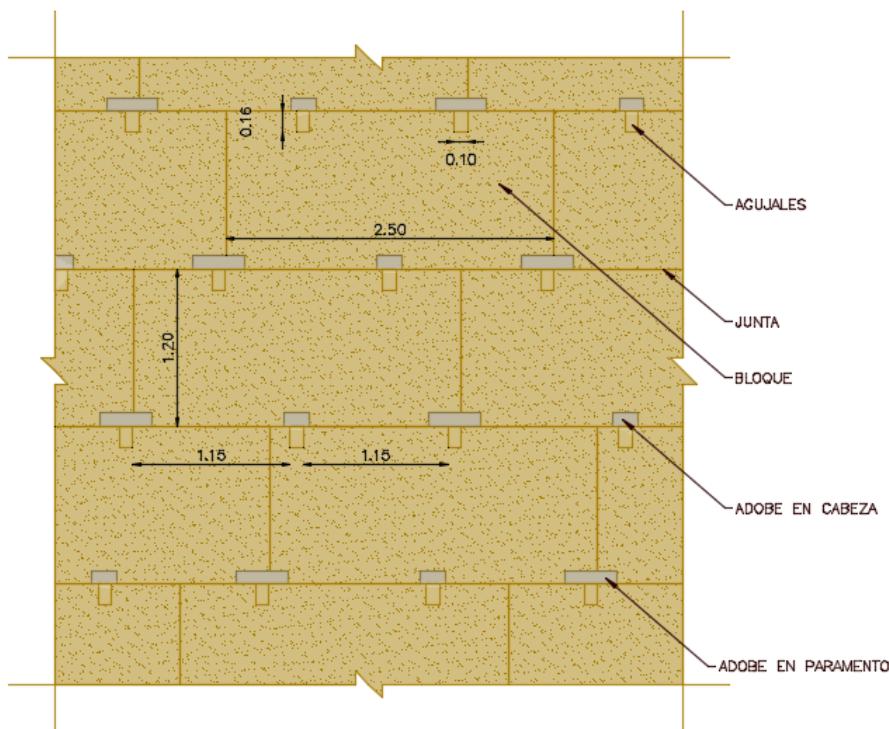


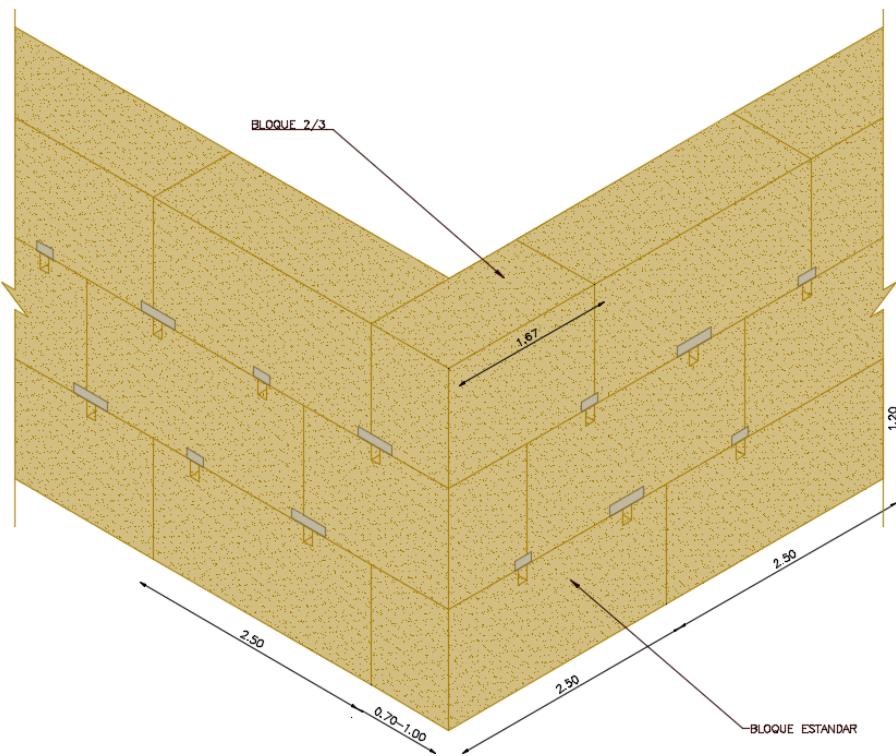
Figura 6 Muro en tapia, detalle del autor.

La unión de los bloques de tierra compactadas formara el sistema de muros portantes de la edificación, estos se posicionaran de manera similar en la que se eleva un muro de mampostería, pero de proporciones “gigantes”. Los bloques estarán dispuestos de tal forma que el aparejo quede en “mata juntas”, lo que buscara que las juntas verticales no queden sobre la misma recta (Figura 113, 198), evitándole futuras fallas por falta de continuidad en el muro (Figura 6, 60). Para mejorar la adherencia entre dos hiladas consecutivas, se escarificará mediante un cincel la cara que recibirá la nueva hilada, con el fin de aumentar la rugosidad entre las dos superficies. (Yamin Lacouture, Philips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007). Los encuentros de muros de tapia en “L”, “T” y cruz, se solucionará situando los bloques de modo que generen un buen “trabe” en estos puntos. En algunos casos con el fin de mejorar la unión entre muros y coronación de estos, se optó por emplear dos refuerzos horizontales con madera rolliza ( $\varnothing$  7 - 15 cm) en la mitad del espesor, incrustados a  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{2}$  de la longitud del bloque de tapia, aproximadamente a 30 cm de las juntas horizontales (Figura 110, 196). Los muros de tapia tienen ciertas características singulares, como lo son las juntas horizontales y verticales; rugosidad y color; las agujadas y los adobes. Estas particularidades corresponden a los materiales, herramientas y la forma en la cual fueron construidos.

Los **encuentros** de los muros tenían diferentes soluciones y variaban dependiendo de la manera en la cual estos se interceptaban. Los bloques de tapia eran dispuestos de tal manera que generará una correcta unión o “trabe” entre ambos planos.

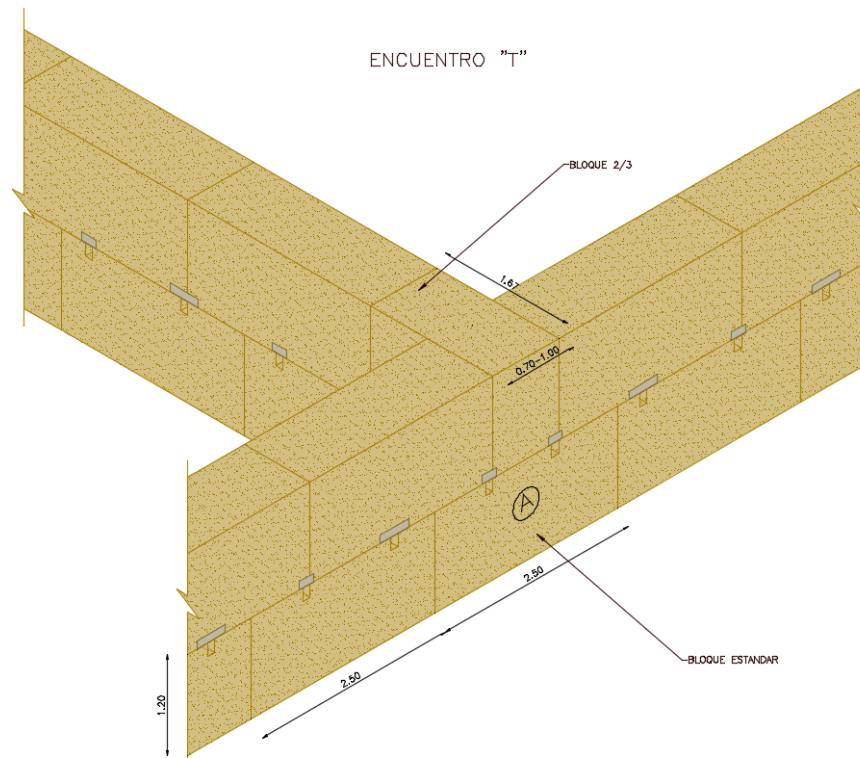
En las esquinas “L”, se optó por comenzar cada hilada con bloques de 2/3 de largo con respecto a la dimensión estándar (esquina del muro), perpendicular a este se ubicaba un bloque de largo estándar, intercalando el aparejo (cremallera) con la hilada superior. De tal manera que la junta quedara lo más cercana al centro del bloque de encima. (Pineda Cabrera, 2014).

Figura 7 Encuentro en "L".  
Muro de tapia, detalle del autor.



Los cruces de muros en "T", se solucionaron construyendo los bloques de la primera hilada con el largo estándar, el eje del bloque en posición perpendicular se ubicará en el centro del bloque A, (nunca en la junta). La segunda hilada tendrá también el largo nominal, exceptuando el primer bloque perpendicular que tendrá 2/3 del largo nominal y se ubicará sobre el centro bloque A.

Figura 8 Encuentro en "T". Muro de tapia, detalle del autor.



La unión en cruz se efectúa con bloques de tamaño nominal en el cruce, de tal manera que los ejes de los bloques perpendiculares crucen por la mitad (nunca por la junta) del bloque y la hilada anterior, intercalando su posición en cada hilada.

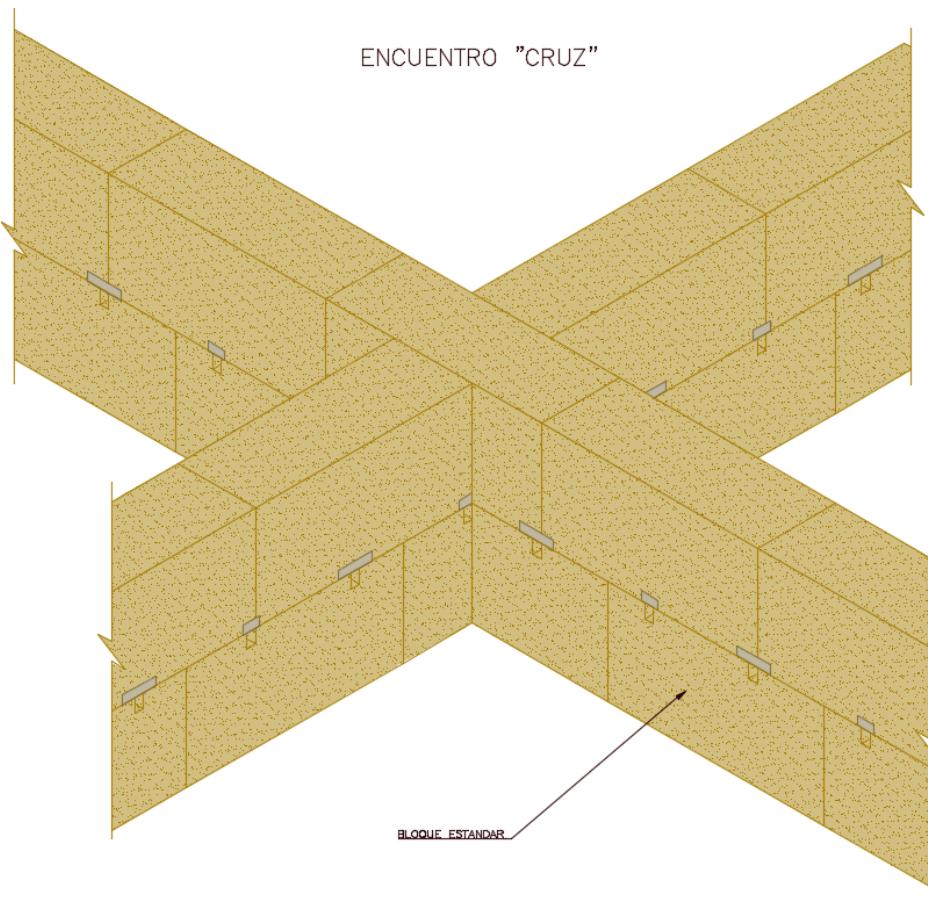


Figura 9 Encuentro en "cruz". Muro de tapia, detalle del autor.

Gracias a la forma en la cual se dispone el aparejo de cada bloque, la estructura va a soportar las cargas a las que van a estar sometida, minimizar puntos débiles de la estructura, aumentar su estabilidad, rigidez y resistencias a empujes horizontales.

Los muros portantes de la Casa Zarama fueron construidos con bloques de tapia de 2.5 m de longitud, 1.2 m de alto y su espesor va a variar dependiendo a su ubicación. El primer nivel tiene una altura de 4.70 m, los muros externos tienen un espesor de 70 – 80 cm y los internos 90 -100 cm. El segundo nivel tiene una altura de 4.36 m, con muros externos de 70 – 75 cm y los internos de 70 – 90 cm. Siendo de proporcional el espesor los muros con la capacidad a soportaran cargas.

La dimensión y disposición de cada bloque podrá variar dependiendo a los encuentros, vanos y localización de muro. Siendo en los niveles inferiores de mayor espesor que los superiores, así mismo los bloques tendrán una altura menor en las hiladas de las coronaciones de los muros y las culatas, logrando así la altura necesaria para darle forma a la pendiente de las cubiertas (Figura 114, 198).

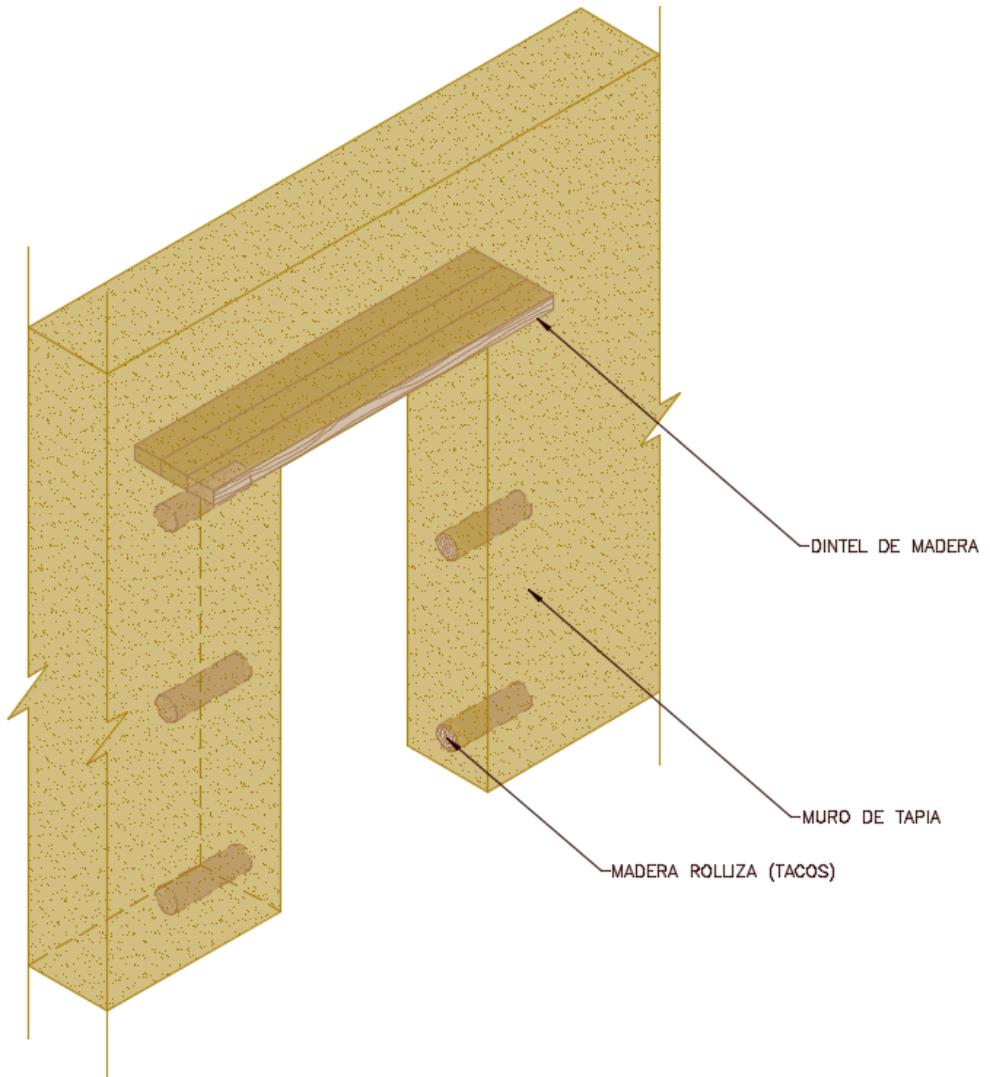
Los **vanos** son “huecos” en los muros que permiten la comunicación entre diferentes espacios de la casa y el exterior, estos pueden ser ventanas, puertas o ductos. Para poder generar este tipo de discontinuidad en el muro es necesario la incorporación de una estructura que pueda soportar estas cargas ya que la tierra no trabaja a

tracción. En la Casa Zarama se construyeron grandes dinteles con vigas madera en paralelo, que cubrían todo el espesor del muro (sección rectángulas 25 X 10 cm) con un empotramiento en los muros de 40 – 50 cm, aproximadamente a 1/3 de la luz del vano (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004). En las caras internas de los muros de los vanos, se dejaban incrustadas secciones de madera rolliza (Taco) que sobre saliera unos pocos centímetros, con el fin de servir de punto de anclaje para los marcos de las puertas y ventanas (Figura 10, 63).

En los vanos del segundo piso, se implementaron en la base de estos, dinteles de madera similares a los superiores. Esta solución se dio para contrarrestar las grietas ( $45^{\circ}$ ) en los vértices de los vanos debido a la nula resistencia al corte de la tierra.

Además, se implementó el arco para la unión de espacio en la primera planta. Los cuales eran primeramente construidos con piezas de ladrillo cocido sirviendo de cimbra (Figura 117, 200).

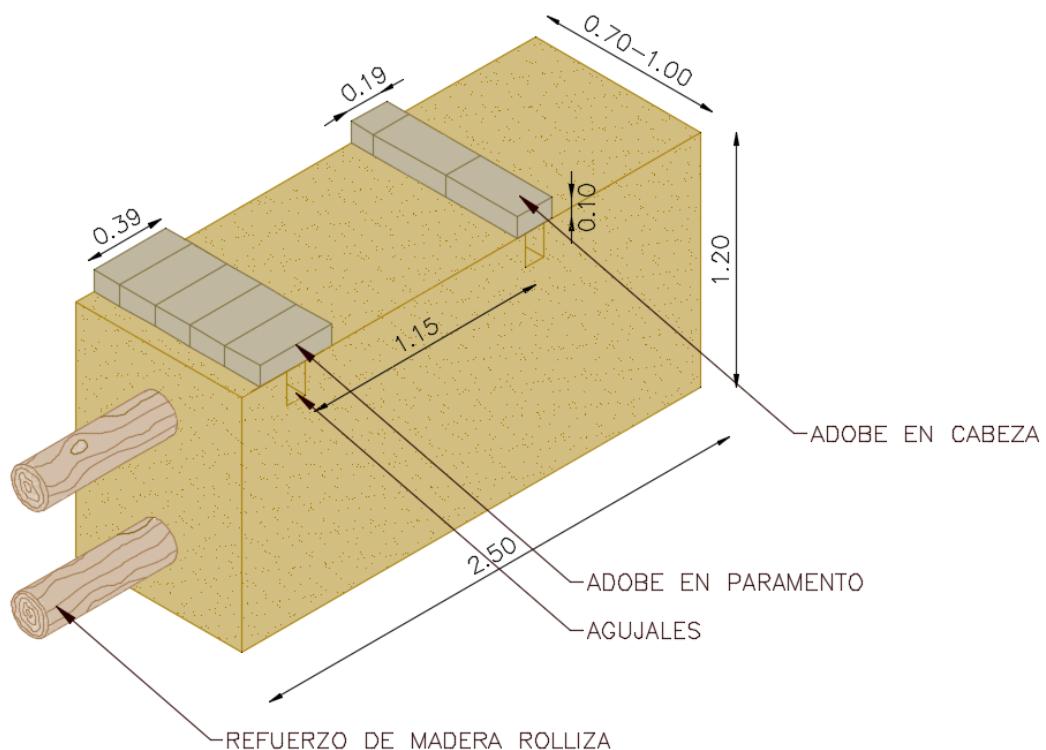
Figura 10 Vano con dintel de madera y tacos para marco de puerta, detalle del autor.



El **tapial** es la formaleta o molde, en la cual se encofrará la tierra. No existe un tamaño estándar y sus dimensiones variara dependiendo a la región, jerarquía de la construcción y época. Este se compone de dos tableros paralelos de madera burda, cuyo largo y alto se van a ajustar a las medidas del bloque. Perpendicular y a sus extremos se ubicarán dos compuertas también de madera burda de encino o arrayan; su ancho dependerá del espesor del muro. Esto tableros contaran con listones de madera (4 X 9 cm), en posición horizontal, que sujetaran las tablas (vertical) que conformaran los planos y que le darán el acabado y forma final al bloque de tapia. Sobre los listones de los tableros laterales, se ubicarán verticalmente unos elementos de madera llamados codales o parales. En el extremo inferior y perpendicular a los parales se ubicarán otros elementos de madera llamadas agujas, estas soportarán los tableros. Estos fijaran el espesor del muro, ajustando la separación de los tableros por medio de unas cuñas. Los extremos superiores de los codales se amarrarán por medio de cabuya gruesa, que dando vuelta a un bramadero<sup>80</sup> hará un torniquete que ajustaran los tableros. Estos elementos de refuerzo tienen como fin evitar que los tableros se pandeen en consecuencia de las presiones horizontales producidas por la tierra humedecida y el proceso de compactación de la tierra (Figura 186, 237).

Para armar el tapial de un nuevo bloque, primero se debe ubicar las agujas, para esto se abren zanjas con la pica<sup>81</sup> sobre la cara superior del bloque que recibirá la nueva hilada, de tal manera que pueda caber la madera de la aguja, estos huecos se les conoce como agujales (16X10 cm). Una vez realizada la zanja se ubican las agujas y se coloca una hilada de bloques de adobe (también se utiliza bloques de piedra o ladrillo cocido) de manera que sirva como puente o tapa a los huecos, así poder sacar con más facilidad y sin hacer daño al muro al momento del desencofre (Figura 112, 197)Una vez colocadas las agujas se arman las caras de las tapias y se ubican en los extremos superiores del tablero, un listón que unirá ambos planos de madera, con el fin de definir el espesor del muro (Figura 11, 64).

Figura 11  
Isométrico de  
bloque de tapia,  
detalle del autor.



<sup>80</sup> Pedazo de madera que se utiliza para dar vuelta a un cable y tensionarlo.

<sup>81</sup> Herramienta de mango de madera con cabeza de hierro de dos puntas

El principal material para la elaboración de los muros de tapia es la tierra o **suelo**, este estará compuesto por limos, arena, grava y arcilla (actuará como conglomerante), que deberá estar libre de material orgánico (raíces / hierva). Llamado por los maestros de obra Nariñenses<sup>82</sup>. “Tierra negra”, al limo arenoso con material orgánico de color negro; “pañete, caliche, cangagua”, a la arcilla arenosa de dolor abanó, alta plasticidad y consistencia firme. Y al limo arenoso de color abanó oscuro, de alta compresibilidad y consistencia firme (Campo Pantoja, 2006, 37). Dependiendo a la granulometría, humedad y características del suelo (Además de los procesos constructivos), los bloques van a tener un mejor desempeño estructural y se evitarán patologías como fisuras por retracción. Para mejorar el suelo se utilizaban productos animales (estiércol, sangre, miel), vegetales (agave, reciñas, látex) y minerales (cal, cemento) (Minke, 2001).

Para la extracción del material, se abre una zanja en el suelo eliminando el material orgánico de la capa superficial, se cava y se extrae el material para ser posteriormente triturado y amontonado. Se tamiza el suelo, se dosifica material y se le da la humedad necesaria para empezar a revolver la “tierra”.

Para la selección del suelo los antiguos maestros se basaban en su experiencia y “buen ojo, tacto y olfato” que les permitía hacer una correcta selección y dosificación del suelo. Cabe recalcar que la tierra varía de una excavación a otra, y se van a obtener resistencia a la compresión, límites plásticos, cohesión y granulometría muy variables. Para determinar estos se pueden hacer diversos ensayos tanto en obra como en laboratorio para analizar estos parámetros y determinar la cantidad de agua, finos, arena y grava para la generación de un tapial resistente, tal como se enseña en las investigaciones (ININVI, 1989) y (Campo Pantoja & Suárez, 2017). En la cual se analiza el material utilizado para la construcción de 3 casas antiguas de tapia y se comparan sus características y resistencias.

El barro se contrae en el secado, no es impermeable, absorbe y desorbe humedad rápidamente, puede ser reutilizable, conserva la madera, no es combustible.

### Recomendaciones

- Evitar la continuidad de juntas verticales.
- Utilizar recursos y técnicas, que alteren mínimamente los valores patrimoniales de la edificación.
- El refuerzo horizontal en los muros de tapia se recomienda cada dos hiladas como máximo, ya que las “protuberancias” causadas por la dificultad del apisonamiento en estos puntos pueden reducir la resistencia en estos puntos. Además, se recomienda utilizar refuerzo que sea delgado facilitando el proceso de compactación.
- Es recomendable un refuerzo en la cimentación ya que estos son muy débiles produciendo problemas de asentamientos diferenciales y humedades.
  - Humedecer la superficie que va a recibir el nuevo bloque de tapia, minimizando retracciones por fraguado debido a la pérdida rápida de humedad.
  - Esperar que cada hilada fragüe y las que las juntas verticales se separen, antes de construir la nueva hilada, esto evitará que la fisura pase de una hilada a otra. Lo que creará un comportamiento NO monolítico de la estructura.
- Construir bloques de tapia de menor tamaño, ya que estas son de dimensiones excesivas lo que puede generar aún mayores fisuras por retracción (ININVI, 1989).

<sup>82</sup> Gentilicio del departamento de Nariño, Sur de Colombia

-Realizar tanteos y muestreos de los diferentes suelos y materiales para la construcción en tierra cruda. Con el fin de realizar un correcto diseño de mezcla y humedad, que evite fisuras y muros de baja capacidad portante.

-Evitar suelos alto en sales, previniendo efflorescencias y disgregación de material.

-Para la reposición de bloques de tapia, seleccionar adecuadamente el suelo, realizando ensayos de campo y de laboratorio para obtener las dosificaciones óptimas para la elaboración de la tapia.

-Implementar sifones atmosféricos en ambas caras de la tapia para combatir humedades por capilaridad. Evitar esconder las humedades con pintura, azulejos o cualquier otro sistema.

-Evitar abrir vanos o eliminar muros estructurales que puedan atentar contra la integridad de la edificación. Si es necesario, construir dinteles, pórticos o una estructura capaz de resistir la carga de la luz sin generar flechas (Figura 119, 201).

-Evitar vanos superiores al 1/3 de la longitud del muro. Evitar superar los 1.20 m (Minke, 2001).

-Sellado y consolidación de fisuras y juntas. Realizar inyecciones de barro, adicionándole estabilizantes químicos como: cal apagada, hidrofugantes, aditivos para arcilla. Se deberá hacer cuidando de no perjudicar la estructura debido a la presión de inyección. Además, se podrán utilizar grapas de madera, fibras o aceros inoxidable para “cocer” grietas (Peñaranda Orias, 2011).

-Realizar viga de madera de coronación en la cubierta. Con anclajes en la coronación del muro (micropilotes) para garantizar una correcta adherencia entre el muro, la viga de coronación, zuncho y cubierta. Reforzando puntos débiles como esquinas eh intersecciones.

-Estudiar y diseñar cada intervención a realizar con autorización de un profesional pertinente.

-Garantizar una adecuada ventilación de la edificación.

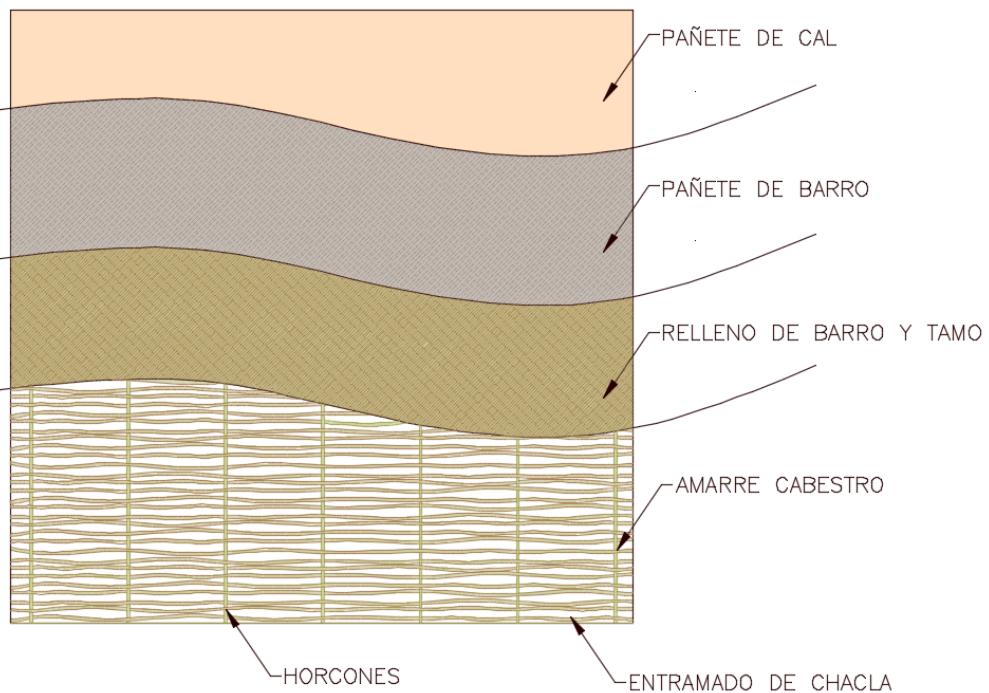
-Eliminar la materia orgánica de los muros. Primero combatiendo con biocidas y funguicida, evitando dañar la estructura arrancando la raíz.

-Plantear una futura rehabilitación a sismo resistencia.

El **bahareque** es un sistema constructivo que combina los materiales vegetales como la caña, guadua, madera, carizo y chacla, los cuales le dará la flexibilidad y resistencia al muro, sirviendo como estructura principal de este; el material mineral (barro más tamo), que le otorgará el confort térmico y rigidizará el muro (Ospina & Sanchez Gama, 1990).

Este sistema consiste en levantar un plano elaborado con elementos verticales de caña llamados horcones y un entramado doble de chacla amarrada con cabestre o cabuya, creando un espacio que será llenado con una mezcla de barro y tamo, para posteriormente darle un acabado de pañete de cal y pintura (Figura 12, 67).

Figura 12 Armado muro en Bahareque, detalle del autor.



Los muros internos divisorios de la Casa Zarama fueron construidos con esta técnica, tiene aproximadamente 15 cm de espesor y de altura 4.70 m en el primer piso y 4.36 m en el segundo. En la coronación de estos muros se dejaban prolongaciones de los horcones de caña y se le agregaban listones verticales de madera en el interior del muro, con el fin de sujetarlos por medio de tablas a los tirantes de la cubierta (Figura 121, 202). Esto servirá como arriostramiento horizontal del muro, dándole más firmeza y rigidez a la estructura.

#### Recomendaciones

- Tratar la madera y caña con biocida, fungicidas y cualquier otro método que garantice la eliminación de organismos que puedan afectar la madera. Se recomienda que sea en inmersión en tanques.
- Secar la madera en un ambiente al aire libre, sin exponerse al sol directamente, limpio y seco. Esta madera se recomienda secar en caballete (Aedo Carazas & Rivero Olmos, 2002).
- Utilizar cañas con menos del 20% de humedad y con una edad no menor a 4 años, lo que evitara humedades e insectos (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).
- Realizar catas y ensayos de laboratorio a los materiales que se vayan a usar para la elaboración de un correcto diseño de mezclas.
- Utilizar materiales compatibles. La diferencia de la rigidez, masa entre otras propiedades mecánicas y térmicas entre materiales, además de la dificultad de anclajes entre los elementos de distintos materiales provocara la inestabilidad de la estructura.
- Arriostrar los muros de bahareque a los muros y vigas, dándole mayor rigidez a la estructura.
- En caso de la aparición de fisuras en muros bahareque, llenar inmediatamente evitando la proliferación de plagas (Minke, 2001).

El **adobe** son bloques de barro (arcilla, limo, arena y gravas) sin cocer, mezclado con tamo, moldeado y prensado a mano, en cajas sin fondo de madera llamados gavera<sup>83</sup>, los cuales son espolvoreados con tierra con el fin de evitar que el adobe se pegue a la madera del molde, en el momento del desencofrado.

El suelo utilizado para la elaboración de adobes será el que hay a los alrededores de la construcción, este será tamizado seleccionando el tamaño adecuado de grano. Se elabora una “piscina” para la elaboración del barro, en donde se humedece y se mezcla la tierra tamizada. O directamente en el terreno amasándolo con los pies o con ayuda de bueyes. Se adiciona tamo de tal manera que permita una correcta manejabilidad de la mezcla, dejándola reposar o “dormir” por 15 días, con el fin de que la mezcla genere una adecuada cohesión entre partículas. Una vez se tiene el barro, se vierte en las gavetas en capas que se comprimirán con las manos hasta su llenado, luego se enraza con una regla para lograr un tamaño y forma homogénea. Después de 24 horas se procede a retirar el bloque del molde y se deja secar bajo la sombra, minimizando la velocidad de fraguado, lo que evitara fisuración por la pérdida rápida de agua.

Estos bloques son trabajados como la mampostería tradicional (mata juntas), el aparejo y la dimensión de los adobes variara dependiendo del elemento a construir y la técnica de la región. La pega elaborada con mortero de barro y tamo, con un contenido mayor de arcillas para mejorar la adherencia, que les dará una mayor estabilidad y resistencia a los adobes (Figura 123, 203).

En la Casa Zarama se construyeron pilares en abobe en la cubierta como elementos de apoyo para los pares complementarios, para el remate de los muros de tapias y culatas.

### Recomendaciones

- Realizar pruebas de laboratorio del suelo a utilizar para un correcto diseño de mezcla, buscando mejorar las características del suelo.
- Utilizar estabilizantes como cal y cemento en pequeñas proporciones 4-8%. Elaborar pruebas de laboratorio (INCONTEC, 2005).
- Implementar tamo o paja al barro, además de la utilización de arena gruesa 1:3, con el fin de controlar la micro fisuración del adobe y mortero (Blondet, M, & Brzev, Construcciones de Adobe. Resistentes a los Terremotos, 2003).
- Secar bloques de adobe a la sombra.
- Utilización de moldes estándar para la fabricación de adobes.
- Dejar reposar el barro por 15 días, dándole mayor cohesión a las partículas del suelo.
- Limpiar adobes antes de utilizarlos.
- Reutilizar el material de los adobes y tapias de la construcción a intervenir, triturando, tamizado y volviendo a mezclar; Para la elaboración de nuevos adobes y sellado de grietas.
- Mojar el adobe antes de utilizarse.
- Construir las pega o juntas horizontales de los muros de adobe, menores a 2 cm (Minke, 2001).
- Implementar refuerzos en las esquinas y uniones de los muros.

---

<sup>83</sup> Molde de madera para la realización de bloques de adobe.

-Dejar un buen anclaje y apoyo de los elementos de la estructura a los muros.

Los **revoques** en las estructuras de tierra buscar proteger muros, cielorrasos y demás elementos de las edificaciones ante agentes climáticos; además de proporcionarle un acabado estético y artístico a la construcción. Estos revestimientos están constituidos por diferentes capas y materiales. Las primeras capas están elaboradas de una mezcla de barro y tamo, seguido por un afinado con un pañete de cal y un terminado con pintura (Figura 119, 201). Los revoques usan diferentes compuestos animales y vegetales, tales como: grasa animal, clara de huevo, agave, palma, miel, estierco, entre otros. Con el fin de mejorar las propiedades del suelo como su permeabilidad, adherencia, fisurado por retracción, entre otras.

El **enlucido** de las tapias de la Casa Zarama se realizó con pañetes elaborados con tierra, rematados con cal y pintura. Primero se procedía a picar el muro con una pica y a mojarlo antes de recibir la mezcla, así se generaban pequeñas hendiduras en la superficie para incrementar la adherencia con el revoque de barro (Figura 125, 205). Esta primera capa de barro más tamo es burda y de unos 2 – 3 cm de espesor, le sigue una capa o pañete de barro y tamo más fino, y rematada con una llana de madera de 1 cm de espesor, lo que genera una superficie más regular. Esta capa se va a enlucir con pañete de cal y arena, que le dará una terminación más suave, dejándola lista para pintar con pigmentos a base a la cal de 1 cm de espesor (Figura 13, 69). En algunas paredes interiores de la casa se puede apreciar empapelados con diversos motivos florares, como parte de la decoración de los muros. En el exterior se optó por construir molduras en ladrillo cocido que luego iban a ser enlucidas con pañete de cal y pintura, generando protuberancias en sus fachadas características de este tipo de arquitectura; cabe mencionar que las molduras en esta construcción son añadiduras realizadas tiempo después de su construcción, así se buscaba un estilo republicano más acorde a la tendencia propia de su época.

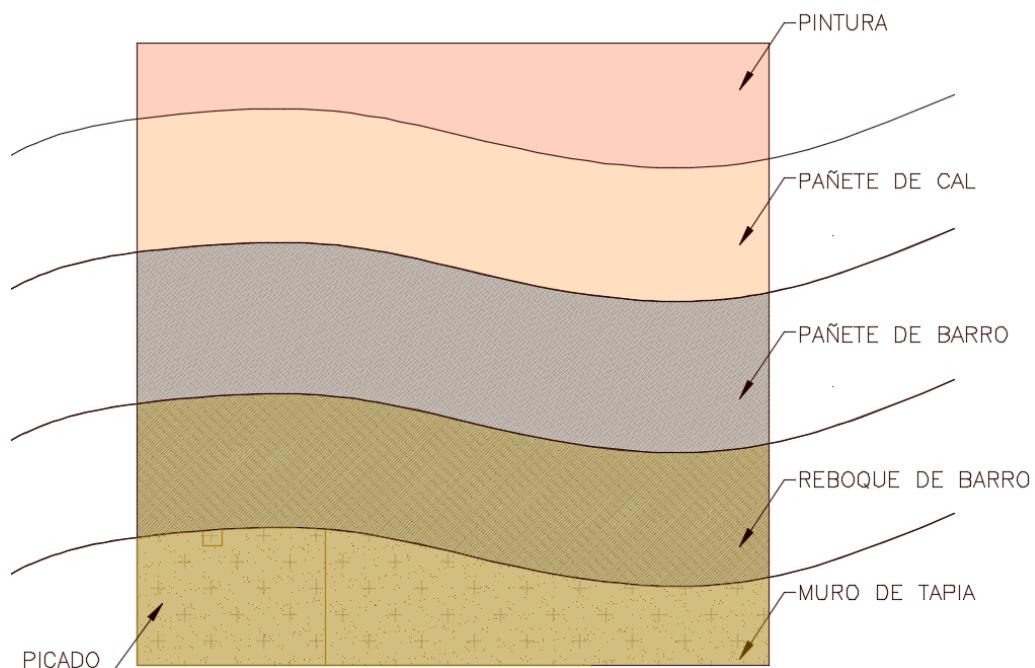


Figura 13 Enlucido  
muro de tapia,  
detalle del autor.

Este tipo de pañetes de tierra y cal permitían una correcta respiración del muro, evitando humedades y desprendimiento del muro debido a la condensación del agua en estas zonas.

#### Recomendaciones

-Pinturas exteriores impermeables y porosas permitiendo que el muro “respiré”. Estas pueden ser pinturas a base de cal, bórax o caseína (Castilla, 2011).

-No utilizar morteros de cementos ni de ningún otro material que impida la “respiración” del muro. Preferiblemente usar pañetes con los materiales originales de la casa, que sean compatibles y que funcionen adecuadamente (Figura 126, 205).

-Evitar el uso de azulejos como recubrimiento de muros, ya que atentan contra la estética de la edificación y contra su funcionamiento natural.

-Realizar mantenimiento preventivo de los enlucidos cada 2 o 5 años, según la estructura lo requiera.

-Implementar guarda escobas y guarda sillas, evitando que objetos golpeen las paredes dañando los enlucidos (Figura 127, 206).

-Utilizar una paleta de colores adecuados y respetuosos con la arquitectura y estilo de la edificación. Llegar a acuerdos con los diferentes dueños, arrendadores y ocupantes del inmueble para elaborar tareas conjuntas de enlucido.

-Diseñar publicidad de los locales comerciales (letreros, vayas, avisos), acorde a la arquitectura del bien y sin afectar la armonía del conjunto.

Los **entrepisos** son planos que dividen los niveles de la edificación, estos se apoyan en los muros de tapia o vigas de carga, por medio de vigas rollizas de Ø 15 cm, que se anclan en todo el espesor del muro, recibiendo las distintas capas que conforman el pavimento, para así generar una superficie de rodadura confortable para el uso dotado y una estructura que logre resistir y disipar las cargas a las que se pueda ver sometidas (Figura 128, 206).

Las placas de entrepiso trabajan solidariamente con los muros de tapia, arriostrando los muros paralelos y la estructura que compone los pasillos, incrementando la estabilidad y rigidez de toda la estructura; por esta razón es importante estudiar y comprender el funcionamiento de estos elementos antes de cualquier intervención; la ausencia de las vigas rollizas disminuirá la estabilidad de la edificación, poniéndola en riesgo de colapso.

El entrepiso de la segunda planta de la Casa Zarama está elaborado principalmente en entablado de madera (Figura 18, 75) y una pequeña parte con baldosa hidráulica: en el pasillo del patio externo de la casa y en zonas húmedas (Figura 16, 73).

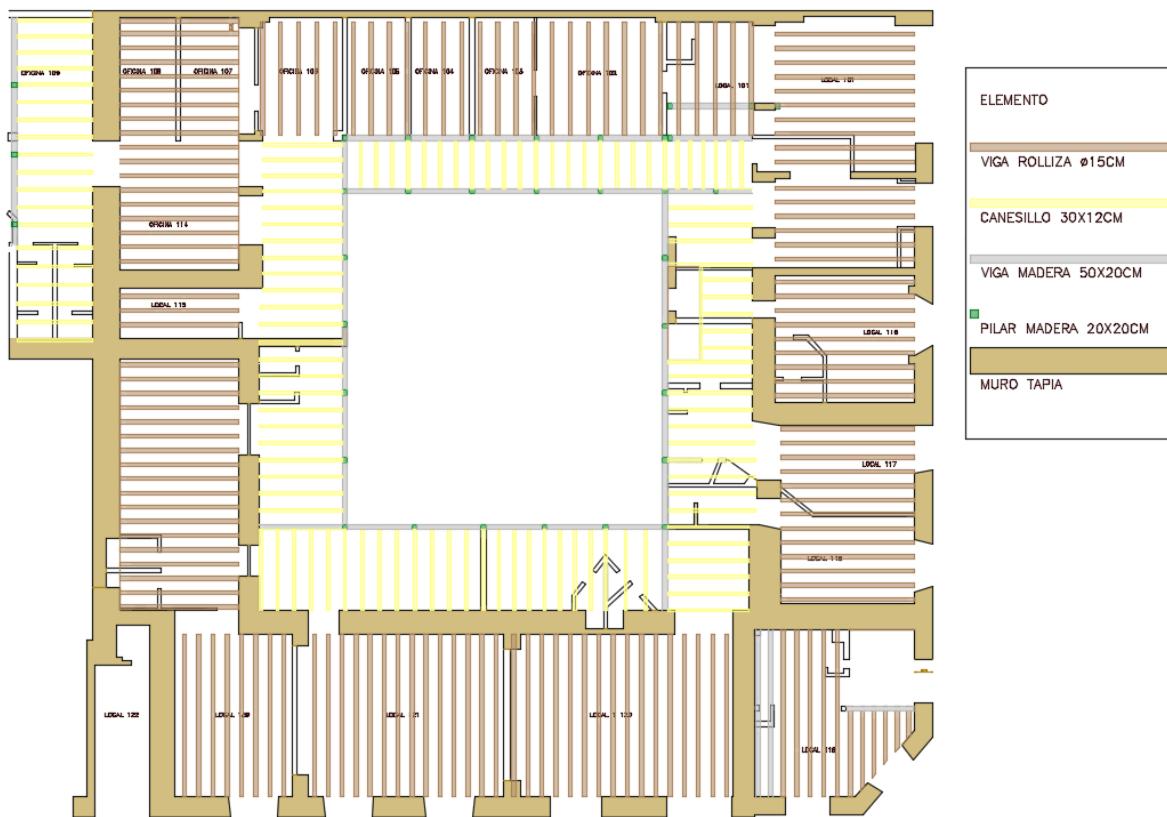


Figura 14 Distribución vigas entre piso primera planta, detalle del autor.

Las **vigas de carga** son elementos de madera rolliza, que se anclan en la totalidad del muro de tapia. Cuando el muro de tapia alcanza el nivel requerido para el entrepiso, se procede a insertar perpendicularmente madera rolliza, cada 50- 55 cm, de muro a muro. Posteriormente se continuará con la construcción de la siguiente hilada de tapia quedando empotrados en el muro (Figura 118, 201).

Estas vigas cumplen el papel de arriostramiento a diferentes niveles de la edificación, además de soportar los esfuerzos provocados por las cargas de servicio, peso propio y eventual sismo. En estos se apoyará los listones, la chacla o la esterilla.

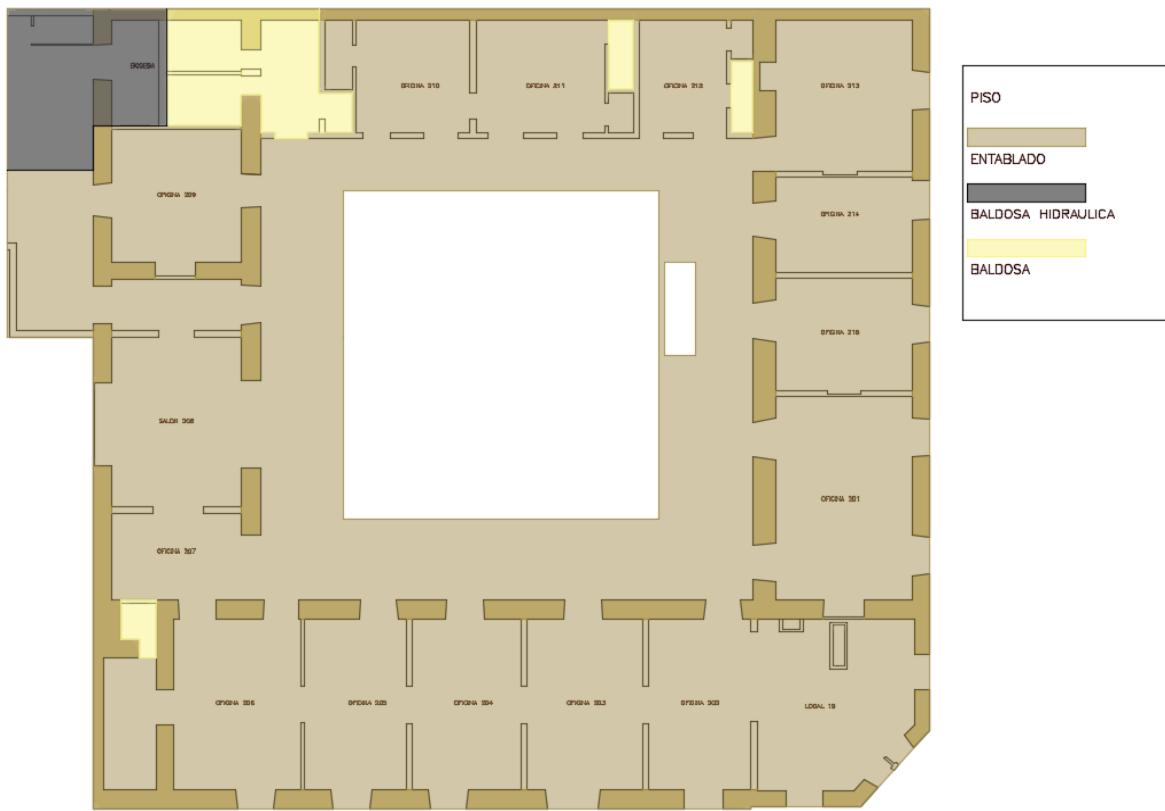


Figura 15 Distribución pavimentos segunda planta, detalle del autor.

Los **listones** son piezas de madera labrada de sección rectangular (4 X 4 cm), que reciben las tablas formando el entablado. Estos elementos están separados aproximadamente a 50 cm, formando un “emparrillado” compuesto por dos hiladas de listones, sujetados mediante puntillas. El espacio creado por la disposición de la madera permitirá pasar tuberías para instalaciones eléctricas (Figura 129, 207).

La superficie de rodadura está compuesta por tablas de 0.10 X 2.00 X 0.02 m, que unidas crean el un **entablado**. Estos se sujetan por medio de dos puntillas que se clavan cada 50 cm los listones. Se dejan juntas entre tablas permitiendo su dilatación y contracción por efectos del gradiente térmico. Este entablado lleva un acabado con pintura esmaltada y cera lo que le da su característico brillo, color y textura.

Sobre las vigas de madera se posará un plano compuesto por **esperilla o chalca** amarrada con cabuya o cabestro sirviendo como elemento portante, el cual será revocado con pañete de barro y tamo, dándole una terminación con pañete de cal y pintura. Se deja ver bajo el entrepiso las vigas y el acabado de la chacla. Sobre la chacla se distribuirá una capa de arcilla de 8 cm que servirá como base y nivel del pavimento, esta capa rigidizará la placa del entre piso, además de servir como aislante acústico (Figura 128, 206).

La **baldosa** se instala sobre el lecho arcilloso previamente nivelado, sobre este se vierte un mortero de pegan donde se van a asentar las baldosas, a este mortero se le generara hendiduras por medio de una llana dentada, permitiendo un mejor agarre de las baldosas.

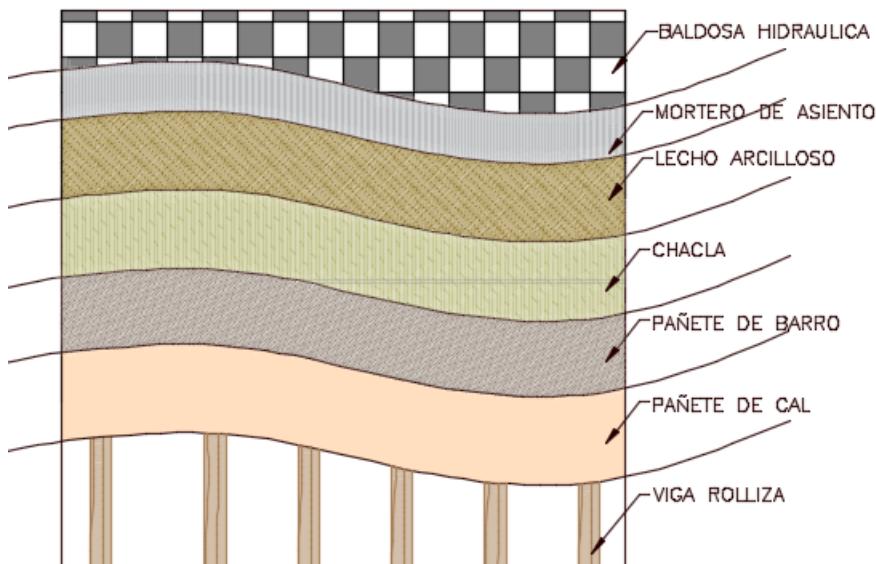
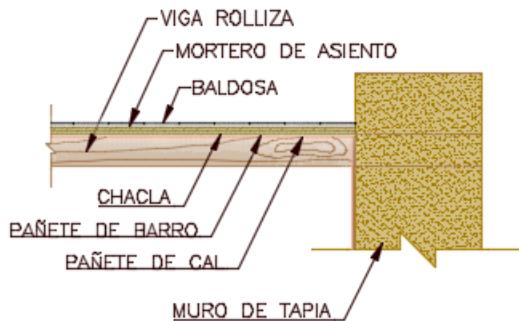


Figura 16 Entrepiso de baldosa,  
detalle del autor.



### Recomendaciones

- Evitar que el piso de madera se humedezca.
- Colocar plato en las materas para evitar goteo sobre el entablado.
- Procurar que la superficie permanezca con una película de cera para una mejor conservación, acabado y economía.
- Realizar limpieza de la madera con cera, desmanchando la superficie en caso de humedad con viruta y procediendo a dar una nueva capa.
- Evitar productos de limpieza ácidos para las baldosas.
- Garantizar ventilación del entrepiso tanto de la cara superior como la inferior.
- Si es necesario el cambio de alguna viga por deterioro: Primero, apuntalar la viga y el área de carga aferente a esta, cortar la madera a 40 cm de los extremos, y extraer pedazo empotrado al muro. La nueva viga debe estar previamente tratada ante agentes biológicos y tener una edad adecuada de maduración y secado; Instalar la nueva viga en el lugar de la anterior, rellenando los agujeros con materiales similares, garantizando un correcto anclaje (SENA, 2010).

La estructura que conforman los **pasillos o corredores** de las edificaciones de tierra se compone de pilares de maderas que sirven de apoyo a vigas de cargas, las cuales reciben las vigas canecillos que trasmitirán las cargas de los entrepisos y cubiertas. Estas se ubican generalmente en los patios internos de las casonas o en la fachada principal de las casas campesinas. Los elementos, sistemas estructurales y constructivos implementados para la construcción de los pasillos en las viviendas tradicionales son muy similares, usando diseños de pilares, capiteles, vigas, canecillos prácticamente idénticos en edificaciones de diferentes jerarquías (Figura 133, 209).

Los **pilares** de madera tienen una sección rectangular de 20 X 20 cm, separados a una distancia de 2.40 m. Estos en el primer nivel se posan sobre un pedestal de piedra, lo que evitara humedades en su base (Figura 131, 208). En el extremo superior culmina en un capitel de madera de 60 X 15 cm, con el fin de distribuir mejor las cargas trasmitidas por la viga de carga (Figura 132, 208). El pilar soporta las cargas del entre piso de los pasillos y de la estructura de la cubierta; además de las cargas de servicio.

La **viga de carga** es de madera, está se compone de dos secciones. La primera sección es de 20 X 20 cm, apoyándose sobre los capiteles de madera y recibe las vigas canecillos. Las secciones de maderas se traslanan en las columnas mediante un corte a media madera (Figura 134, 209) permitiendo dar continuidad al elemento. La segunda sección de la viga, son elementos de madera de 20 X 55 cm, ubicándose entre las vigas canecillos, lo que tapa estos agujeros y aumenta el canto de la viga, reduciendo las flechas generadas por las cargas (Figura 17, 74).

## PILAR MADERA

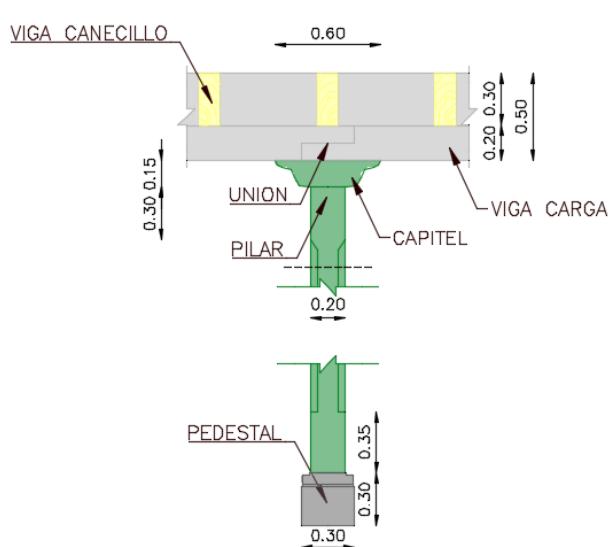
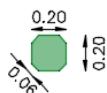


Figura 17 Estructura del corredor, detalle del autor.

## SECCION



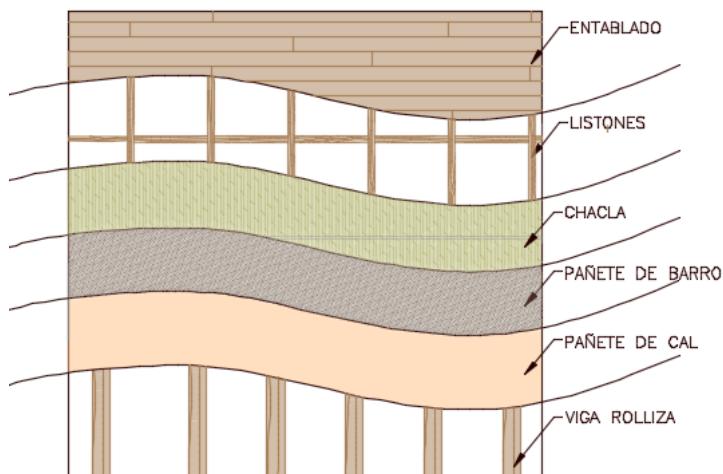
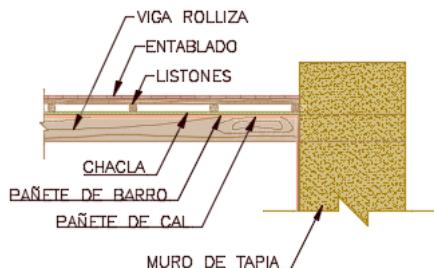


Figura 18 Entablado de entrepiso, detalle del autor.



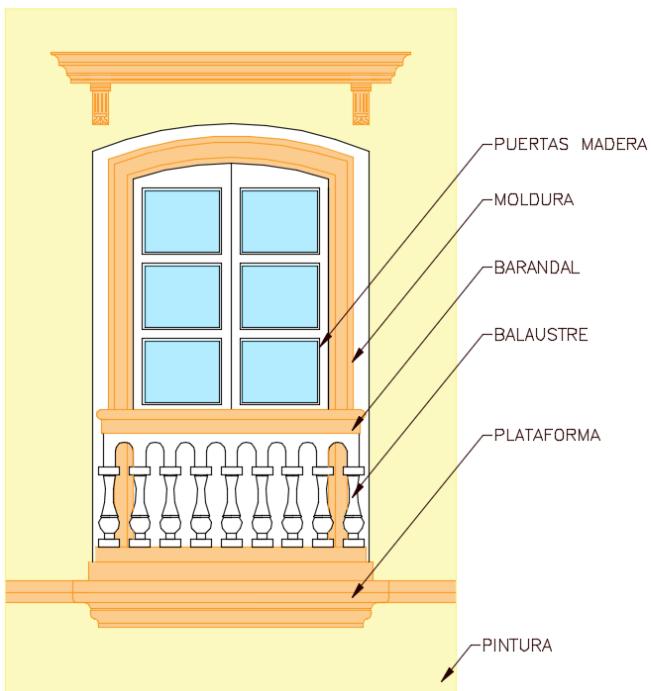
Los pilares del primer piso alrededor el patio interno, tiene un “pedestal” de concreto a una altura de 1 metro. Estas modificaciones son recientes y se realizaron con el fin de combatir las humedades y remplazar las secciones podridas de los pilares.

Los **balcones** son proyecciones en voladizo de la fachada de la edificación, que permite al usuario interactuar y disfrutar del exterior. Esta plataforma que sobresale esta sostenida mediante ménsulas de madera, que sustentan un entablado de madera que, a su vez, soportará las molduras y las distintas capas que conformaran la plataforma del balcón. Esta plataforma también puede estar construida con concreto armado, que servirá como plataforma autoportante que le dará soporte al balcón.

Los balcones están encerrados por un brandal elaborado con una serie de balaustres, que delimitan el espacio de la plataforma, evitando que el usuario caiga.

El vano de la puerta ventana de los balcones es rectangular, por medio de molduras de ladrillo cocido se logra dar la apariencia de cargo rebajado. Estas molduras ornamentales van incrustadas en el muro de tapia de forma corrida, esta se enluce con pañete de cal y pintura, dándole forma a estas decoraciones.

## BALCON FACHADA



## MOLDURA

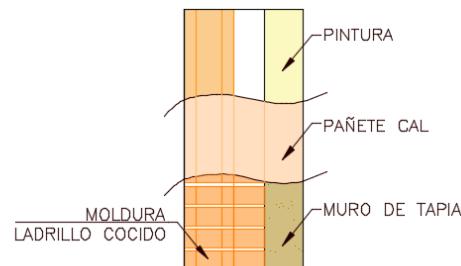


Figura 19 Elementos principales de los balcones, detalle del autor.

### Recomendaciones

- Evitar sobrepeso en la estructura.
- Incorporación de vegetación en los balcones. Esta tendrá los siguientes beneficios:

- Mejorará la imagen de la edificación y del sector.
- Protege el interior de la casa del polvo y de la polución.
- Sirve de barrera reductora del ruido.
- Mejorará la calidad del aire del sector.

Las **cubiertas** a dos y cuatro aguas con recubrimiento de tejas de barro, aleros y canecillos de madera, hace parte del paisaje tradicional arquitectónico de los pueblos y centro históricos del país, adornando las calles, plazas y las montañas que los rodean, siendo motivo para preservar sus características y materialidad.

La estructura de la cubierta de la Casa Zarama está construida mediante un sistema de cerchas, vigas, entre otros elementos de madera rolliza y labrada, que trabajan solidariamente a flexión y compresión, para constituir el armazón del techo. Sostendrá los planos que crearán cubiertas a una y dos aguas, que se interseifarán en rectas llamadas: cumbreras, lima hoyas y limatesas. Dichos planos o vertientes están conformados por tejas de barro, dispuestas de tal manera que le permitirá dirigir la escorrentía de aguas lluvias hacia los patios interiores o al exterior de la casa; lo que busca generar cierto confort al interior del inmueble, protegiendo la edificación y a sus usuarios ante los diferentes agentes del clima y atmosféricos. Además, el espacio comprendido entre el recubrimiento de la techumbre y los tirantes, llamado soberano, era utilizado con el fin de almacenamiento de alimentos, granos y material relacionado con estas actividades.

Se da evidencia de que la cubierta ha sido intervenida en múltiples ocasiones, testigo de esto son los cambios de secciones en los elementos del armazón, amarres y uniones de diferentes materiales, cambios de alturas y pendientes de cubiertas, modificación, adición y sustitución de elementos del armazón y aleros, cambios de uso, entre otros. A pesar de estas intervenciones, y de no tener la estructura original de la cubierta, su estado de conservación es excelente y ha respetado los materiales, técnicas y forma propias del inmueble.

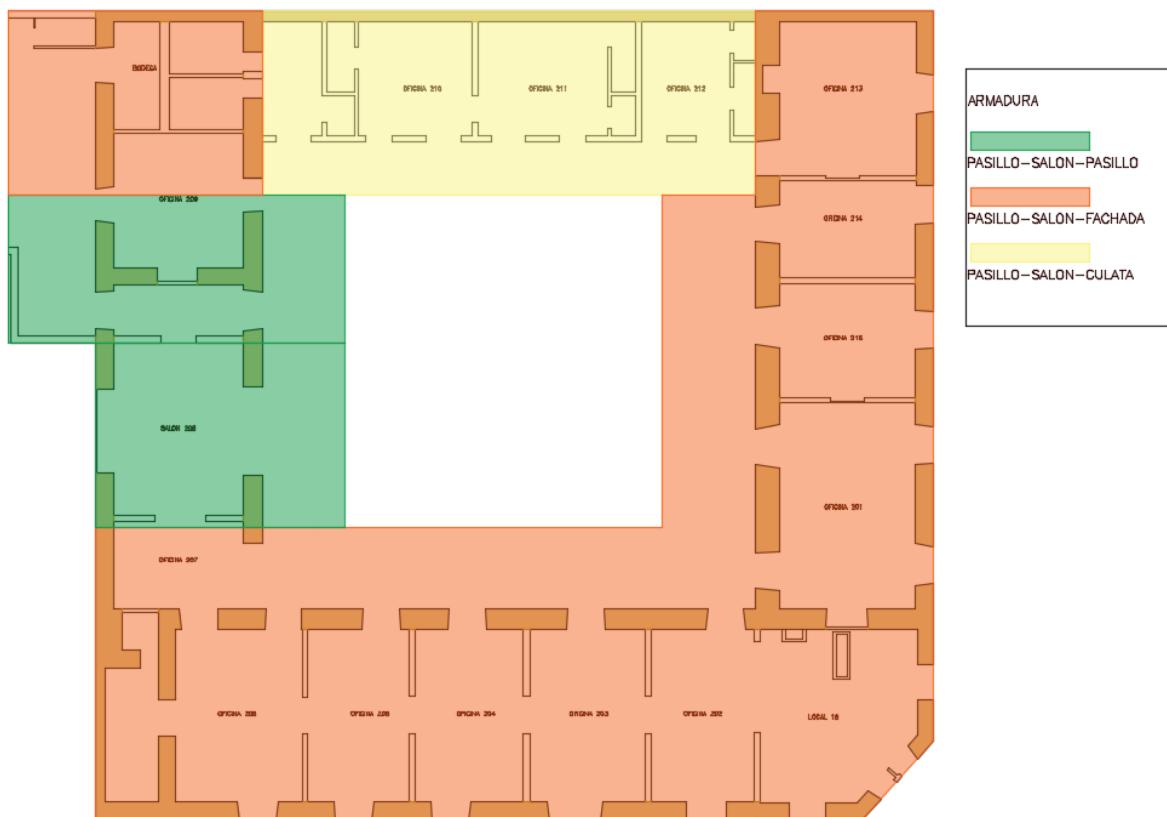


Figura 20 Ubicación de armadura de cubierta, detalle del autor.

El **armazón** está construido por elementos lineales que conforman cerchas triangulares (par, tirante, canecillo, pendolón, tornapunta, jabalón) y entramados (contrapar, correas, listones, cumbre) que soporta, le dan forma y rigidez a la estructura. Los elementos están unidos mediante empalmes generados por cortes de madera, complementadas con puntillas y amarres de cabuya, bejuco y alambre, logrando una mejor fijación entre estos. Y así conseguir resistir los distintos esfuerzos a los que se pueda ver sometida la cubierta (Figura 120, 202).

La cubierta de la Casa Zarama se encuentra construida por distintas tipologías de cerchas y entramados, que variarán dependiendo su ubicación, de los propietarios, periodo de intervención y al uso que se le fue dotado.

Las **cerchas** son las estructuras principales de la cubierta, que soportan las cargas del entramado y cielo rasos, además de servir de arriostramiento a los muros. Su configuración varía dependiendo de la longitud de las luces a cubrir, apoyos, ventilación requerida y sus límites (patio, fachada o culata), formando así triángulos más complejos a medida que se incrementan las luces y las cargas.

La estructura de las cerchas está constituida por: el tirante como elemento de arriostramiento de los pares y del coronamiento del muro; par y par complementario, da la pendiente de las vertientes y sirve para ampliar la longitud del faldón; pendolón, refuerzo vertical que une la cumbre con el tirante; tornapuntas, jabalón y puntales, refuerzos diagonales que reducen las flechas de los pares; canecillo, recibe el par complementario y trasmite los esfuerzos a las vigas y estas a los pilares de madera. La configuración de los elementos de madera permite incrementar la solidez y la resistencia de la estructura (Lefevre, 2016).

La función principal del **entramado** es reducir las luces y unir las cerchas por medio de las correas, soleras, listones y contrapares, que trabajan a tracción, con el fin de soportar correctamente el recubrimiento del techo, dándoles mayor rigidez y resistencia a la estructura.

El **recubrimiento** de la cubierta está totalmente expuesta a la intemperie; Teniendo como función principal proteger a la estructura del techo y el interior del inmueble de los agentes atmosféricos. Para esto es necesario utilizar y situar adecuadamente los materiales para que resistan y eviten el paso del agua, viento, rayos del sol, animales, entre otros, al interior de este.

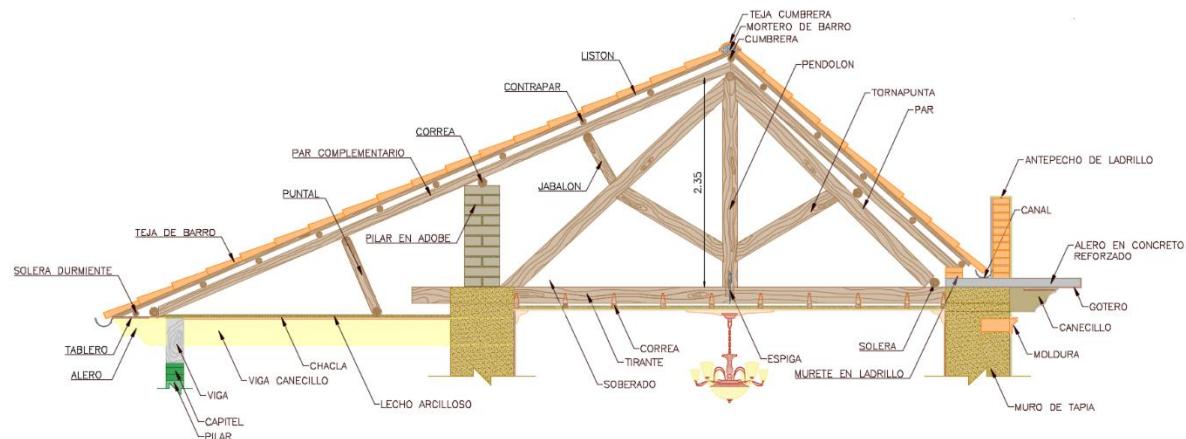


Figura 21 Armadura Pasillo – Salón – Fachada, detalle del autor.

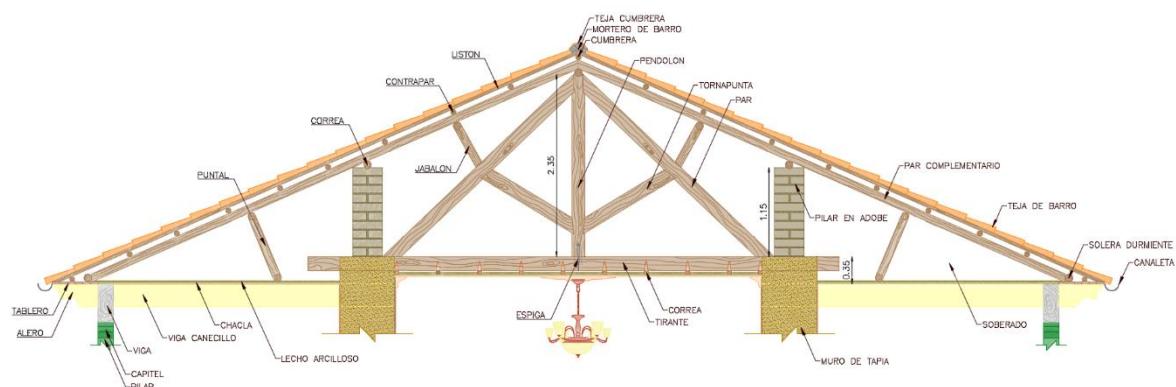


Figura 22 Armadura Pasillo - Salón – Pasillo, detalle del autor.

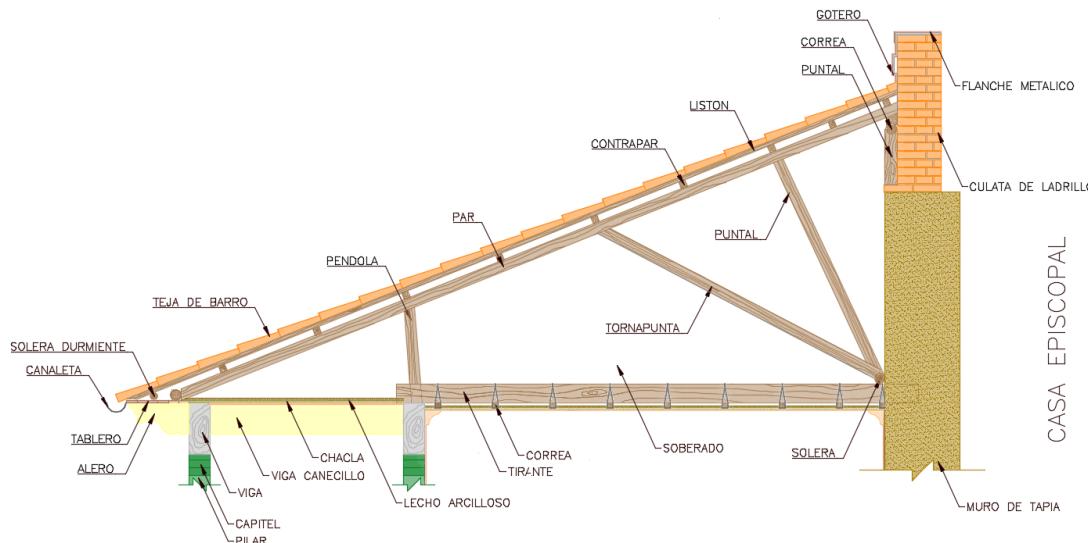


Figura 23 Armadura Pasillo - Salón - Culata, detalle del autor.

La materialidad y geometría de la cubierta corresponden a las condiciones económicas, sociales y climáticas en las cuales se construyó la casa, además de los elementos locales que se tenían para su construcción. El tipo de material de **recubrimiento**, la inclinación de la cubierta diseñada para las condiciones atmosféricas, a las que se pueda ver afectada una ciudad ubicada en el Ecuador<sup>84</sup> (no existen las estaciones), a 2545 msnm (no se presentan congelaciones, con precipitaciones de 790 mm, (no nieva) temperatura media en el día de 17°C y en la noche de 9.6°C<sup>85</sup> (bajo gradiente térmico), a 277 km de la costa (vientos leves) y el tipo de entramado nos indicara el uso para el que fue concedido este espacio (almacén), las condiciones atmosféricas a las que se iba a ver sometido.

Una vez levantados los pilares de madera, las vigas y el muro de tapia a nivel de estos, se sitúa la **viga canecillo**, apoyándose en un extremo, sobre todo el espesor del muro y al otro sobre la viga de madera, dejando un voladizo de aproximadamente 60 cm, llamado alero. Una vez fijados se procede a continuar con la elevación del muro. Tiene como fin soportar el cielo raso y de elemento arriostrado del muro y la estructura de los pasillos (Vigas y pilares). El canecillo tiene una sección rectangular 30 x 12 cm y están separadas a una distancia promedio de 55 cm.

Los **tirantes** están ubicados a nivel de la coronación de los muros de tapia, apoyado a sus extremos en todo el espesor del muro, sobresaliendo 30 centímetros en los muros internos. Una vez situadas estas vigas se procede a enraizar y a nivelar el muro por medio de barro y adobe, hasta que este cubra el tirante (Figura 135, 210). Tiene como finalidad soportar el cielo raso y como elemento arriostrador de los muros. Estas son vigas de madera rolliza ( $\varnothing$  14 - 18 cm), separadas a una distancia de 55 cm. Este sistema de apoyo garantizara que la cubierta no colapse a pesar de los posibles desplazamientos de los muros.

<sup>84</sup> Latitud 0°.

<sup>85</sup> Según el IDEAM en 2009 el (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).

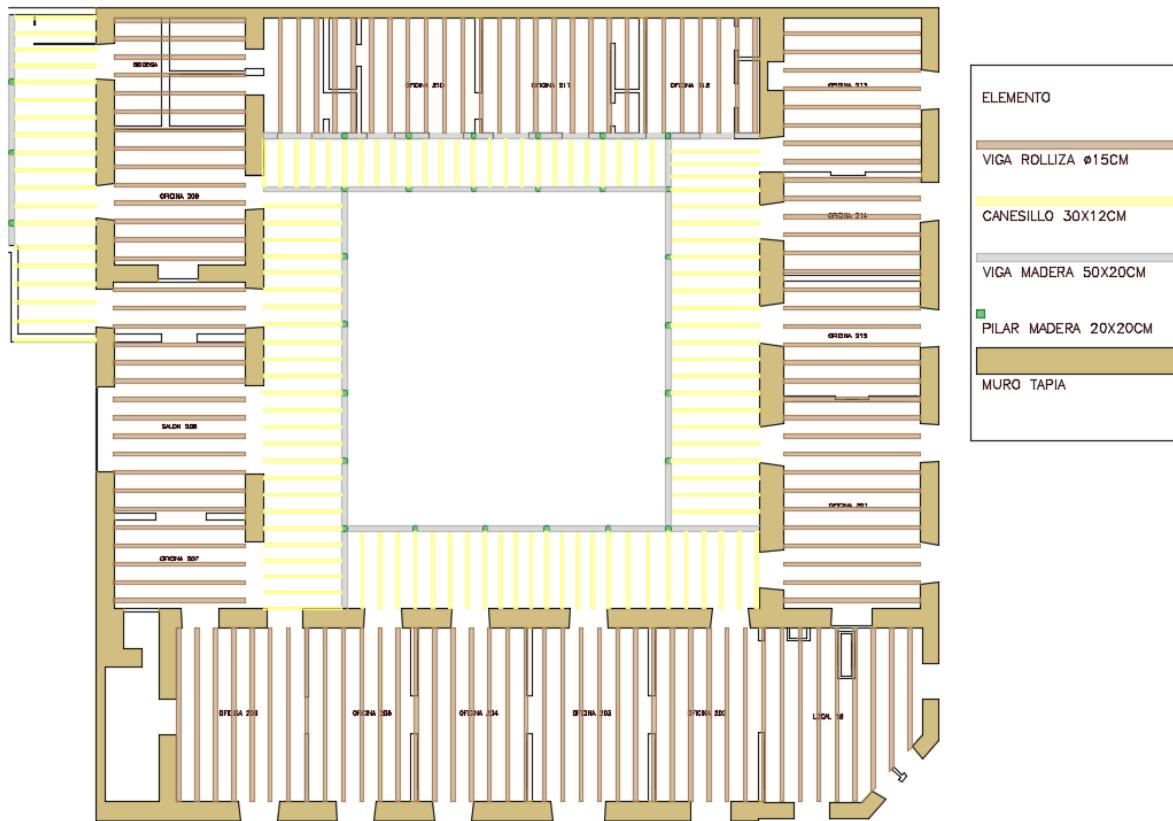


Figura 24 Distribución vigas y tirantes cubierta, detalle del autor.

La **solera** se dispone forma perpendicular, directamente sobre los tirantes y canecillos. Estas reciben los puntales y pares, haciendo que las cargas de la cubierta se distribuyan adecuadamente sobre estos, evitando el punzonamiento. Se trata de vigas de madera rolliza ( $\varnothing 10 - 13$  cm).

El **pendolón** se ubica de forma vertical en el centro del tirante, sirve como elemento de unión entre este y la cumbre. La unión con la cumbre está dada por medio de un corte de boca de pescado<sup>86</sup>, fijado con puntillas; el encuentro con el tirante está dado por una unión tipo espiga, debido a que este elemento no pertenece a la cubierta original, el empalme en este punto no se logró adecuadamente y se optó por insertar una varilla de 3/8" en el pendolón y por medio de alambres de acero se unió al tirante (Figura 131, 208). Esta pieza es de madera labrada tiene una longitud de 2.35 m, (sección trasversal rectangular 10 x 17 cm).

Los **pares** son un juego de vigas que están dispuestos de forma diagonal, formando un triángulo isósceles con el tirante. Estos se apoyan en el extremo inferior directamente sobre el tirante mediante un corte diagonal fijados con puntillas (excepto los que son continuos a la fachada que se apoyan en las soleras, unidos con un corte a media madera y puntilla); y en el extremo superior este se apoya sobre el pendolón, uniéndose mediante un corte diagonal del par y una traba en el pendolón, fijados con puntilla. Los pares son de madera labrada (sección trasversal rectangular 10 x 17 cm) y de madera rolliza ( $\varnothing 10 - 13$  cm), (Figura 138, 211) probablemente reutilizada de la cubierta original.

<sup>86</sup> Corte circular cóncavo.

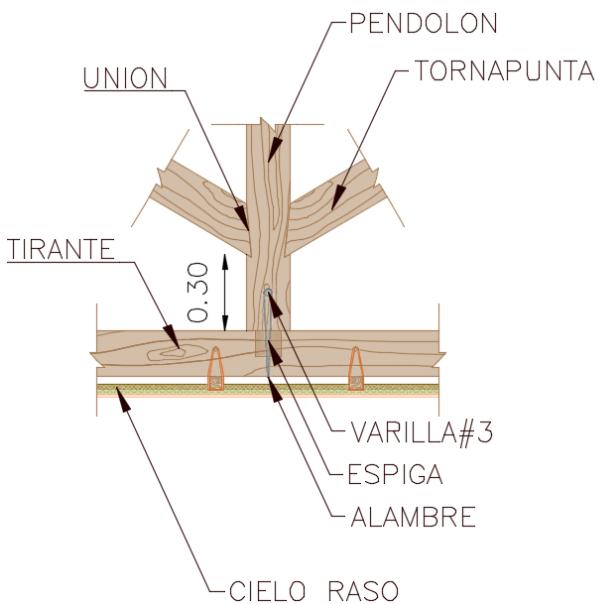


Figura 25 Unión pendolón y tirante, detalle del autor.

Los **tornapunta** son refuerzos que se encuentra a 30 centímetros del tirante, formando una diagonal que une el par en su punto medio y el pendolón; en ambos extremos se une por medio de un corte diagonal de la madera fijando con puntillas, y en los apoyos se cortó en traba (En algunas uniones con los pares se evidencia unión en espiga) (Figura 138, 211). La sección es de madera labrada (sección trasversal rectangular 10 x 17 cm) y de madera rolliza ( $\varnothing$  10 - 13 cm).

El **jabalón** es la pieza hace una unión diagonal del par y el par complementario, apoyándose sobre una correa para tener una distribución de esfuerzos más optima; Haciendo unión en el par con un corte diagonal y en boca de pescado con la correa, fijados con puntillas en ambos extremos. De sección de madera rolliza ( $\varnothing$  10 - 13 cm).

La **correa cumbreña** es el punto de unión entre el pendolón, pares y pares complementarios. Tiene como función el arriostramiento horizontal de la estructura de la cercha. Estas vigas se apoyan directamente en el pendolón, el cual tiene un corte de que se asemeja al de boca de pescado, donde descansa la cumbreña y se sujetta con puntillas. De sección de madera rolliza ( $\varnothing$  10 - 13 cm).

Los **pilares de adobe** esta constituidos por bloques de adobe (10 X 39 X 19 cm), dispuestos en aparejo soga – tizón, unidos mediante mortero de barro y tamo<sup>87</sup>, de 1.5 cm en la junta horizontal y 2 cm vertical. El pilar tiene una altura de 1.15 metros de sección rectangular de 60 X 39 cm. Estos se apoyan sobre los tirantes, en la coronación de los muros de tapia; sobre este se apoya una correa sujetada mediante mortero de barro (Figura 140, 212). Esta a su vez soporta los pares complementarios.

<sup>87</sup> Tallo seco del trigo. Tambien utilizado para hacer artesanías y elementos del hogar.

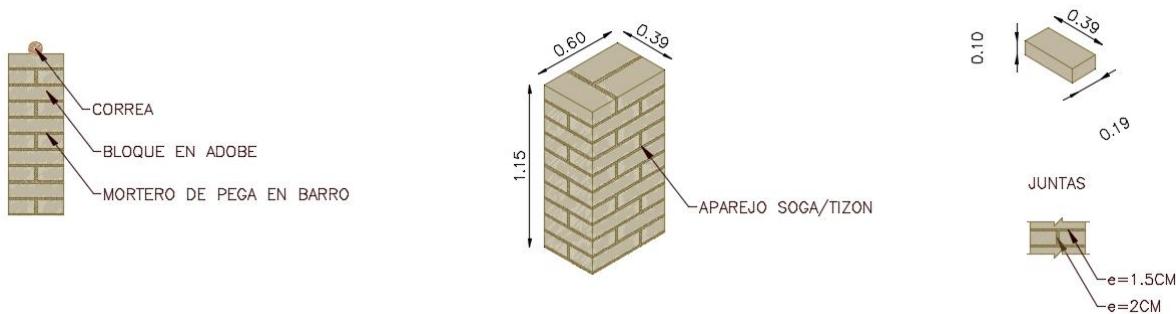


Figura 26 Pilar de adobe, detalle del autor.

La estructura de la cercha comprendida por: pilares de adobe, pares, pendolón, tornapunta y jabalón, están dispuesta cada tres tirantes, separadas aproximadamente a 2 metros entre sí (Figura 28, 83) dándole soporte y rigidez al resto de la cubierta.

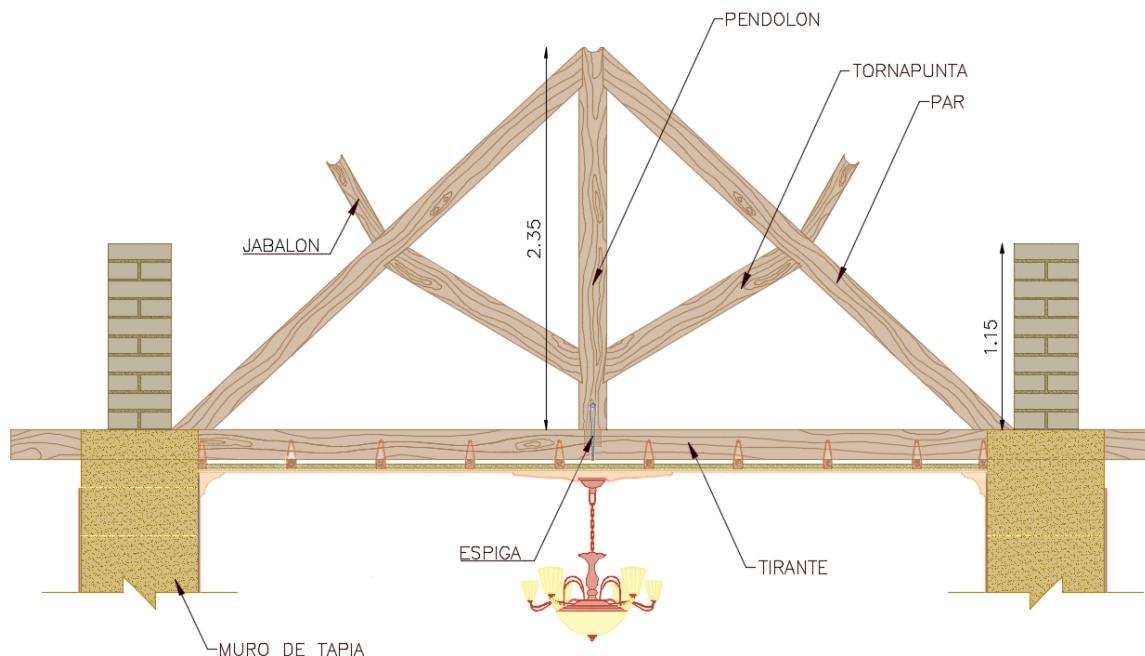


Figura 27 Elementos que componen la cercha (Pendolón, tornapunta, pares, tirante, jabalón y pilares de adobe), detalle del autor.

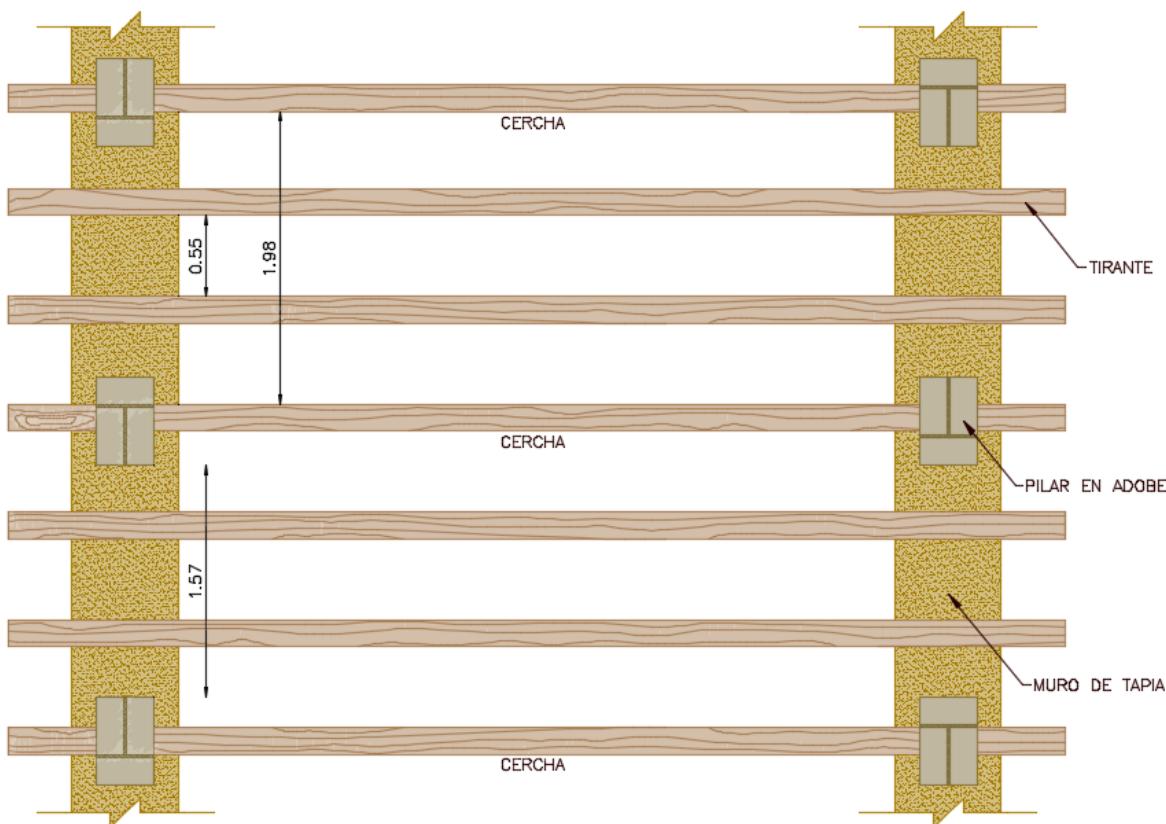


Figura 28 Deposición cercha y tirantes, detalle del autor.

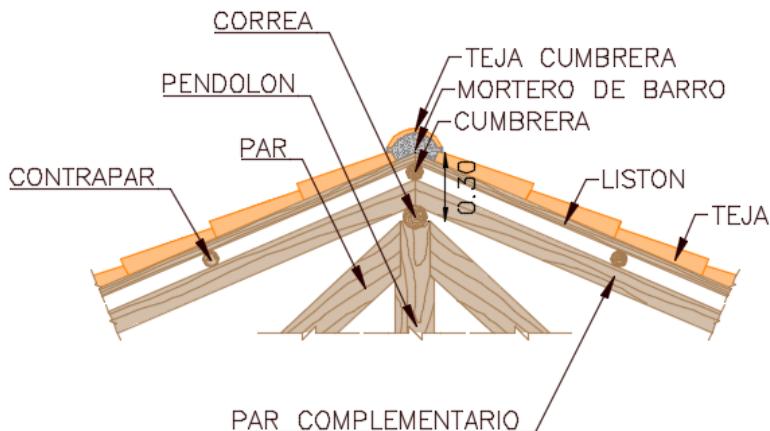
Las **correas** se ubican perpendicularmente a los pares complementarios sirviéndoles apoyo, sujetados por medio de puntillas. Están a su vez se apoyan en los puntales y pilares de adobe (Son de madera rolliza Ø 10 - 13 cm).

Las vigas que se sitúan perpendicular a las vigas canecillos, ubicadas aproximadamente a 50 cm del extremo del alero que vuelcan hacia los patios internos, son conocidas como **solera durmiente**. Estas se sujetan con los canes por medio de puntillas, tiene como función servir como apoyo a los pares complementarios y distribuir las cargas hacia los canes, vigas principales y pilares de madera (De sección de madera rolliza Ø 10 - 13 cm).

La viga **cumbreña** descansa sobre los pares complementarios, fijándose a estos por medio de puntillas, sirven de elemento arriostrado de la armadura de la cubierta, además de servir como vértice que divide las vertientes del tejado. (Son vigas de madera rolliza Ø 7 - 10 cm).

Los **pares complementarios** son piezas de madera rolliza que están apoyadas sobre las correas, sujetándose mediante puntillas. Este elemento se encuentra apoyado en la viga de la cumbreña, uniéndose mediante un corte tipo sesgo y en el extremo final en la solera durmiente del alero sujetándose con puntillas. Estas vigas permiten dar la pendiente requerida a la cubierta, logrando extender la longitud de las vertientes que formaran los aleros. De esta manera se distribuirán mejor las cargas del recubrimiento del tejado. Están dispuestas intercaladas cada 55 cm, a cada lado de la vertiente y a 120 cm del mismo plano, de modo en que no existe unión entre dos pares complementarios (Figura 29, 84). De sección de madera rolliza (Ø 10 - 13 cm).

Figura 29 Disposición de la cumbre, detalle del autor.



Los **contra pares** son elementos de madera rolliza ( $\varnothing 7 - 10$  cm), apoyados perpendicularmente en el par complementario, separados aproximadamente a 70 cm; recibiendo a los listones. Estos se sujetan a los demás elementos por medio de puntillas.

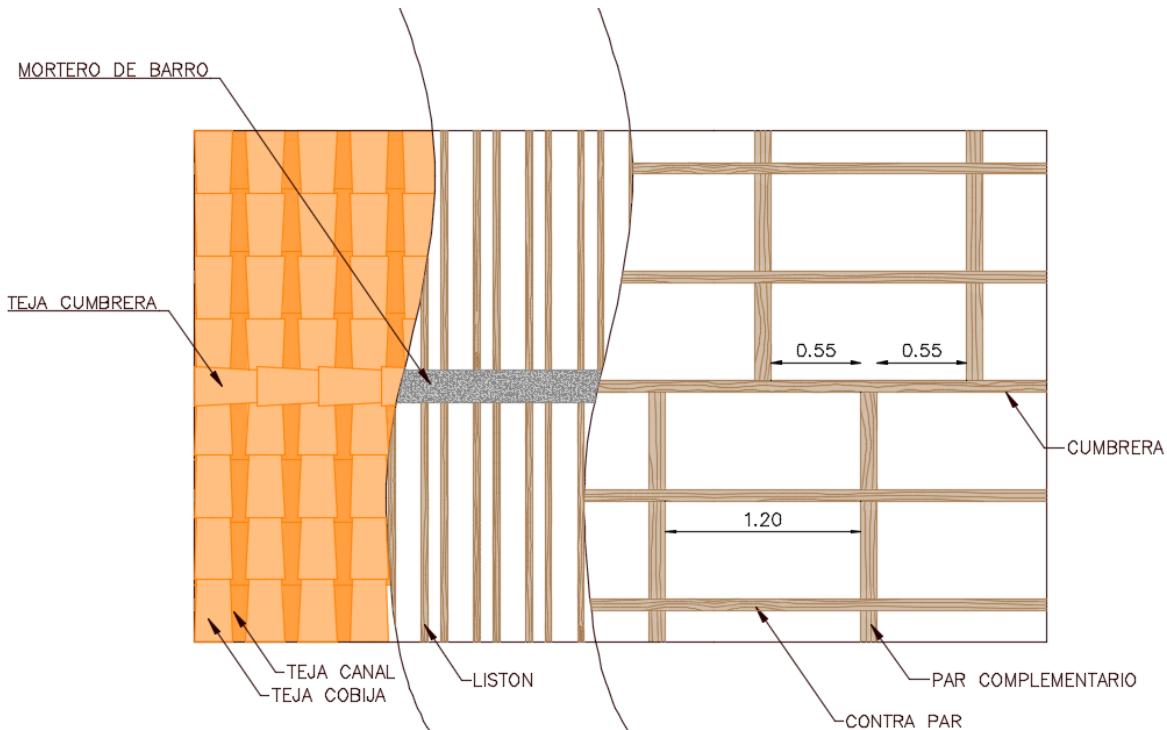


Figura 30 Disposición par complementario y elementos de recubrimiento, detalle del autor.

Los **listones o rastrelles** son elementos de madera labrada de sección rectangular (4 X 4 cm), que sirven como soporte principal de las tejas de barro. Los listones conectan a sus extremos el tablero y la cumbre; Estos se apoyan perpendicular en los contrapares, los cuales se sujetan por medio de puntillas. La separación depende de la posición en la que se apoya la teja, si esta son teja cobija la separación será de 8 cm y si son teja canal la distancia es de 16 cm (Figura 142, 213).

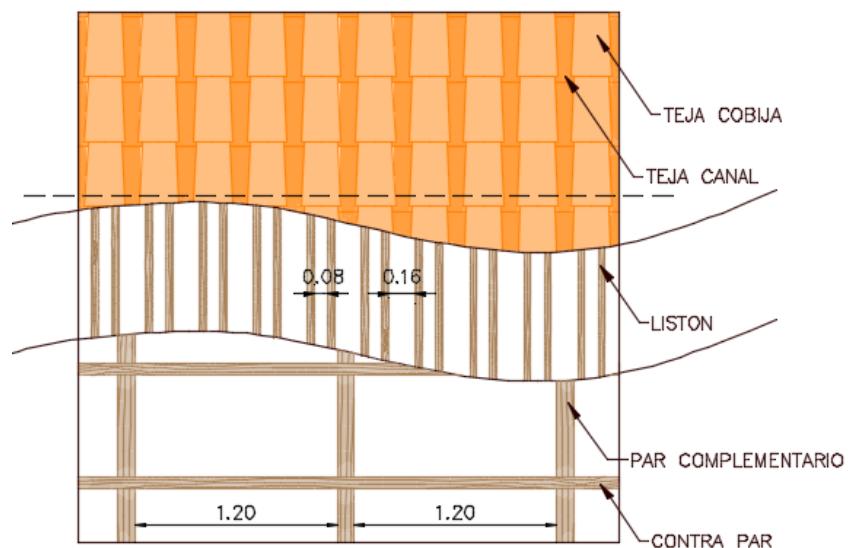
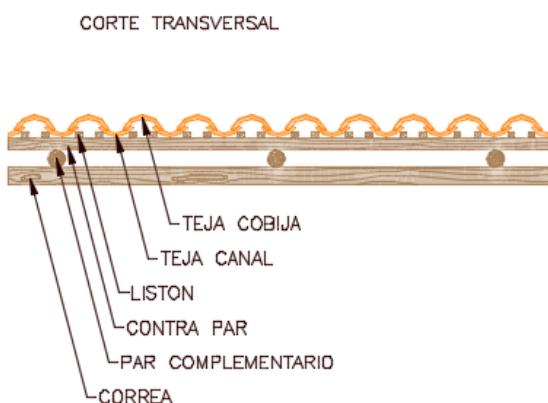


Figura 31 Armado de tejas y disposición de listones, detalle del autor.



La función de las **tejas** es servir de recubrimiento exterior para la estructura del tejado; estas son elaboradas con arcilla mezclada con arena, que adquiere su color, dureza, densidad y baja absorción, después de ser cocidas. Debido a estas propiedades y su forma de canaleta semi cónica y de la manera en la cual van a estar dispuestas, le permitirá conducir el agua lluvia hacia las canaletas y posteriormente al desagüe. Estas piezas son placas curvas de 2 cm de espesor, 42 cm de largo, en su extremo ancho tiene 24 cm y 9 cm de alto y en el angosto 20 cm y 7 cm de alto. Las tejas, se apoyan unas sobre otras con un traslapo de 10 cm, apoyados directamente a los listones sin ningún tipo de anclajes o de ligantes, únicamente valiéndose del peso propio (lo que dificulta su trabajabilidad) y rugosidad de la superficie de contacto entre teja y teja, que evitara que esta se deslice, se levanten a causa de los vientos o se rompan, produciendo goteras, filtraciones e ingreso de animales (Figura 143, 214). La dirección y posición de las tejas estarán dispuestas en dos formas: teja canal, las cuales se apoyan sobre los listones de forma convexa, formando un canal; La parte más ancha de la teja está en el sentido contrario de la pendiente, estando en un punto más alto que el extremo más angosto, lo que permitirá una adecuada canalización de las aguas. Y las tejas tipo cobija, que se apoyan sobre las tejas canal de manera cóncava; La parte más angosta de la teja se encuentra en el sentido contrario de la pendiente, estando en un punto más alto que el extremo más ancho (Figura 32, 86), logrando que el agua lluvia escurra por las tejas cobijas hacia las tejas canal y canalizando de esta forma el agua.

El punto de cierre entre dos planos de las vertientes (convexas) se solucionará mediante la construcción de la teja cierre o caballete. Las cuales estarán dispuestas de forma similar a las tejas cobijas, dividiendo las dos vertientes del tejado. Apoyadas con mortero de barro a la viga (cumbre o par de limatesa), ligándose a las tejas de encuentro y a la viga, logrando un correcto cierre en la intersección de los planos. Esta se llamarán cumbre cuando divida los planos perpendiculares a estos y limatesa cuando la intersección sea diagonal, teniendo como inicio la punta del alero y final la cumbre.

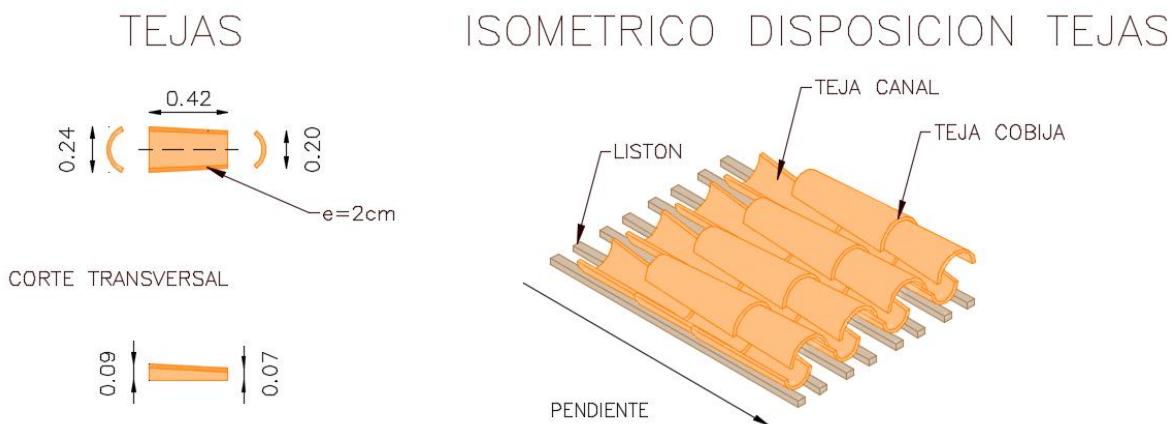


Figura 32 Geometría y disposición de tejas. FUENTE: (Hispalyt, 2018).

La inclinación de la cubierta, la forma de las tejas, la unión entre planos del recubrimiento, las canaletas entre demás elementos que componen el sistema de desagüe, fueron diseñados con la finalidad de conducir el agua lluvia que cae sobre el tejado y disponerla en el alcantarillado o a os patios internos. De tal forma que evite la escorrentía al interior de la casa y el empozamiento de esta.

La **lima hoyo** sirve de punto de unión entre dos planos de las vertientes (cóncavas), teniendo como segmento de unión un canal de Eternit, que tiene como función dirigir el agua de escorrentía que escurre por las tejas a las canaletas. Este canal se apoya sobre una viga diagonal llamada lima hoyo, en la cual se clavan puntillas en cruz, sirviendo da cama al canal de Eternit, además está fijado mediante puntillas en los extremos del canal a dos pares de listones de madera (4 X4 cm) llamados costaneros, que a su vez están apoyados en los contrapares (Figura 139, 212).

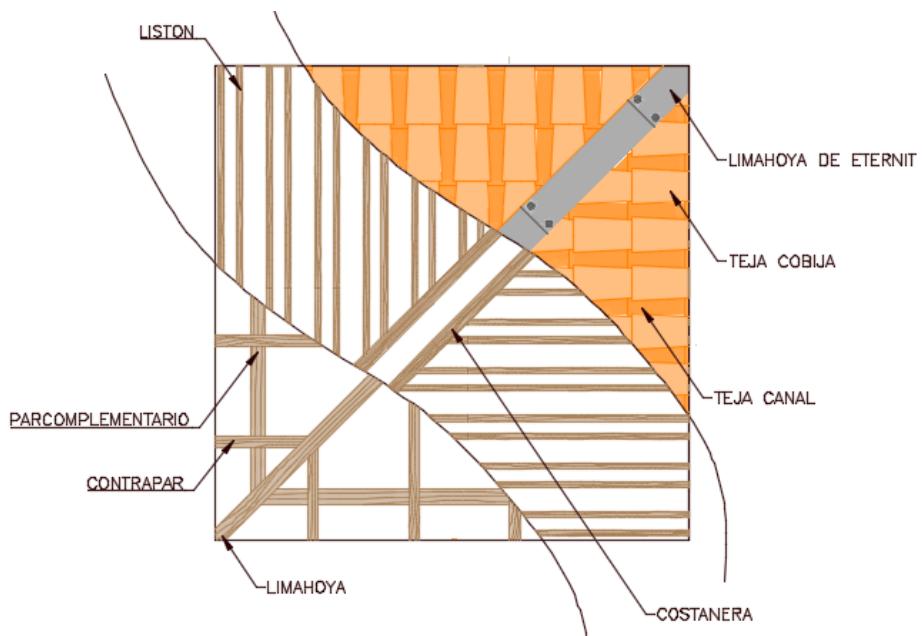
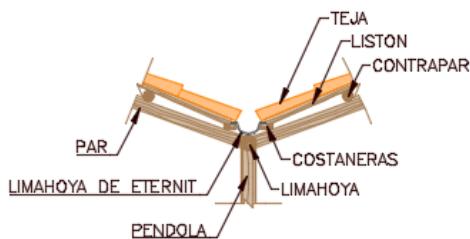


Figura 33 Armado de lima  
hoya, detalle del autor.

### LIMAHOYA



Las **canaletas** son canales semicirculares de PVC que se sostienen mediante ganchos sujetos al alero del patio interno. Los cuales conducen el agua lluvia a los colectores y estos a las bajantes (Figura 145, 215), que finalmente descarga el agua pluvial a los jardines del patio.

Los **aleros** son la prolongación en voladizo de 70 – 80 cm, de los faldones de la cubierta, sirven como desagües directos, evitando que las aguas escurran directamente por el muro o vigas de apoyo (Figura 146, 216 ).

La Casa Zarama cuenta con dos tipos principales de aleros: El que da hacia la fachada y los que dan a los patios internos.

El actual alero de la fachada consta de una placa de concreto reforzado, ubicada en el remate o cornisa del muro. Esta placa atraviesa todo el muro, terminando en un voladizo de aproximado de 80 cm, el cual consta de un gotero en el extremo, protegiendo la fachada del agua. Además, actúa como “zuncho”, arriostrando al muro de tapia y a los canecillos de madera en los cuales se encuentra apoyado, otorgándole mayor rigidez (Figura 147, 216).

Los canecillos de sección rectangular (10 X 27 cm), se encuentran separados cada metro, empotrándose en todo el espesor del muro. Dispuestos de manera tal que no interfieran con el anclaje de los tirantes.

Sobre la placa de concreto se encuentra construido un antepecho y un murete en ladrillo, este último recibe al par complementario. El espacio comprendido por el antepecho y el murete sirve de canal para el desagüe de las aguas lluvias (Figura 34, 88).

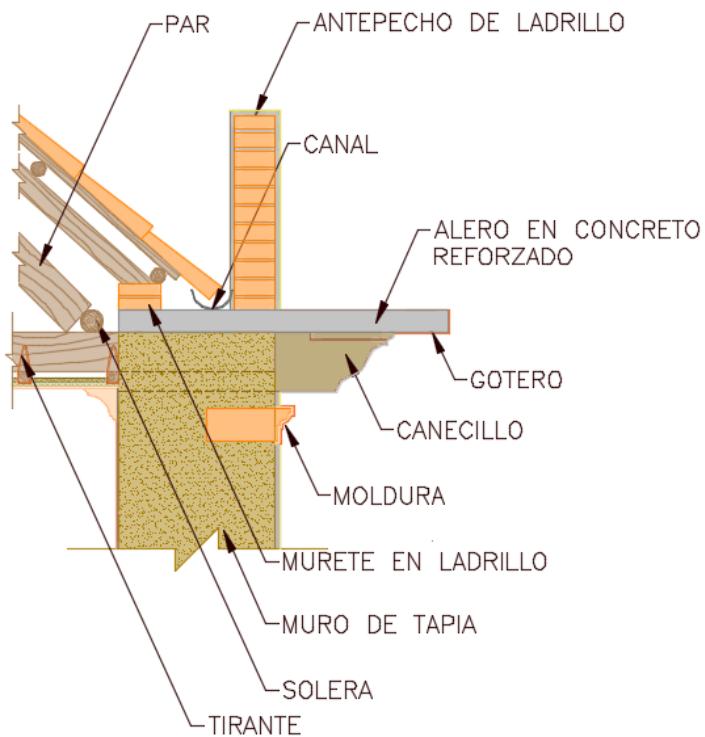


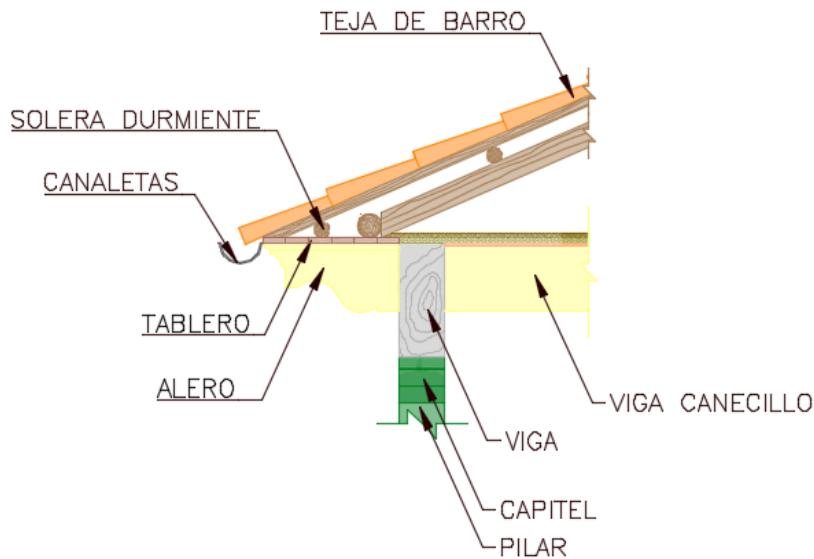
Figura 34 Alero de la fachada, detalle del autor.

El alero del patio interno consta de la viga canecillo, que termina en un voladizo de aproximadamente 60 cm, que recibe en su extremo a las soleras, las cuales arriostran y rigidizan la estructura. Sobre el alero se construye un tablero con tablas de maderas de sección rectangular (2 X 10 cm), sirviendo de acabado y protegiéndolo del ingreso de animales a la cubierta. Los canecillos también sirven de punto para el anclaje de los ganchos que soportaran las cañerías, que evacuarán las aguas lluvias (Figura 35, 89).

Las intervenciones y mantenimiento de las cubiertas tradicionales deben tratarse con criterio y sensibilidad ante los valores arquitectónicos, históricos y constructivos que estas poseen, evitando modificaciones drásticas de los materiales, pendientes, formas, etc. Que atentan contra la misma estructura y la arquitectura de las edificaciones y del centro histórico. Así mismo se debe velar por la conservación integral de estas aplicando técnicas y diseños óptimos que garanticen su vida a lo largo de los años.

La patología más usual en las cubiertas es el hundimiento del tejado y desplazamiento de las tejas (rara vez estas se fallan), causadas por el deterioro o pudrimiento de la estructura de madera. Lo que provoca filtraciones de agua e ingreso de animales, lo que incrementaría aún más su deterioro.

Figura 35 Alero del patio interno, detalle  
del autor.



La solución óptima para este inconveniente es cambiar las piezas afectadas de la estructura. Este tipo de cubiertas cuando presentan un alto nivel de deterioro, requieren desmontar el tejado, restaurar el armazón y demás elementos del techo; una vez la estructura se encuentre en óptimas condiciones se procederá a volver a instalar las tejas de barro desmontadas previamente, teniendo cuidado en la monocromía y correcto montaje de estas (Peñaranda Orias, 2011).

#### Recomendaciones

- Utilizar materiales y técnicas compatibles a las de la cubierta de la Casa Zarama.
- No utilizar el soberano como espacio de almacenamiento, ni a ningún otro uso en el cual se le puedan incrementar considerablemente las cargas actuales.
- Dimensionar cada elemento de la estructura, que soporte los esfuerzos a los que van a estar sometidas.
- Seleccionar maderas con el mínimo de defectos como nudos, bolsas de resinas, grietas entre otros.
- No utilizar maderas verdes, estas deberán tener un envejecimiento de mínimo 6 meses.
- Trabajar con maderas con humedades inferiores al 8%.
- Tratar a cada elemento de la estructura con impregnación ante agentes químicos y biológicos, protegiéndolos con fungicidas e insecticidas y cualquier otro tratamiento que garantice su durabilidad ante los diferentes factores que la pueda afectar.
- Disponer los listones o rastreles de tal forma que garantice un mínimo de 3 cm de escorrentía de aguas lluvias (HispaIyt, 2018).
- Restituir las piezas faltantes y deterioradas del armazón.
- Adecuación del soberano para el mantenimiento, dotándolo de iluminación, puntos eléctricos (testigo de encendido y apagado de luces), ganchos de servicio, líneas de vida, señalización y un correcto orden (Figura 150, 218).

- Garantizar una correcta ventilación en la cubierta.
- En caso de que se decida por cambiar el sistema estructural de la cubierta, recubrir el tejado nuevo con teja de barro (Peñaranda Orias, 2011).
- Implementar platinas de acero y tornillos, como elemento de reforzamiento de sujeción entre elementos de madera.
- Reforzamiento de los apoyos de la cubierta.
- Limpiar la suciedad y el mortero adherido de las tejas a reutilizar. Una vez limpias impregnar con agua de cal y penca<sup>88</sup>, lo que impermeabilizara y consolidara las tejas.
- Llevar la tubería de re-ventilación, extractores de humo y olores al exterior de la cubierta, evitando humedades y daños en los elementos de la estructura (Figura 151, 219).
- Emplear canaletas resistentes a la corrosión, (preferiblemente de PVC ya que son más duraderas, livianas, fácil instalación, baja adherencia al polvo debido a su rugosidad, entre otras). De utilizar canales de zinc o chapa, proteger con pintura bituminosa.
- Garantizar una correcta canalización y disposición de la escorrentía.
- Dimensionar correctamente el diámetro necesario de las canaletas para captar el agua lluvia en circunstancias severas; Diseñar las pendientes, colectores y cualquier otro elemento de los canales que garanticen una correcta disposición de aguas lluvias; Esta deberá mantenerse libres de vegetación y cualquier otro elemento que genere sobre cargas y que estorbe su buen funcionamiento (Figura 152, 219).
- Diseñar bajantes que no atenten contra los valores arquitectónicas del inmueble y que logren evacuar el agua de manera eficaz.
- Implementación de impermeabilizantes, medias cañas en canales contra antepechos; chapas en culatas (Figura 149, 217); goteros en aleros y cualquier otro elemento que eviten el deterioro de la fachada, cubierta, erosión de muros, acabados, etc. (Figura 148, 217).
- Los canalones no deberán estar fijados a los ganchos. Se le deberá permitir movimiento causado por dilatación térmica.
- Erradicar la vegetación en los morteros de forma cuidadosa, ya que por la composición de estos las raíces se enredan y podrán causar lesiones si no se tiene los cuidados necesarios.
- Acceder a la cubierta únicamente por personal autorizado y capacitado.
- Realizar trabajos de inspección y mantenimiento cada 4 meses o cada vez que sea necesario (Cambios de tejas rotas, vigas podridas o cualquier otra pieza que lo requiera; limpieza de canales y tejado, fumigación del soberano, entre otras actividades).
- Evitar los aleros cortos, provocara humedad por penetración debido al agua lluvia.

El **cielo raso** es un sistema de placas planas que cumple la función estética de cubrir el armazón de la cubierta, vigas e instalaciones; Además de proteger de la suciedad y animales que pueda entrar por el tejado, aislar acústica y térmicamente el interior del inmueble.

---

<sup>88</sup> Hoja de agaves.

La Casa Zarama cuenta con dos tipos de cielos rasos, que dan solución a los requerimientos de los diferentes espacios, por su uso y distribución, han evolucionado a través de los años mezclando técnicas y materiales de acuerdo con las épocas de intervención.

Además, se comprobó la construcción de otro falso techo el cual está debajo de los originales, debido a los cambios de uso y remodelaciones que ha sufrido la casa, que por razones estructurales, constructivas, estéticas y económicas, optaron por la construcción de uno nuevo a una altura menor (Figura 154, 220).

El cielo raso que recubre los salones, están ubicados debajo de los tirantes, de tal manera que no deja ver la estructura de la cubierta, están constituidos por una placa plana elaborada de entramados de chacla (Figura 155, 221), fijadas por medio de cabuya y alambre de acero a las correas de madera de sección rectangular 5 X 5 cm (Figura 156, 221). Las correas sostienen y arriostran al cielo raso. Están dispuestas cada 50 cm perpendicularmente a los tirantes, unidas por medio de alambres (Figura 157, 222) o cabestro que, por medio de dos puntillas, clavadas a ambas caras del tirante sujetan las tiras de cabestro que amarran la correa (Figura 158, 222). Sobre la superficie de la chacla se extiende un manto de barro o lecho arcilloso el cual va a impermeabilizar y le dará mayor rigidez al plano. En la cara inferior de la chacla se le dará un acabado con pañete de barro más tamo y afinándolo con pañete de cal y pintura para lograr un mejor acabado (Figura 159, 223), además de las molduras decorativas en yeso (Figura 36, 92).

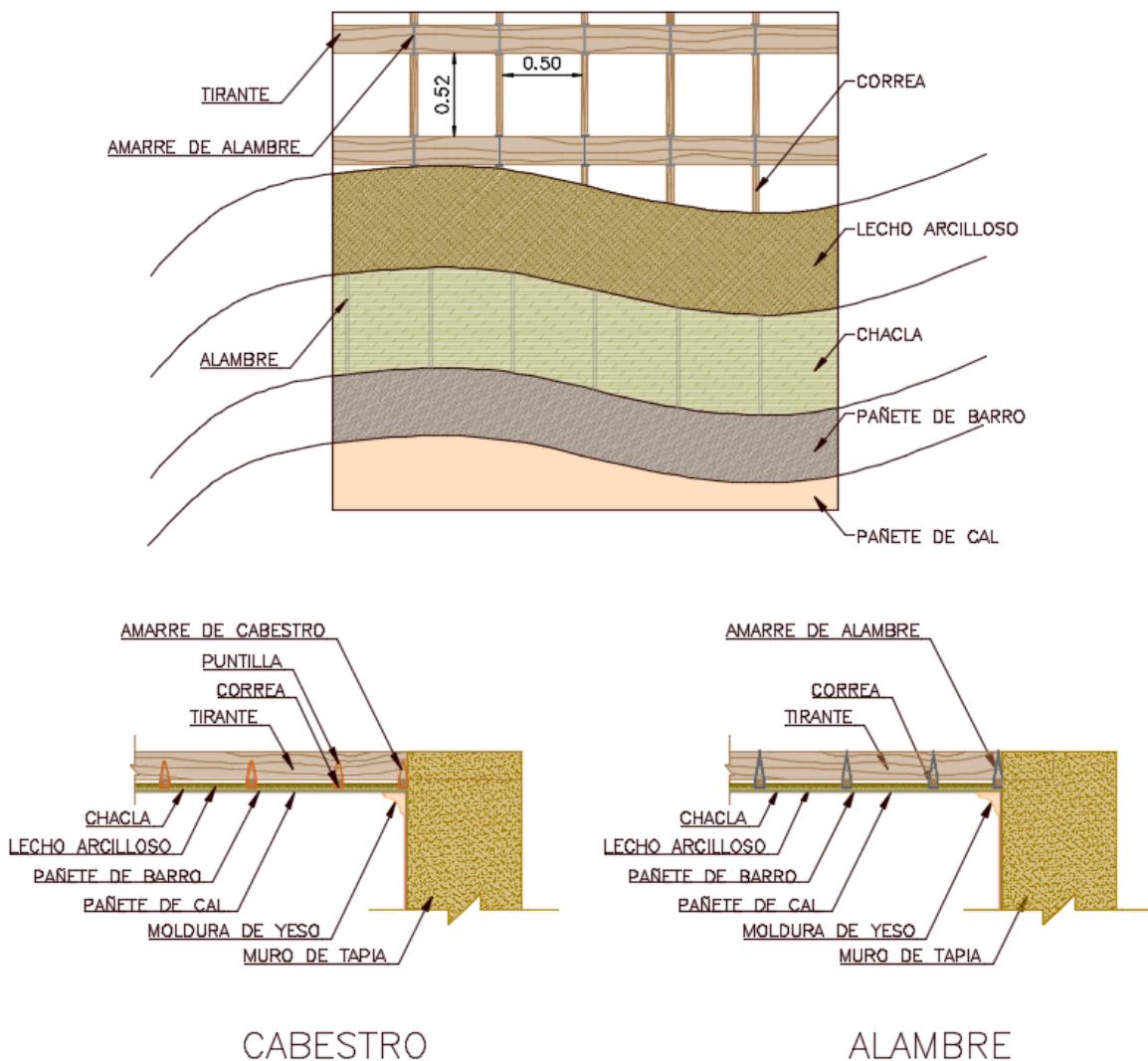


Figura 36 Armado cielo raso bajo tirantes, salones, detalle del autor.

El cielo raso que está en la zona de los pasillos, se apoya directamente sobre las vigas canecillos, de tal manera que el entramado de chacala se sujeta con puntillas en su cara superior. Sobre la placa de chacala se extiende un manto de barro y en la cara inferior se le da un acabado con pañete de barro, cal y pintura (Figura 161, 93) quedando las vigas vistas (Figura 163, 225).

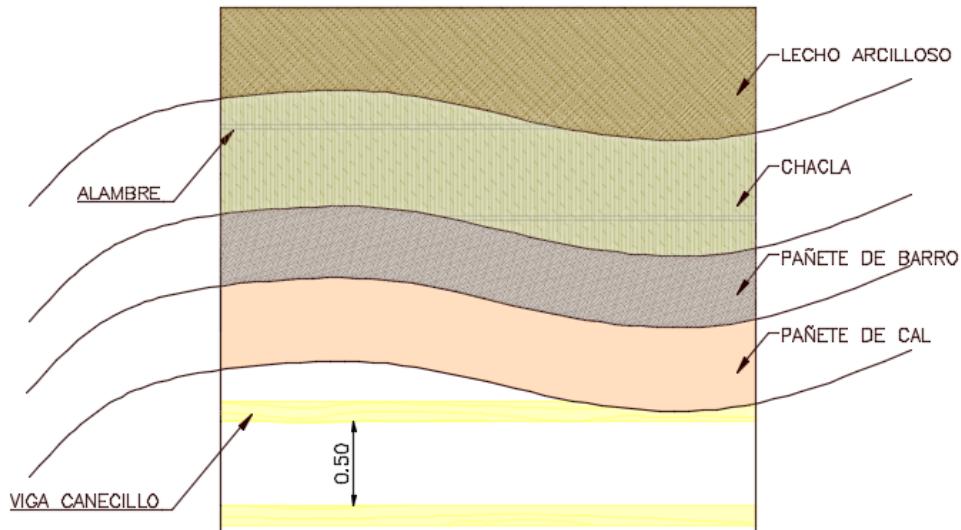
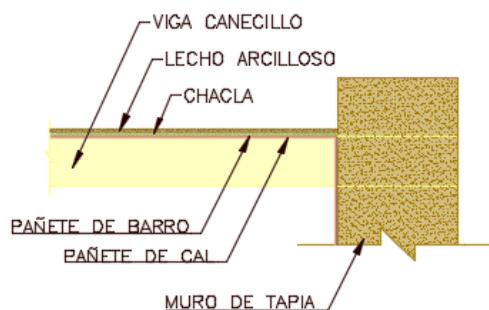


Figura 37 Armado cielo raso sobre vigas, pasillos, detalle del autor.



### Recomendaciones

- Mantener el cielo raso libre de humedades y de vapores de condensación. Para zonas húmedas y de vapores como baños o cocinas, se recomienda la adecuación de rejillas y extractores, con el fin de mitigar la humedad.
- Realizar mantenimiento con materiales y técnicas compatibles.
- Mantener los valores arquitectónicos de los cielos rasos, evitando la instalación de cielos rasos que no corresponden con el estilo de la casa.

## 9 Análisis estructural

La tierra como material constructivo ha sido utilizado desde los orígenes de la humanidad, a pesar de esto la normatividad referente a este sistema constructivo es aún muy diseminada, lo que ha traído varios problemas técnicos y legales al momento de intervenir o construir con este material. Para este trabajo se utilizarán varios códigos e investigaciones a nivel mundial las cuales consideran este tipo de edificaciones dentro de su normativa, enfocados en adobe y la tapia (Tabla 34, 285).

La NSR-10 incluye en sus métodos de análisis estructural el método de la resistencia última y de los esfuerzos admisibles; lo que deja a un lado los análisis por estabilidad o geométricos para este tipo de construcciones.

Para el análisis sísmico de la Casa Zarama se tomarán los parámetros establecidos en el título A.10.9.2.5, para un correcto diseño del reforzamiento sísmico de bienes de interés patrimonial.

Como ya se menciona en el texto, la geometría en este tipo de arquitectura es fundamental para la estabilidad de la construcción. Se realizará un análisis geométrico que verifique las condiciones actuales de la casa, comparándolas con los códigos de construcción para edificaciones en tierra; con el fin de analizar las relaciones geométricas de la Casa Zarama y sus zonas vulnerables, tomando en cuenta la esbeltez, geometría en planta, limitación de vanos y encuentro de muros de la construcción.

## 9.1 Geometría

La Casa Zarama presenta una cubierta a dos y tres aguas, de geometría cuadrada en forma de “O”. Su estructura muraría tiene forma de “U”, con muros paralelos y muros diafragmas en la primera planta.

El conjunto perteneciente a la Casa José Antonio tiene forma de “I”, también con muros paralelos, pero sin muros diafragmas.

La **esbeltez vertical** es la relación entre el alto del muro y su espesor. Según esta relación un muro va a ser clasificado como grueso, moderado o delgado (Tabla 4, 95); Entre mayor sea el espesor del muro, menor será su esbeltez; su resistencia al voloteo y la estabilidad general de la estructura serán mejores, permitiéndoles asumir mejor las fuerzas horizontales.

$$S_L = \frac{h}{e}$$

Donde

$$S_L = \text{Esbeltez vertical}$$

$$h = \text{Altura [L]}$$

$$e = \text{Espesor [L]}$$

Ecuación 1 Esbeltez vertical

	S <sub>L</sub>
Grueso <	6
Moderado	6-8
Delgado >	8

Tabla 4 Clasificación de la esbeltez de los muros. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

Y la **esbeltez horizontal** es la relación entre el largo del muro y su espesor. Este factor es un indicador para determinar las condiciones de arriostre del muro. Si S<sub>h</sub> es muy grande, significa que a la estructura le falta arriostramiento (muros perpendiculares o contrafuertes). Los límites máximos permitidos según la Norma E.0.80 del Perú (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017), para los valores de S<sub>h</sub> son de 10. Según investigaciones, la longitud de un muro no es un factor crítico para la estabilidad de la construcción. El grosor, esbeltez vertical, los grados de libertad o de restricción de la parte superior del muro, materializados en la calidad de los anclajes y conexiones de los entrepisos, vigas corona o diafragmas, definirán su estabilidad (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

$$S_H = \frac{L}{e}$$

Donde

$$S_H = \text{Eobeltez horizontal}$$

$$L = \text{Longitud [L]}$$

$$e = \text{Espesor [L]}$$

Ecuación 2 Eobeltez horizontal.

Se calculó el límite del espesor de los muros para su clasificación según esbeltez, tomando en cuenta las alturas de los niveles de la Casa Zarama; en donde los muros del primer nivel tienen una altura de 4.70 m y los del segundo nivel de 4.36 m. De este modo, al identificar los muros que comprometan la estabilidad de la estructura por esbeltez, se concluye que los muros menores a 59 cm de espesor en el primer nivel y 55 cm en el segundo son propensos a colapsar y presentar mayores fallas al momento de un sismo (Tabla 5, 96). Para ayudar a la caracterización de los muros, se diagramaron según su esbeltez (Figura 228, 271 - Figura 229, 272 ; mostrando que los muros de la edificación son gruesos exceptuando el muro externo sobre la calle 24 y los que dan al patio interno del segundo piso, estos se clasifican como moderados. Se tomó el valor de seguridad con respecto al grosor de los muros (Ecuación 3), dando como resultado el F.S = 1.18 en la primera planta y 1.27 en la segunda por esbeltez vertical.

Espesor muros cm		
Nivel		
	Primero	Segundo
Grueso <	0,78	0,73
Moderado	0,78 - 0,59	0,73 - 0,55
Delgado >	0,59	0,55

Tabla 5 Límite de espesores para la clasificación según esbeltez, autor.

$$F.S = \frac{e}{e_{Delgado}}$$

Donde

$$F.S = \text{Factor Seguridad}$$

$$e = \text{Espesor [L]}$$

$$e_{Delgado} = \text{Espesor límite muro delgado [L]}$$

Ecuación 3 Factor Seguridad.

Los **vanos** son aperturas en los muros, las cuales generan discontinuidades que debilitarán la estructura, disminuyendo su masa, por lo que será necesario limitarlos. Estos deberán ser ubicados lejos de las zonas críticas de la edificación, como son las esquinas y los encuentros de los muros (Vidal, 2012). Existe una serie de recomendaciones para la construcción de edificaciones en tierra, las cuales han creado relaciones geométricas entre el espesor del muro, su altura, longitud y la ubicación y el tamaño de los vanos, con el fin de diseñar estructuras que soporten mejor las cargas estáticas y dinámicas.

Se compararon las características geométricas de los muros de la Casa Zarama con las recomendaciones y normativa a nivel mundial, con el fin de evaluar la estabilidad estructural según límites geométricos (Figura 187, 237). Las siguientes tablas identifican cada uno de los muros del inmueble con sus dimensiones, e indican si cumple los límites geométricos según la Norma E 0.80 del Perú<sup>89</sup> (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017); la NBC 203 de Nepal<sup>90</sup> (Department of Urban Development and Building Construction, 1994); y las recomendaciones recopiladas por la investigación “Estrategias Morfológicas de diseño Sismo Resistente para la Construcción Contemporánea en Tierra Portante” (Gaete Cruz, 2010).

La sección de los muros fue tomada entre las intercesiones o las esquinas, donde:

$$L = \text{Longitud de la sección del muro [L]}$$

$$b_{1-2} = \text{Distancia entre vanos y cruces de muros [L]}$$

$$a_{1-2} = \text{Longitud de vanos [L]}$$

$$h = \text{Altura del vano [L]}$$

$$H = \text{Altura muro [L]}$$

$$e = \text{Espesor muro [L]}$$

Comprobación geométrica de vanos								
Muros externos primer piso								
	1	2	3	4	5	6	7	8
L	4,56	7,54	8,24	4,22	4,01	4,16	6,89	14,57
b1	2,15	2,06	2,54	1,28	1,15	1,32	2,90	2,99
b2	0,60	0,64	1,17	1,23	1,14	1,14	0,00	0,00
a1	1,82	1,83	1,97	1,71	1,71	1,70	1,70	4,52
a2		1,83	2,64				1,63	1,69
h	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92
e	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
S <sub>L</sub>	5,88	5,88	5,88	6,71	6,71	6,71	6,71	6,71
S <sub>H</sub>	5,70	9,43	10,30	6,03	5,73	5,94	9,84	20,81
L + 1,25H ≤ 17,5e	OK	No cumple	No cumple	OK	OK	OK	No cumple	No cumple
a ≤ L/4	No cumple							
3e ≤ b ≤ 5e	No cumple							
0,25h ≤ b	No cumple	No cumple	OK	OK	OK	OK	No cumple	No cumple

Tabla 6 Comprobación geométrica de vanos y muros externos primer piso, autor.

<sup>89</sup> Artículo 6 Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada.

<sup>90</sup> Artículo 8 Openings in Walls.

Comprobación geométrica de vanos									
	Muros internos primer piso								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
L	4,56	7,54	8,24	6,89	14,57	9,71	9,74	9,74	11,83
b1	2,10	6,34	2,53	2,90	3,28	3,49	0,95	3,19	8,82
b2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35	0,36	4,77	3,01
a1	2,46	1,20	1,47	2,13	5,99	2,00	4,14	1,78	1,88
a2	0,00	0,00	2,28	1,17	3,00	1,15	3,66	0,00	0,00
h	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
e	0,90	0,90	0,90	1,00	0,89	0,80	0,80	1,05	1,05
S <sub>L</sub>	5,22	5,22	5,22	4,70	5,28	5,88	5,88	4,48	4,48
S <sub>H</sub>	5,07	8,38	9,16	6,89	16,37	12,14	12,18	9,28	11,27
L+1,25H≤17,5e	OK	OK	OK	OK	No cumple	No cumple	No cumple	OK	No cumple
a ≤ L/4	No cumple	OK	No cumple	OK	OK				
3e ≤ b ≤ 5e	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	OK	No cumple
0,25 h ≤ b	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	OK	No cumple	OK	OK

Tabla 7 Comprobación geométrica de vanos y muros internos primer piso, autor.

Comprobación geométrica de vanos					
	Muros externos segundo piso				
	1	2	3	4	5
L	22,26	4,22	4,01	4,32	22,59
b1	3,11	1,47	1,03	1,59	2,04
b2	1,06	1,37	0,92	1,36	1,03
a1	4,90	1,38	2,06	1,37	4,23
a2	2,80	0,00	0,00	0,00	2,89
h	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
e	0,75	0,60	0,60	0,60	0,70
S <sub>L</sub>	5,81	7,27	7,27	7,27	6,23
S <sub>H</sub>	29,68	7,03	6,68	7,20	32,27
L+1,25H≤17,5e	No cumple	OK	OK	OK	No cumple
a ≤ L/3	No cumple	OK	No cumple	OK	OK
3e ≤ b ≤ 5e	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
0,25 h ≤ b	OK	OK	OK	OK	OK

Tabla 8 Comprobación geométrica de vanos y muros externos segundo piso, autor.

Comprobación geométrica de vanos								
	Muros internos segundo piso							
	6	7	8	9	10	11	12	13
L	22,33	5,24	22,59	12,49	12,49	5,02	9,44	9,44
b1	0,35	1,86	0,72	0,21	5,23	1,80	2,12	0,96
b2	0,20	1,85	1,65	0,00	0,25	1,70	1,18	1,72
a1	5,79	1,53	4,84	4,10	3,24	1,52	1,76	1,40
a2	3,03	0,00	3,98	3,40	1,49	0,00	1,32	1,40
h	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
e	0,75	0,75	0,90	0,72	0,69	0,67	0,72	0,69
S <sub>L</sub>	5,81	5,81	4,84	6,06	6,32	6,51	6,06	6,32
S <sub>H</sub>	29,77	6,99	25,10	17,35	18,10	7,49	13,11	13,68
L+1,25H≤17,5e	No cumple	OK	No cumple	No cumple	No cumple	OK	No cumple	No cumple
a ≤ L/3	No cumple	OK	No cumple	No cumple	No cumple	OK	OK	OK
3e ≤ b ≤ 5e	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
0,25 h ≤ b	No cumple	OK	OK	No cumple	No cumple	OK	OK	OK

Tabla 9 Comprobación geométrica de vanos y muros internos primer piso, autor.

Se analizaron los límites geométricos estipulados anteriormente, calculando la longitud y ubicación de los muros y vanos de la Casa Zarama, sin variar su espesor ni su altura, con el fin de hallar sus longitudes mínimas y máximas, cumpliendo los criterios geométricos recomendados por las normas.

En la Tabla 10, 31 ,se muestra la longitud máxima de un muro para cumplir a esbeltez y arriostramiento horizontal, además de la longitud máxima de los vanos en esta sección. La Tabla 11, 100, señala las distancias mínimas entre un vano y una intersección del muro o entre otro vano.

Espesor	Límites geométricos	
	Muro	Vanos
1,05	10,50	2,63
1,00	10,00	2,50
0,90	9,00	2,25
0,89	8,90	2,23
0,80	8,00	2,00
0,75	7,50	2,50
0,72	7,15	2,38
0,70	6,38	1,59
0,69	6,63	2,21
0,67	6,28	2,09
0,60	5,05	1,68

Tabla 10 Longitudes máximas de vanos y secciones de muro sin arriostrar según S<sub>H</sub>, autor.

Limites geométricos				
Distancia m				
	Primero		Segundo	
Muros	Intersecciones	Vanos	Intersecciones	Vanos
Externos	0,98	1,96	0,95	1,43
Internos	0,95	1,43	0,95	1,43

Tabla 11 Distancia mínima entre vanos - intercesión y vanos - vanos, según nivel, autor.

La **densidad** de los muros es la relación entre la suma de su área transversal en dirección al eje principal de planta, y el área total techada.

$$Densidad_{Muro} = \frac{A_{Cubierta}}{A_{Transversal\ muros}}$$

Donde

$$Densidad_{Muro} = Densidad\ muro$$

$$A_{Cubierta} = \text{Area cubierta } [L^2]$$

$$A_{Transversal\ muros} = \text{Area Transversal } [L^2]$$

Ecuación 4 Densidad muro (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017).

Se calculó la densidad de los muros de la casa y se comparó con los valores límites establecidos por la Norma E 0.80 (Tabla 56, 296). En la Tabla 12 se muestran el área de la cubierta y las áreas transversales (sin vanos) de los muros del primer y segundo piso, y después la densidad calculada para cada nivel.

Limites geométricos		
Densidad de muros		
	Área m <sup>2</sup>	Densidad
Primer	110,14	12%
Segundo	99,40	11%
Cubierta	887,41	

Tabla 12 Área transversal de los muros, primera y segunda planta / Área cubierta, autor.

Los muros en la Casa Zarama tienen una relación de esbeltez bástate aceptable. Donde los muros que van a soportar mayor carga (internos y primer piso), tienen mayor espesor en comparación con muros que dan a fachadas. La esbeltez de los muros ayudará en su comportamiento posterior a la fisuración, ya que evitará su voldeo y colapso al momento de un sismo debido a que son considerados gruesos – moderados. La sección de muro que es más vulnerable a colapsar o volverse al momento de un sismo según su esbeltez, es el tramo de la fachada que da hacia la calle 24, con un factor de seguridad de 1.18.

El principal problema de la estructura de la Casa Zarama, si se tiene en cuenta su geometría, es la longitud de los vanos, que en su mayoría supera al tercio de la longitud de la sección. Esto debilitará al muro por la creación de discontinuidades y pérdida de masa; y su posición y distribución también lo harán, ya que en muchos casos los vanos están muy juntos unos a otros, o están contiguos a intersecciones de muros, haciendo de estos puntos críticos y vulnerables a la aparición de planos de falla.

Si se compara la posición y tamaño de los vanos del inmueble, podemos observar claramente que en casi ningún muro se cumple con las recomendaciones dadas por las normas. Principalmente se debe a que los principios constructivos con los que se diseñó la casa no corresponden con lo estipulado en los códigos; y a las intervenciones que se han realizado posterior a su construcción, como la apertura de vanos y creación de nuevos espacios.

La limitación en la apertura de vanos en el primer nivel es mayor que en la del segundo. Esto se debe a que los muros del primer piso van a soportar mayor carga, por lo que su área efectiva debe ser mayor, controlando la apertura y diseño de vanos.

Los muros de arriostramiento sobre la carrera 24, son más gruesos que los muros principales; en cambio los muros de arriostramiento de la calle 18, son de menor espesor que los muros principales; haciendo estos últimos más vulnerables a “punzonamiento” y fallas en estos puntos, causadas por fuerzas fuera del plano.

Según los límites mínimos para la densidad de los muros (Tabla 56, 296), a densidad para edificaciones dedicadas al uso de oficinas o comercio es del 12%. La relación en el primer piso es del 12.4% y en la segunda planta del 11.2%, por lo que se podría decir que la construcción cumple con este requisito, haciendo que tenga la suficiente área transversal para soportar cargas y mantenerse estable.

Los muros divisorios, como es el caso de los construidos con bahareque, no fueron tomados en cuenta para seleccionar la longitud de los muros. Esto se debe a que la conexión entre los muros de tapia y sus propiedades mecánicas hará que su comportamiento ante cargas sísmicas sea diferente y no funcione como un sistema de arriostramiento horizontal.

El grado de restricción en la parte superior de los muros y su esbeltez vertical, son factores que van a tener mayor peso que la longitud de los muros. Por lo tanto, el diseño y refuerzo de vigas de coronas, diafragmas y de apoyos de entrepisos y cubiertas, van a ser fundamentales para lograr un funcionamiento global óptimo ante sismos.

Las normativas para el reforzamiento y diseño de construcciones en tierra van a buscar una geometría para sus estructuras las cuales sean de muros gruesos y altos; cuyos vanos se limiten a  $1/3$  o  $1/4$  de la longitud total de la sección, y estén ubicados en el centro, evitando la continuidad con intersecciones de muros y aperturas. Los muros principales contarán con arriostramientos horizontales formados por contrafuertes (exteriores) o muros perpendiculares (interiores), con el fin de minimizar los esfuerzos provocados por fuerzas fuera del muro.

## 9.2 Diseño y estado de la edificación

La NSR-10 establece que se debe realizar un análisis cualitativo de la calidad del diseño original y del estado actual de la estructura para edificaciones existentes.

*Con base en la información recolectada y en las inspecciones in situ de la estructura, se elaboró la*

Tabla 13, 102, en donde se califica de 1-5 los diferentes ítems de la situación actual de la Casa Zarama. La tabla refleja que la estructura se encuentra en un buen estado, presentando deformaciones y vibraciones en el entablado del segundo piso. Aunque este no es un ítem que compromete la estabilidad de la estructura, es muestra clara de la falta de arriostramiento (diafragma) del entrepiso. También son perceptibles por el usuario, las vibraciones del conjunto que comprometen los salones ubicados sobre las fachadas cuando transitan a gran velocidad vehículos de carga, esto evidencia que la estructura cuenta con cimentaciones superficiales. Este análisis está basado en la tesis “Aproximación al comportamiento estructural de edificaciones en tierra de la arquitectura colonial. Consideraciones para el inventario de bienes del Ministerio de Cultura y la norma de sismo resistencia colombiana” (Acero Matallana, 2012).

Descripción	Cualificación puntos críticos de la estructura - Casa Zarama				
	SI	NO	Deficiente		Bueno
			1	2	3
Fisuras elementos estructurales	NO				X
Fisuras elementos no estructurales	NO				X
Daños elementos de resistencia principal	NO				X
Deformaciones	SI			X	
Vibraciones perceptibles	SI			X	
Desplomes	NO				
Asentamientos	NO				X
Falta de recubrimientos	NO				X
Diferencias con información existente	NO				X
Patología	NO				X
Otras fallas	NO				

Tabla 13 Cualificación puntos critico de la Casa Zarama.

De acuerdo con el Título A.10.2.2.1 de la NSR-10 y la investigación previa de la Casa Zarama, se clasificó como REGULAR la **calidad del diseño y la edificación**, con base en la mejor tecnología existente en la época de construcción. Esto se debe a que su calidad de construcción, materiales y sistema constructivo son bastante buenos. Sin embargo, su cimentación es débil y se ubica en un predio esquinero. igualmente, hay un déficit de muros de arriostramiento y vigas de coronación; un exceso de aperturas en la primera planta y una inadecuada distribución de los vanos con respecto a las esquinas, intersecciones y otras aperturas, lo que ha generado puntos vulnerables en la estructura, donde se concentrarán esfuerzos y ocasionarán una eventual falla.

De acuerdo con el Título A.10.2.2. de la NSR-10 y la investigación previa de la Casa Zarama, se clasificó como REGULAR el **estado actual de la edificación**, con base en las modificaciones, daños, humedades, pudrición de

elementos, grietas y demás patología que pueda presentar la construcción. Pese al buen trabajo de mantenimiento de la casa, la reparación de cubierta y al buen estado actual de la estructura (no presenta grietas considerables, pudrición en elementos de madera, humedades en muros, flechas o desplomes en sus elementos verticales); en las distintas intervenciones, han aparecido nuevos vanos en los muros y entrepiso, y se han construido mezanines; lo que genera discontinuidades en muros, debilitamiento del diafragma y sobrecarga en la estructura.

### 9.3 Materiales

La caracterización de las propiedades mecánicas de las edificaciones históricas, más específicamente las construidas en tierra cruda, suele ser compleja. Esto debido a que su resistencia y comportamiento dependerán del estado actual de sus elementos, del lugar en donde fue extraída la materia prima, y de la técnica y calidad de los procesos constructivos de la edificación.

Los resultados de los laboratorios realizados por las diferentes investigaciones a nivel regional, nacional y mundial, que se han centrado en darle un valor numérico a las propiedades mecánicas de la tierra, como material principal para la construcción de edificaciones (Tabla 35, 285-Tabla 40, 287).

Existe una dispersión de los valores obtenidos en los ensayos para determinar la densidad, módulo de elasticidad, resistencia a tracción y compresión de los bloques de adobe y tapia.

En algunos casos se han presentado múltiples valores de las propiedades de la tierra en muestras extraídas de la misma cantera o edificación (Campo Pantoja & Suarez, 2017). Esto, debido a que la “calidad” del suelo implementado para la construcción depende de su composición mineralógica, su porcentaje de finos, sus vacíos, su humedad y aditivos. Igualmente depende de la técnica utilizada para su elaboración, el número de golpes, el espesor de capas y las características del instrumento utilizado para la compactación, entre otras variables, que pueden modificar las distintas propiedades mecánicas de la tierra.

Esto hace compleja la caracterización de los muros de tapia en edificaciones antiguas. Para futuras investigaciones e intervenciones, se recomienda realizar muestreos significativos de distintos muros de la edificación al igual que realizar ensayos *in situ* no destructivos, para determinar las propiedades de la tapial o adobes más cercanas a la realidad, tales como ensayo de gatos planos o esclerómetro.

Con el fin de definir las propiedades mecánicas de los muros de tapia y de la madera (vigas, cubierta, dinteles y pilates) para la modelación de la Casa Zarama, se basó en los resultados, estudios y experiencia de diferentes autores, que hicieron investigaciones sobre el comportamiento mecánico de las estructuras en tierra y su análisis estructural mediante modelos a escala, ensayos de laboratorio y MEF.

Propiedades mecánicas de materiales		
Parámetro	Valor	Referencia
Tapia		
Densidad p (Kg/m <sup>3</sup> )	1930,00	Yamin Lacouture, Philips Bernal, Reyes Ortiz & Ruiz Valencia, 2007
Módulo de Young E (Kg/cm <sup>2</sup> )	12000,00	Adolfo Alonso Durá
Coeficiente Poisson ν	0,26	Afanador García, Carrascal Delgado & Bayona Chinchilla, 2013
Resistencia a la compresión f <sub>c</sub> (Mpa)	0,52	Campo Pantoja & Suarez, 2017
Resistencia a la tracción f <sub>t</sub> (Mpa)	0,02	Yamin Lacouture, Rodríguez, Fonseca, Reyes Ortiz & Philips Bernal, 2004
Energía fracturación G <sub>f</sub> (Jul/m <sup>2</sup> )	109,00	Miccoli, Olivera, Silva, Muller, & Schueremans, 2015
Madera de pino		
Densidad p (Kg/m <sup>3</sup> )	500,00	Eusko Jaurlaritza Gobierno Vasco, 2013
Módulo de Young E (Kg/cm <sup>2</sup> )	10702,00	Yoza, Baradit & Acevedo, 2015
Coeficiente Poisson ν	0,16	Maderas Medina S.L., 2013
Resistencia a la compresión f <sub>c</sub> (Mpa)	4,06	Maderas Medina S.L., 2013
Resistencia a la tracción f <sub>t</sub> (Mpa)	10,57	Maderas Medina S.L., 2013

Tabla 14 Propiedades mecánicas de la tapia y madera de pino.

Se aprecia que la resistencia a tracción de la tapia es bastante baja y es un material de baja ductilidad, por lo que fallará rápidamente ante esfuerzos a tensión y se comportará de forma inelástica. Debido a la densidad y gran tamaño de los bloques que constituyen el muro, este será menos propenso a fallar por volteo, por lo que se puede concluir que un muro de tapia se agrietará con facilidad ante fuerzas sísmicas, pero no colapsará gracias a su masa, geometría y a la correcta disposición de la madera como elemento resistente a la tracción en puntos críticos como los vanos, actuando en forma de dinteles.

## 9.4 Cargas

Para la valoración de las cargas que actuarán sobre el modelo de la edificación, se tuvo en cuenta su peso propio, cargas de servicio y sísmicas. Se consultaron investigaciones realizadas por diferentes autores y fichas técnicas de elementos constructivos, con el fin de obtener el peso muerto y las propiedades de los materiales que componen la Casa Zarama (no se encuentran en la NSR-10), tales como: tapia, adobe, bahareque, tejas de barro, cañizo, chacla, entre otros elementos propios de este tipo de edificaciones (Tabla 15, 106). Para la asignación de las cargas de servicios se tomó el Título B<sup>91</sup> de la NSR-10, en donde se especifican las cargas y sus combinaciones para las diferentes circunstancias que puedan involucrar a la edificación.

Densidad de Materiales			
Material	kg/m3	kN/m3	Referencia
Madera	500,00	4,90	Tabla B,3,2-1 NSR-10
Arcilla seca	1100,00	10,78	Tabla B,3,2-1 NSR-10
Chacla	510,00	5,00	Cely Moreno, Hernández Rojas, & Gutiérrez Junco, 2012
Pañete de barro	1000,00	9,80	Bestraten, Hormías, & Altemir, 2011
Pañete de cal	1133,00	11,10	Tabla B,3,4,1-1 NSR-10
Pañete de yeso	800,00	7,84	Tabla B,3,2,1-1 NSR-10
Adobe	1780,00	17,44	Yamin Lacouture, Philips Bernal, Reyes Ortiz & Ruiz Valencia, 2007
Tapial	1930,00	18,91	Yamin Lacouture, Philips Bernal, Reyes Ortiz & Ruiz Valencia, 2007

Tabla 15 Densidad de materiales.

Se determinaron las cargas vivas en las diferentes estancias del inmueble (Figura 230, 273), tomando los valores sugeridos por la NSR-10 en las tablas B.4.2.1-1 y B.4.2.1-2 (Tabla 57, 296 - Tabla 58, 297). Se tomó la carga viva del soberano como 1 kN/m<sup>2</sup>, ya que este eventualmente puede ser utilizado como espacio de almacenamiento de material, equipo y para labores de mantenimiento de cubierta.

Cargas vivas	
Ocupación	kN/m2
Corredores y escaleras	3,00
Oficinas	2,00
Restaurante	5,00
Residencial	1,80
Cubierta	0,35
Soberano	1,00
Almacenamiento liviano	6,00

Tabla 16 Cargas vivas para el modelo estructural de la Casa Zarama.

<sup>91</sup> Título B por el cual se “dan los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones con respecto a cargas que deben emplearse en su diseño, diferentes a las fuerzas o efectos que impone el sismo.” (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010, págs. B-1).

Al calcular la carga muerta de la estructura, se tomaron los pesos específicos de los materiales, prestando especial cuidado en el sistema constructivo y los elementos que los componen. Como se menciona en el Título A.10.4.2.6 - Cargas diferentes a las solicitudes sísmicas, se tomará la mayor carga entre la calculada y las prescritas en el Título B de la NSR-10.

Se toma la densidad de la madera como  $500 \text{ kg/m}^3$ , ya que esta propiedad caracteriza a la madera de especies de pino, utilizada para este tipo de construcciones<sup>92</sup>.

$$m = \rho \cdot v$$

Donde

$$m = \text{Masa [M]}$$

$$\rho = \text{Densidad } [M/L^3]$$

$$v = \text{Volumen } [L^3]$$

Ecuación 5 Masa.

Se estimó la **carga que ejerce la cubierta** en los muros de tapia y vigas de madera. Para esto se calculó la carga por metro cuadrado del tejado y cielo raso. Posteriormente se realizó un modelo de la cercha de la cubierta en ANGLE (Figura 231, 273*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*), con el fin de calcular los esfuerzos y cómo estos se transmitieron a los elementos estructurales de la casa. Adicionalmente, se podrán comprobar las deformaciones de estas armaduras, así como identificar los puntos críticos del armazón.

### Tejado

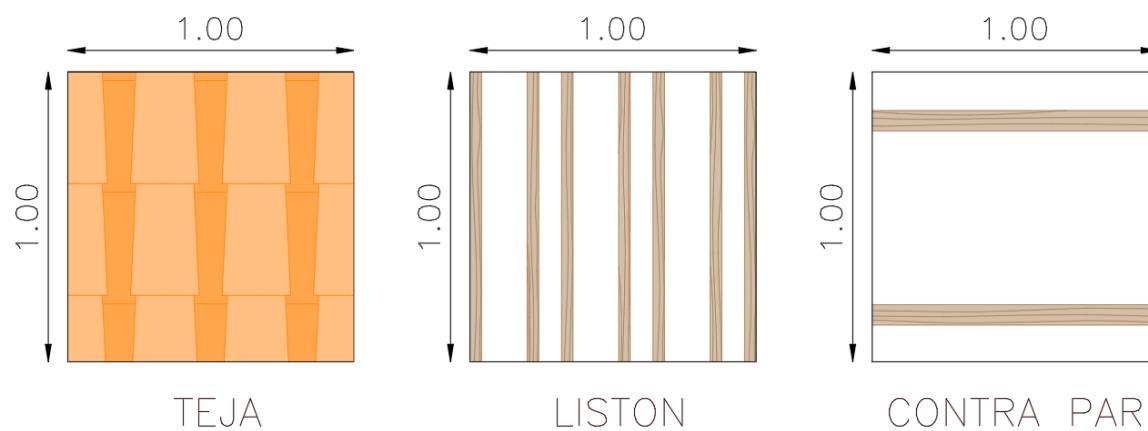


Figura 38 Cuantificación de material por metro cuadrado del tejado, detalle del autor.

<sup>92</sup> Manual Técnico de formación para la caracterización de madera de uso estructural (Eusko Jaurlaritza Gobierno Vasco, 2013).

Cubierta	
Cargas muertas	
Tejado	kN/m <sup>2</sup>
Tejas	0,440
Liston	0,055
Contra par	0,038
	0,533
Cargas vivas	
Ocupación	kN/m <sup>2</sup>
Cubierta	0,350
	0,350

Tabla 17 Cargas tejado, autor.

## Memoria

Tejas

$$\text{Peso} = 2.5 \text{ kg/und}$$

$$\text{Rendimiento} = 18 \text{ und/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Tejas}} = 2.5 \text{ kg/und} \cdot 18 \text{ und/m}^2 = 45 \text{ kg/m}^2 = 0.440 \text{ kN/m}^2$$

Liston

$$\text{Peso} = 0.04 \text{ m} \cdot 0.04 \text{ m} \cdot 500 \text{ kg/m}^3 = 0.8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Rendimiento} = 7 \text{ m/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Liston}} = 0.8 \text{ kg/m} \cdot 7 \text{ m/m}^2 = 5.6 \text{ kg/m}^2 = 0.055 \text{ kN/m}^2$$

Contra par

$$\text{Peso} = \frac{\pi \cdot (0.05 \text{ m})^2}{2} \cdot 500 \text{ kg/m}^3 = 1.96 \text{ kg/m}$$

$$\text{Rendimiento} = 2 \text{ m/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Contra par}} = 1.96 \text{ kg/m} \cdot 2 \text{ m/m}^2 = 3.93 \text{ kg/m}^2 = 0.038 \text{ kN/m}^2$$

Tejado

$$\text{Carga}_{\text{Tejado}} = 0.055 \text{ kN/m}^2 + 0.441 \text{ kN/m}^2 + 0.038 \text{ kN/m}^2 = 0.533 \text{ kN/m}^2$$

### Cielo raso

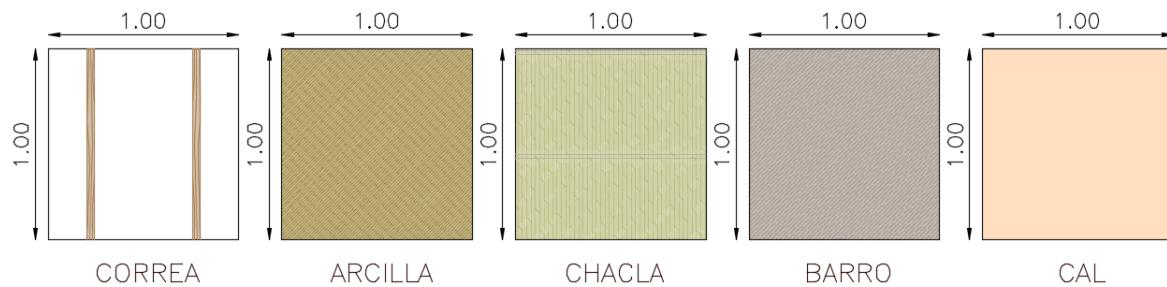


Figura 39 Cuantificación de material por metro cuadrado del cielo raso, detalle del autor.

Cargas muertas	
Cielo raso	kN/m <sup>2</sup>
Correa	0,025
Lecho arcilloso	0,216
Chacla	0,100
Pañete de barro + cal	0,800
	1,141
Cargas vivas	
Ocupación	kN/m <sup>2</sup>
Soberano	1,000
	1,000

Tabla 18 Cargas cielo raso, autor.

### Memoria

Correa

$$\text{Peso} = 0.05 \text{ m} \cdot 0.05 \text{ m} \cdot 500 \text{ kg/m}^3 = 1.25 \text{ kg/m}$$

$$\text{Rendimiento} = 2 \text{ m/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Correa}} = 1.25 \text{ kg/m} \cdot 2 \text{ m/m}^2 = 2.5 \text{ kg/m}^2 = 0.025 \text{ kN/m}^2$$

Lecho arcilloso

$$\text{Peso} = 0.02 \text{ m} \cdot 1100 \text{ kg/m}^3 = 22 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Lecho arcilloso}} = 22 \text{ kg/m}^2 = 0.216 \text{ kN/m}^2$$

### Chacla

$$\text{Peso} = 0.02m \cdot 510 \text{ kg/m}^3 = 10.2 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Chacla}} = 10.2 \text{ kg/m}^2 = 0.1 \text{ kN/m}^2$$

### Pañete de barro

$$\text{Peso} = 0.02 m \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Pañete de barro}} = 20 \text{ kg/m}^2 = 0.196 \text{ kN/m}^2$$

### Pañete de cal

$$\text{Peso} = 0.015 m \cdot 1133 \text{ kg/m}^3 = 17 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Pañete de cal}} = 17 \text{ kg/m}^2 = 0.167 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carga}_{\text{Pañete de barro} + \text{Pañete de cal}} = 0.196 \text{ kN/m}^2 + 0.167 \text{ kN/m}^2 = 0.363 \text{ kN/m}^2$$

$$0.363 \text{ kN/m}^2 < 0.80 \text{ kN/m}^2 (\text{Tabla B 3.4.1 - 1})$$

$$\text{Carga}_{\text{Pañete de barro} + \text{Pañete de cal}} = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

### Cielo raso

$$\text{Carga}_{\text{Cielo raso}} = 0.025 \text{ kN/m}^2 + 0.216 \text{ kN/m}^2 + 0.1 \text{ kN/m}^2 + 0.80 \text{ kN/m}^2 = 1.141 \text{ kN/m}^2$$

Con el fin de evaluar las **cargas del entrepiso** de la Casa Zarama, se calcularon los forjados dependiendo a su localización, materialidad y ocupación.

### Entablado

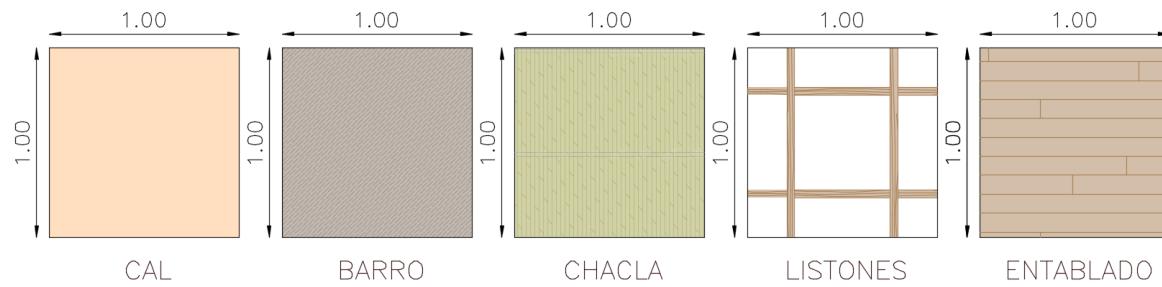


Figura 40 Cuantificación de material por metro cuadrado del entre piso – Entablado, detalle del autor.

Entre piso	
Cargas muertas	
Entablado	kN/m <sup>2</sup>
Pañete de barro + cal	0,800
Chacla	0,100
Liston	0,031
Entablado	0,150
	1,081
Cargas vivas	
Ocupación	kN/m <sup>2</sup>
Corredores y escaleras	3,00
Oficinas	2,00
Restaurante	5,00

Tabla 19 Carga entre piso – Entablado, autor.

## Memoria

Pañete de barro + cal

$$Carga_{Pañete\ de\ barro\ +\ Pañete\ de\ cal} = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

Chacla

$$Peso = 0.02m \cdot 510 \text{ kg/m}^3 = 10.2 \text{ kg/m}^2$$

$$Carga_{Chacla} = 10.2 \text{ kg/m}^2 = 0.1 \text{ kN/m}^2$$

Listones

$$Peso = 0.04 m \cdot 0.04 m \cdot 500 \text{ kg/m}^3 = 0.8 \text{ kg/m}$$

$$Rendimiento = 4 \text{ m/m}^2$$

$$Carga_{Listones} = 0.8 \text{ kg/m} \cdot 4 \text{ m/m}^2 = 3.2 \text{ kg/m}^2 = 0.031 \text{ kN/m}^2$$

Entablado

$$Peso = 0.02 m \cdot 500 \text{ kg/m}^3 = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$Carga_{Entablado} = 10 \text{ kg/m}^2 = 0.098 \text{ kN/m}^2$$

$$0.098 \text{ kN/m}^2 < 0.15 \text{ kN/m}^2 \text{ (Tabla B 3.4.1 – 3)}$$

$$Carga_{Entablado} = 0.15 \text{ kN/m}^2$$

### Entre piso - Entablado

$$Carga_{Entre\ piso-Entablado} = 0.80 \text{ kN/m}^2 + 0.1 \text{ kN/m}^2 + 0.031 \text{ kN/m}^2 + 0.15 \text{ kN/m}^2 = 1.081 \text{ kN/m}^2$$

### Baldosa

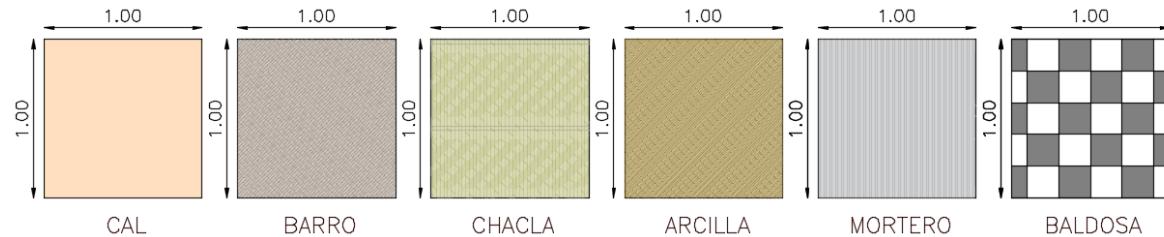


Figura 41 Cantidad de material por metro cuadrado del entre piso – Baldosa, detalles del autor.

Entre piso	
Cargas muertas	
Baldosa	kN/m <sup>2</sup>
Pañete de barro + cal	0,800
Chacla	0,100
Lecho arcilloso	0,216
Baldosa + mortero	0,800
	1,916
Cargas vivas	
Ocupación	kN/m <sup>2</sup>
Oficinas	2,00
Restaurante	5,00

Tabla 20 Carga entre piso – Baldosa, autor.

### Memoria

Pañete de barro + cal

$$Carga_{Pañete\ de\ barro + Pañete\ de\ cal} = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

Chacla

$$Peso = 0.02m \cdot 510 \text{ kg/m}^3 = 10.2 \text{ kg/m}^2$$

$$Carga_{Chacla} = 10.2 \text{ kg/m}^2 = 0.1 \text{ kN/m}^2$$

*Baldosa + Mortero*

$$Carga_{Baldosa+Mortero} = 0.80 \text{ kN/m}^2 \text{ (Tabla B 3.4.1 - 3)}$$

$$Carga_{Entablado} = 0.15 \text{ kN/m}^2$$

*Entre piso - Entablado*

$$Carga_{Entre\ piso-Baldosa} = 0.80 \text{ kN/m}^2 + 0.1 \text{ kN/m}^2 + 0.216 \text{ kN/m}^2 + 0.15 \text{ kN/m}^2 = 1.916 \text{ kN/m}^2$$

Se toman las **reacciones** producidas por las cargas del tejado y la armadura de la cubierta, convirtiéndolas en cargas puntuales en los puntos donde estos elementos se apoyan en la vigas, canes, tirantes y pilares de adobe (Figura 245, 279).

Reacciones de armaduras de cubierta. Carga muerta			
Apoyo	Reacciones		
	Rx kN	Rz kN	My mkN
1	-0,542	0,841	0,198
2	0,374	1,397	-0,061
3	-0,706	0,724	0,020
4	0,000	3,193	0,000

Reacciones de armaduras de cubierta. Carga viva			
Apoyo	Reacciones		
	Rx kN	Rz kN	My mkN
1	-0,351	0,522	0,121
2	0,226	0,834	-0,037
3	-0,333	0,309	0,003
4	0,000	1,567	0,000

Tabla 21 Reacciones armadura cubierta, Pasillo - salón – pasillo, autor.

Reacciones de armaduras de cubierta. Carga muerta			
Apoyo	Reacciones		
	Rx kN	Rz kN	My mkN
1	-0,169	0,583	0,075
2	-0,476	0,515	0,010
3	0,511	2,590	-0,067
4	0,868	0,921	-0,046
5	-0,372	1,399	0,063
6	0,000	0,000	-0,198

Reacciones de armaduras de cubierta. Carga viva			
Apoyo	Reacciones		
	Rx kN	Rz kN	My mkN
1	-0,098	0,354	0,046
2	-0,214	0,200	-0,012
3	-0,296	1,233	-0,039
4	0,434	0,429	-0,018
5	-0,224	0,835	0,038
6	0,402	0,544	-0,121

Tabla 22 Reacciones armadura cubierta, Pasillo - salón – fachada, autor.

Reacciones de armaduras de cubierta. Carga muerta			
Apoyo	Reacciones		
	Rx kN	Rz kN	My mkN
1	-1,542	1,706	0,071
2	1,003	0,717	0,055
3	-0,149	1,228	-0,014
4	0,588	0,922	-0,254

Reacciones de armaduras de cubierta. Carga viva			
Apoyo	Reacciones		
	Rx kN	Rz kN	My mkN
1	-0,868	0,859	-0,005
2	0,597	0,431	0,033
3	-0,088	0,736	-0,008
4	-0,360	0,563	-0,155

Tabla 23 Reacciones armadura cubierta, Pasillo - salón – culata, autor.

Se modela la **escalera** como una malla de 20 cm de espesor, asignándole los apoyos en los nodos correspondientes (Figura 246, 280). Así se convierten las reacciones en una carga distribuida linealmente sobre la viga en donde se apoya el extremo superior de la escalera (Figura 247, 280).

Reacciones de escalera. Carga muerta	
Apoyo	Reacción
	Rz kN
1	0,791
2	2,076
3	1,201
Promedio	1,356

Reacciones de escalera. Carga viva	
Apoyo	Reacción
	Rz kN
1	2,374
2	6,229
3	3,602
Promedio	4,068

Tabla 24 Reacciones apoyo superior de la escalera, autor.

## Memoria

Carga distribuida

$$\text{Carga distribuida} = \frac{\text{Reacciones} \cdot \text{Nº Apoyos}}{\text{Ancho}_{\text{Escaleras}}}$$

$$\text{Número de apoyos} = 3$$

$$\text{Ancho}_{\text{Escaleras}} = 1.22 \text{ m}$$

$$\text{Promedio Reacciones}_{\text{Escalera carga mueta}} = 1.356 \text{ kN}$$

$$\text{Carga distribuida}_{\text{Escalera carga mueta}} = \frac{1.356 \text{ kN} \cdot 3}{1.22 \text{ m}} = 3.33 \text{ kN/m}$$

$$\text{Promedio Reacciones}_{\text{Escalera carga viva}} = 4.068 \text{ kN}$$

$$\text{Carga distribuida}_{\text{Escalera carga viva}} = \frac{4.068 \text{ kN} \cdot 3}{1.22 \text{ m}} = 10.004 \text{ kN/m}$$

Se plantearon las siguientes **combinaciones de carga** con el objetivo de evaluar el comportamiento de la estructura ante las cargas de servicio y sísmicas. Para ello se tomaron 4 combinaciones, las cuales consideran las acciones gravitacionales con y sin mayorar; y las acciones sísmicas en dirección X y Y.

Combinaciones de carga				
Combinación	Muerta	Viva	Sismo X	Sismo Y
Combo 1	1,00	1,00		
Combo 2	1,40	1,70		
Combo 3	1,05	1,28	1,00	
Combo 4	1,05	1,28		1,00

Tabla 25 Combinaciones de cargas.

## 9.5 Vulnerabilidad sísmica

Los sismos son fenómenos naturales imprevisibles y aleatorios. Su comportamiento es calculado mediante métodos de probabilidad y estadística; y su acción es definida por la NSR-10 por medio de espectros de respuesta de las edificaciones, ante el movimiento del terreno causado por temblores.

Para la estimación de los coeficientes de aceleración y velocidad horizontal, se tendrán en cuenta los valores y parámetros establecidos por el Título A. Se tomará  $A_e$  (coeficiente de aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada) en lugar de  $A_a$  y  $A_v$  como lo indica el Título A.10.3.2; esto debido a que se considerará la Casa Zarama como bien de carácter patrimonial.

La ubicación de la Ciudad de Pasto es considerada en alto riesgo sísmico, y sus valores de  $A_a$  y  $A_v$  son de 0.25 (Tabla 48, 293) y el de  $A_e$  es 0.15 (Tabla 51, 294).

Para obtener los valores de los coeficientes de amplificación que afectan la aceleración en períodos cortos e intermedios, se interpolan los valores de  $F_a$  y  $F_v$ , con base  $A_e$  y al tipo de perfil de suelo (Tabla 52, 294 - Tabla 53, 295).

Interpolación para calcular el valor  $F_a$  y  $F_v$ .

$$F_a = F_{a1} + \left| \frac{\Delta F}{\Delta A} \right| \cdot |A_{a1} - A_e|$$

$$F_a = 0.1 + \left| \frac{1.6 - 1.4}{0.2 - 0.1} \right| \cdot |0.1 - 0.15| = 1.5$$

$$F_v = 0.1 + \left| \frac{2.0 - 2.4}{0.2 - 0.1} \right| \cdot |0.1 - 0.15| = 2.2$$

Debido al **uso** con el cual fue dotada la Casa Zarama, se clasificará según el Título A.2.5.1 – Grupos de uso, como Grupo de uso II (edificación de uso especial), por lo tanto su coeficiente de importancia I es de 1.1 (Tabla 46, 292).

Esto se debe a:

- La edificación es de propiedad privada,
- no estaría destinada a servir a la comunidad en caso de emergencia,
- no presta ningún servicio indispensable para la sociedad,
- no alberga masivamente gente en sus instalaciones,
- tiene más de 500 m<sup>2</sup> por cada planta destinada a uso comercial,
- y se basa en la hipótesis que los dueños del bien están interesados en realizar un mejoramiento estructural.

Dado a que la estructura muraría de la tapia pisada se asemeja a un sistema de bloques gigantes de tierra sin reforzar, el valor del coeficiente de **dissipación de energía** R' será igual a 1 (Tabla 47, 292); por lo que este

sistema nunca pasará del rango inelástico, debido a la ductilidad del material. Cabe mencionar que existe un cierto grado de disipación de energía en estas edificaciones, lo cual hace necesario estudiar el valor de  $R'$ , siendo algo que se debe tener en cuenta en futuras investigaciones de la NSR.

El **espectro de diseño** está definido según la NSR-10 por las siguientes ecuaciones. Este simula las aceleraciones a las que se va a ver sometida la estructura en función del tiempo o el modo de vibración de la construcción.

$$S_a = 2.5 \cdot A_a \cdot F_a \cdot I$$

*Ecuación 6 Valores espectro para períodos cortos. FUENTE: Ecuacion A.2.6-3.*

$$S_a = \frac{1.2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot I}{T}$$

*Ecuación 7 Valores espectro para períodos intermedios. FUENTE: Ecuacion A.2.6-5.*

$$T_0 = 0.1 \cdot \frac{A_v \cdot F_v}{A_a \cdot F_a}$$

*Ecuación 8 Período inicial. FUENTE: Ecuacion A.2.6-6.*

$$T_0 = 0.1 \cdot \frac{0.15 \cdot 2.2}{0.15 \cdot 1.5} = 0.147 \text{ s}$$

$$T_c = 0.48 \cdot \frac{A_v \cdot F_v}{A_a \cdot F_a}$$

*Ecuación 9 Período corto. FUENTE: Ecuacion A.2.6-2.*

$$T_c = 0.48 \cdot \frac{0.15 \cdot 2.2}{0.15 \cdot 1.5} = 0.704 \text{ s}$$

$$T_L = 2.4 \cdot F_v$$

*Ecuación 10 Período largo. FUENTE: Ecuacion A.2.6-4.*

$$T_L = 2.4 \cdot 2.2 = 5.28 \text{ s}$$

Donde:

$$S_a = \text{Aceleración del espectro } [L/T^2]$$

$$T = \text{Período vibración } [T]$$

$$A_a = \text{Coeficiente aceleración horizontal}$$

$$A_v = \text{Coeficiente velocidad horizontal}$$

$$F_a = \text{Coeficiente amplificación para } T_c$$

$$F_v = \text{Coeficiente amplificación para } T_l$$

$$T_0 = \text{Período de vibración inicial } [T]$$

$$T_c = \text{Periodo de vibración corto } [T]$$

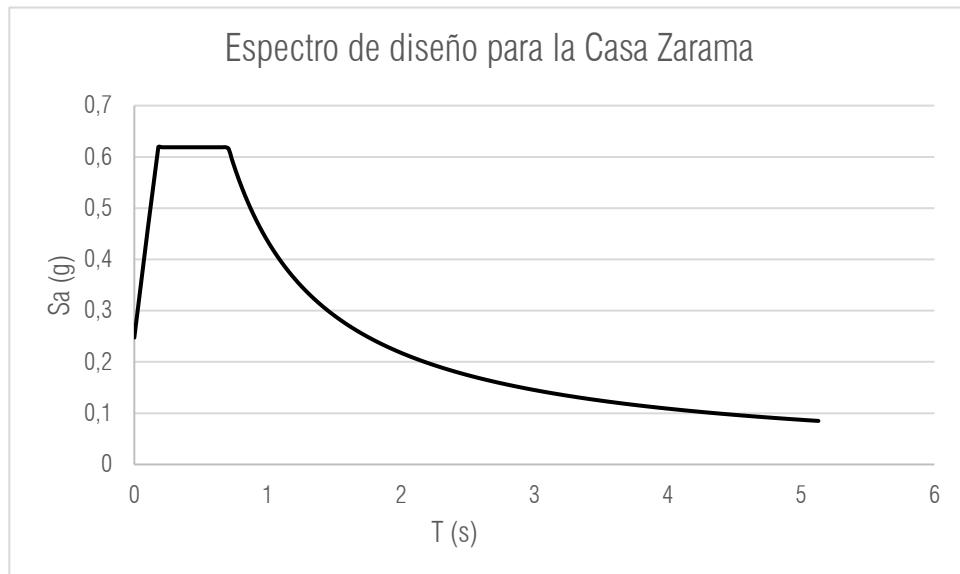
$$T_L = \text{Periodo de vibración largo } [T]$$

Se elabora la Tabla 26 a manera de resumen para los valores de los parámetros sísmicos correspondientes a las características de la Casa Zarama según la NSR-10.

Parámetros sísmicos		
Parámetro	Valor	Referencia
Grupo de uso	II	Título A.2.5.1
Coef de importancia	1,10	Tabla A.2.5-1
Perfil del suelo	D	Título A.2.4.4 Fuertes Torres, 2014
Aa	0,25	Tabla A.2.3-2
Av	0,25	Tabla A.2.3-2
Ae	0,15	Tabla A.10.3-2
Fa	1,50	Tabla A.2.4-3
Fv	2,20	Tabla A.2.4-4
T <sub>0</sub>	0,147	Ecuación A.2.6-6
T <sub>c</sub>	0,704	Ecuación A.2.6-2
T <sub>L</sub>	5,28	Ecuación A.2.6-4

Tabla 26 Parámetros sísmicos de la Casa Zarama.

Según las ecuaciones y los valores expuestos anteriormente, se elabora la gráfica del espectro de diseño Aceleración Vs Tiempo.



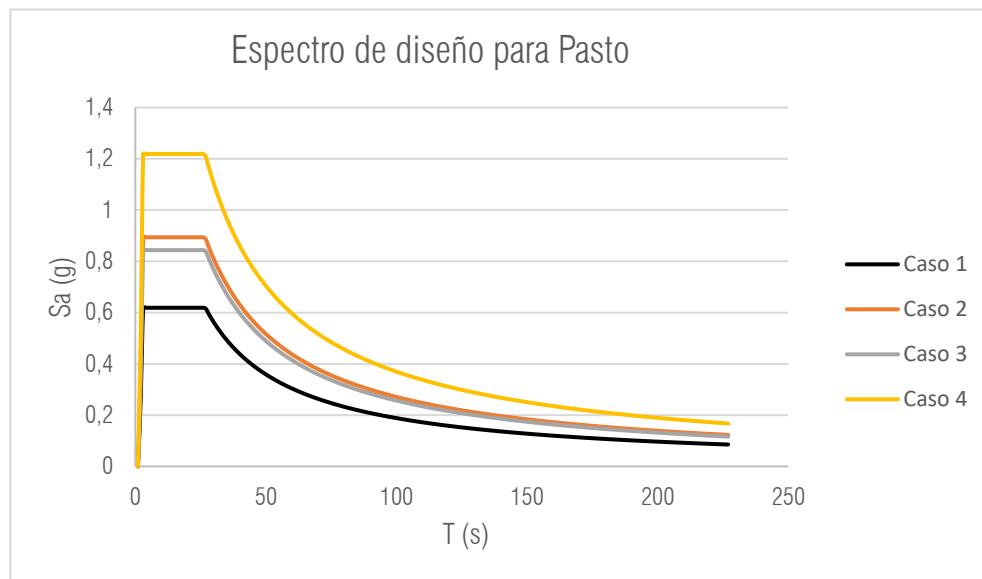
La Gráfica 1 representa la aceleración en función de la frecuencia sobre cualquier punto de la estructura en respuesta a un terremoto para la ciudad de Pasto; El espectro presenta una aceleración de cálculo de 0.23g y máxima de 0.62g para tiempos menores a 0.704 segundos.

De modo de ejercicio se evalúan diferentes espectros de diseño, variando los parámetros sísmicos de los coeficientes  $I$ ,  $A_v$ ,  $A_a$ ,  $F_v$ ,  $F_a$ . Esto con el fin de realizar un análisis grafico para los casos que se catalogue la construcción patrimonial como *edificación indispensable* debido a su valor cultural, grupo IV; y que contemplen los valores de aceleración y velocidad horizontal sin las reducciones para diseños de seguridad limitada.

- El caso 1 corresponde al espectro de diseño para la Casa Zarama.
- El caso 1 y 2 consideran el bien como edificación de uso especial.
- El caso 3 y 4 consideran el bien como edificación indispensable.
- El caso 1 y 3 toman los valores de aceleración y velocidad horizontal con reducción.
- El caso 2 y 4 toman los valores de aceleración y velocidad horizontal sin reducción.

Parámetros sísmicos				
Parámetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Grupo de uso	II	II	IV	IV
Coef de importancia	1,10	1,10	1,50	1,50
Perfil del suelo	D	D	D	D
$A_a$		0,25		0,25
$A_v$		0,25		0,25
$A_e$	0,15		0,15	
$F_a$	1,50	1,30	1,50	1,30
$F_v$	2,20	1,90	2,20	1,90
$T_o$	0,147	0,146	0,147	0,146
$T_c$	0,704	0,702	0,704	0,702
$T_L$	5,28	4,56	5,28	4,56

Tabla 27 Parámetros sísmicos para Caso 1-2-3-4.



En la Gráfica 2 se aprecia que el caso que presenta menores aceleraciones es el correspondiente al de la Casa Zarama; Además, se observa que el caso 2 y 3 tienden a comportarse de forma similar; y que el caso 4 tiene las mayores aceleraciones, siendo el doble de los valores para el caso 1.

Por lo que se puede concluir que, el espectro de diseño para una edificación existente de uso *especial* se asemeja al de una considerada patrimonial de uso *prioritario*; y que las edificaciones de índole patrimonial según la NSR-10, son evaluadas con espectros de aceleraciones con valores de Sa de la mitad con respecto al de un edificio de uso prioritario en la ciudad de Pasto.

Además, una edificación patrimonial en Pasto podrá ser diseñada con el mismo espectro, que una estructura nueva (Grupo I), ubicada en zona de intensidad sísmica intermedia (Medellín, Santa Marta o San Andrés).

Para evaluar el **comportamiento sísmico** de la Casa Zarama se utilizarán dos métodos de análisis.

- Análisis Pushover.
- Análisis dinámico no lineal en el tiempo.

Para el **análisis Pushover** se aplicará primeramente las cargas gravitatorias de la estructura (Cargas vivas y muerta), para luego proceder a introducir las cargas laterales (Sísmicas), las cuales irán incrementándose hasta lograr la capacidad máxima de la construcción.

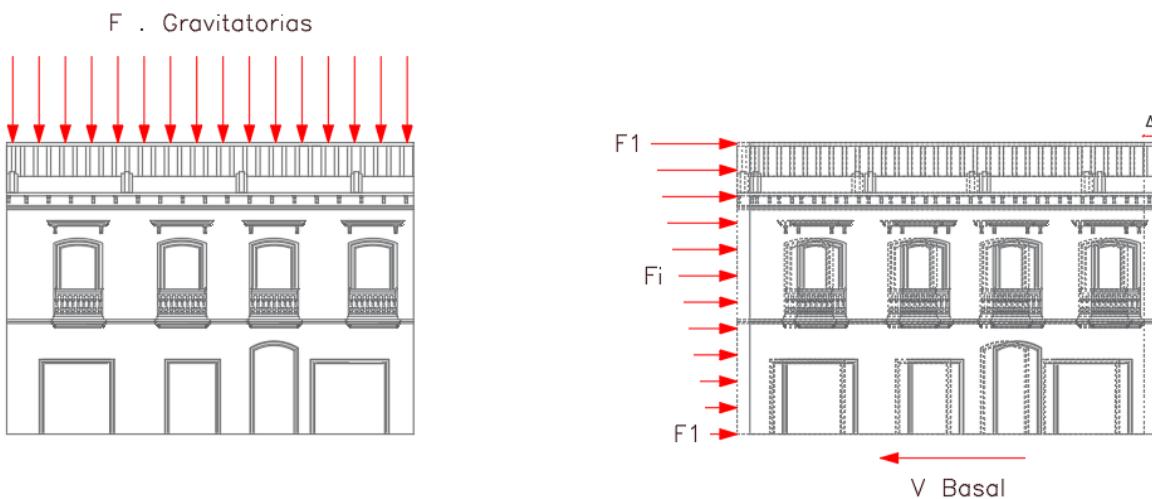


Figura 42 Pasos de carga para análisis Pushover.

El comportamiento estructural ante cargas sísmicas se representa a través de la curva de capacidad, la cual es la gráfica del cortante basal Vs los desplazamientos de la edificación en un punto de la cubierta. Para lograr obtener un gráfico de la curva de capacidad con la de demanda se necesita transformarlas en un formato homogéneo llamado ADRS<sup>93</sup>. Esto con el fin de hallar el punto de desempeño<sup>94</sup> de la estructura, el cual indica el comportamiento esperado ante las cargas sísmicas dado por el espectro de diseño.

<sup>93</sup> Espectro de respuesta Aceleración-Desplazamiento.

<sup>94</sup> También llamado “performance point”.

Esta Gráfica representa dos puntos importantes del comportamiento estructural. La **capacidad de cedencia**  $D_y$  indica el punto en el cual la estructura termina su comportamiento lineal; y la **capacidad última**  $D_u$  representa el punto de colapso de la edificación.

Estos puntos definirán los límites de los umbrales de daño de la estructura y dependiendo de la ubicación del punto de desempeño en la curva indicara el estado del bien.

Clasificación umbral de daño	
Umbral de daño	Definición
Leve	$Sd_1 = 0,7 D_y$
Moderado	$Sd_2 = D_y$
Severo	$Sd_3 = D_y + 0,25 (D_u - D_y)$
Completo	$Sd_4 = D_u$

Tabla 28 Clasificación umbral de daño (RISK-EU).

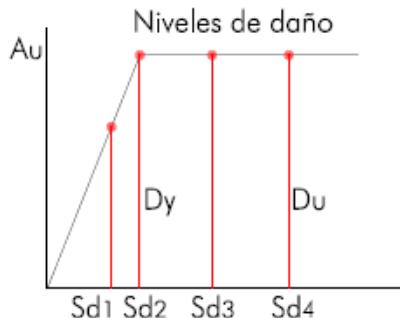


Tabla 29 Umbrales de los estados de daño (Llopis Pulido, 2014).

El **análisis no lineal en el tiempo** es la simulación de la edificación ante los movimientos del terreno generados por acelerogramas a través del tiempo. Este análisis numérico conlleva cálculos avanzados en ecuaciones diferenciales e integraciones numéricas (Llopis Pulido, 2014).

Con el fin de realizar este análisis se evaluó los eventos sísmicos históricos ocurridos en las regiones aledañas a la ciudad de Pasto (Tabla 61, 298), de esta forma disponer de un acelerograma significativo de la zona.

Como lo señala (Acevedo, 2012) el número de acelerogramas en la base de datos registrados por la RNAC<sup>95</sup>, no son suficientemente amplio para abarcar todos los parámetros sísmicos de diseño que correspondan a un caso en específico. Por tal motivo se generaron acelerogramas artificiales con el programa SIMQKE\_GR, los cuales se adaptaban a las características sísmicas de la región y al espectro de diseño.

<sup>95</sup> Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia.

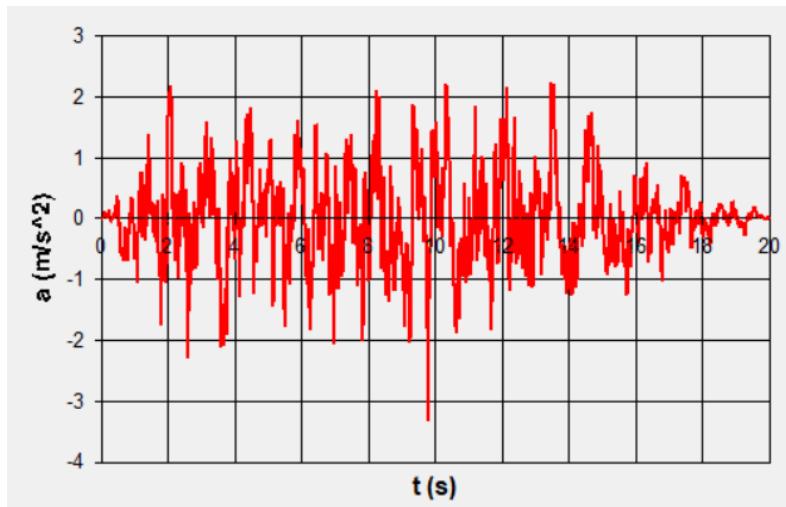


Figura 43 Acelerogramas artificial compatible con el espectro de diseño para la Casa Zarama.

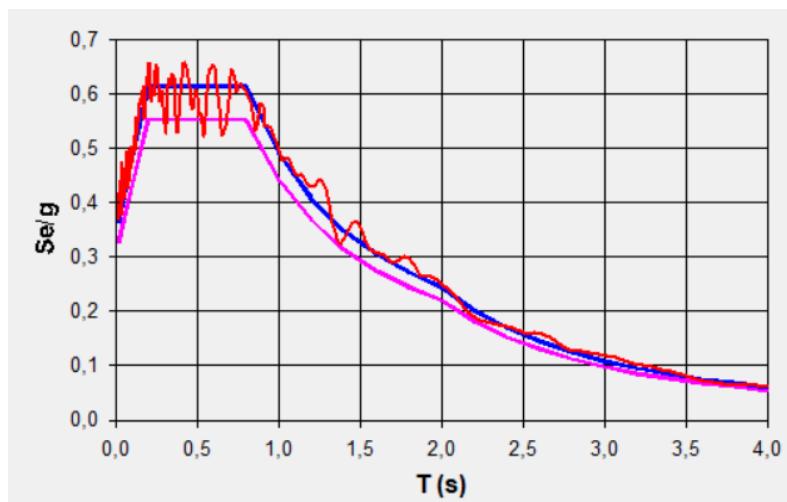


Figura 44 Espectro de respuesta del acelerograma artificial y diseño para la Casa Zarama.

## 9.6 Modelo

Esta investigación busca mediante el uso de software especializado, crear el modelo en 3D de la estructura a estudiar (estado actual), con el fin de entender mejor su comportamiento ante cargas gravitatoria y sísmicas. Cabe aclarar que estos modelos son hipótesis del posible comportamiento ante un evento, y que el real comportamiento de la estructura puede diferir respecto al calculado. Esto debido a la infinidad de variables que no se tomaron en cuenta (perdida de verticalidad de muros, fisuras existentes, calidades materiales, etc.); sumados a la dificultad de establecer con exactitud los valores de las propiedades mecánicas de los materiales.

Entre las variables que no se tuvieron en cuenta se quiere resaltar el papel fundamental de las estructuras que limitan con el inmueble, cuyos muros sirven de elementos de arriostramiento estructural, lo cual ayuda a mejorar su respuesta ante distintos esfuerzos (Casa episcopal); O por lo contrario puede afectar la estabilidad, si las placas de entrepiso la edificación continua cae medio de un muro, lo cual ejercerá esfuerzos que perjudicarían su estabilidad (Hotel Zorocan).

Para un análisis más estricto a nivel estructural se deberá tomar la construcción como parte de un conjunto estructural más amplio y no un elemento individual (Martínez Delgado, 2016). En esta investigación se intentó ingresar a las edificaciones vecinas para realizar el levantamiento geométrico insitu de los muros limítrofes con la Casa Zarama, pero se nos fue negada la entrada.

Una vez se analiza la materialidad, geometría, sistema constructivo y las cargas de la Casa Zarama se procede a realizar el modelo estructural en AutoCAD para posteriormente ser procesado en ANGLE.

Se dibujan los ejes de la estructura, teniendo en cuenta los muros de tapia, vigas y columnas de madera (Figura 237, 275). Posteriormente se dibujan los elementos estructurales divididos en capas, para asignar las propiedades de cada uno en el software sección y material. Modelando las vigas como barras y muros como malla (Figura 238, 276).

Debido a que las uniones entre las vigas y los muros de tapia no son empotramientos perfectos, se “liberan” los momentos en los extremos de las barras (Siendo: 1 empotrado y 0 libre). Las uniones entre elementos de madera se le asigna un multiplicador del 0.4; en el primer nivel, el empotramiento entre viga y muro de tapia fue de 0.9 y en el segundo nivel es 0.6 (Figura 239, 276), esto a que se consideró un mayor grado de empotramiento en las vigas del entrepiso de la segunda planta que en las de la cubierta.

Se crean los vanos de los muros, simulando los dinteles como vigas de maderas de espesor del muro y canto de 15 cm (SOLIDOS).

Una vez se tienen el esqueleto de la estructura, asegurándose de que todos los nodos de las mallas y vigas converjan, evitando cortes en el mallado (Figura 241, 277), logrando coincidir vigas y cruces de muros. Se procede a asignar los apoyos empotrados de la estructura (Figura 242, 278).

Con la malla conectada a las vigas, mediante la unión de los nodos, se convierte el mallado a sólidos. El sólido que compone cada sección del muro está compuesto por dos caras, esto con el fin de analizar los esfuerzos en ambos lados del muro (Figura 243, 278).

Se modela las superficies que distribuirá las cargas superficiales de forma unidireccional a las vigas, simulando la repartición de cargas que tiene este tipo de forjado (Figura 244, 279). Sobre estas superficies se asignan las cargas (vivas – muertas) por metro cuadrado calculadas en el anterior capítulo, las cuales variaran dependiendo al uso y la materialización de cada zona del inmueble.

Una vez se conocen las reacciones producidas por las cargas del tejado y armadura de la cubierta (Tabla 21, 113 -Tabla 23, 114); Se asignan las cargas puntuales en los puntos donde estos elementos se apoyan en la vigas, canes, tirantes y pilares de adobe (Figura 245, 279). Simulando de esta manera el esfuerzo transmitido por la cubierta al resto de la estructura.

Se les otorga las propiedades mecánicas a los elementos que componen el modelo según su materialidad. Este modelo contempla únicamente dos materiales: la tapia y la madera de pino (Figura 249, 281).

Ya teniendo la estructura modelada y asignadas las cargas y propiedades, se procede a procesar los datos en ANGLE con el fin de realizar los análisis pertinentes.

## 9.7 Estructura actual

Se realizará el análisis dinámico de la Casa Zarama, en donde se podrá estudiar el comportamiento de los muros ante distintas condiciones de carga y la influencia de los vanos, espesor, altura y la geometría global de la construcción.

El modelo contempla la geometría actual de la estructura, teniendo únicamente en cuenta la madera y la tapia como materiales para su construcción, las intervenciones realizadas en cualquier otro material no fueron tomados en cuenta, pues no se tuvo información de los posibles refuerzos con columnetas y vigas de hormigón reforzado u otros materiales en los vanos o en otras zonas.

La

Tabla 30, 125 señala los elementos y parámetros de cálculos que fueron necesarios para la modelación de la estructura y su posterior análisis.

Modelo Casa Zarama estado actual	
Parámetro	Valor
Nodos	28352
Barras	1907
Solidos	16530
Hexaedros	16174
Vínculos	1543
Numero de ecuaciones	81516,00

Tabla 30 Parámetros para cálculo del modelo del estado actual de la Casa Zarama.

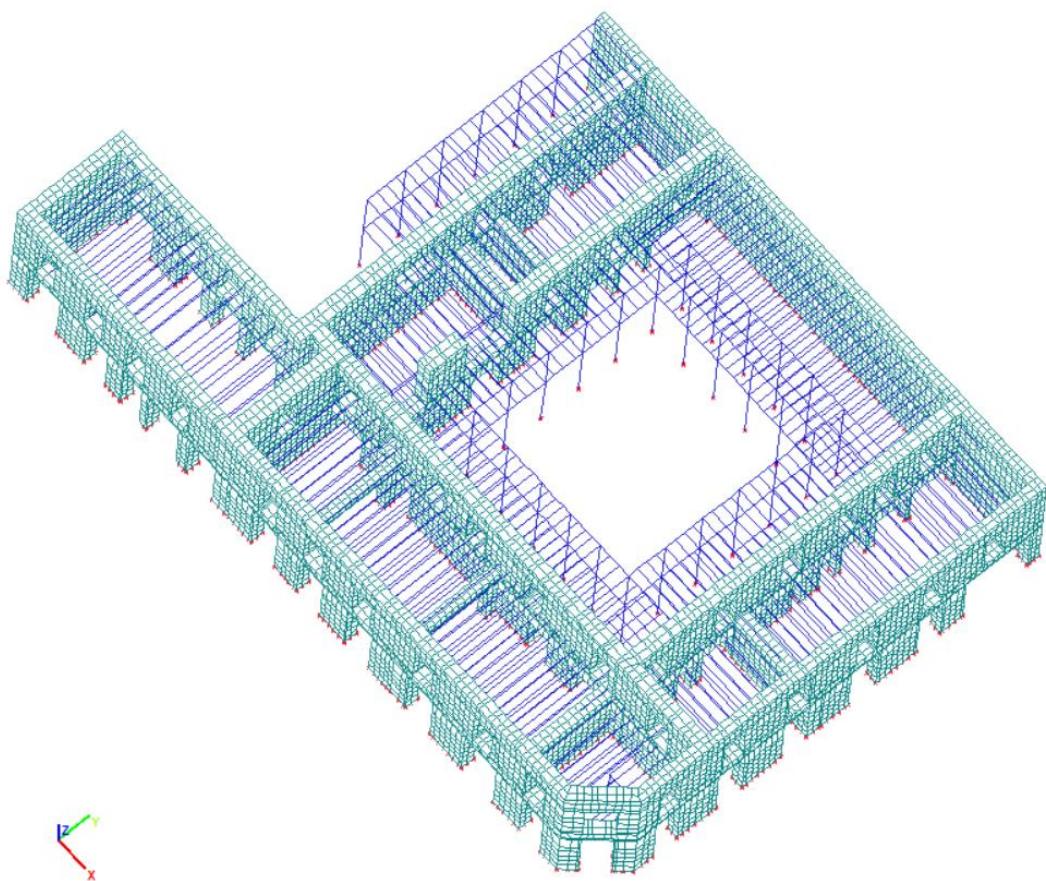


Figura 45 Modelo de la Casa Zarama, estado actual, ANGLE.

Se ejecutaron 10 modos de vibración de la estructura.

Modos vibración Casa Zarama estado actual									
Modo	Frec Ang	Frec (cps)	Periodo (s)	MEX (%)	MEY (%)	MEZ (%)	MTX (%)	MTY (%)	MTZ (%)
1	18,2053	2,8974	0,3451	0,00	13,69	0,00	0,00	13,69	0,00
2	23,3033	3,7088	0,2696	0,34	6,44	0,00	0,34	20,13	0,00
3	24,1554	3,8445	0,2601	0,20	0,20	0,00	20,19	20,33	0,00
4	24,6117	3,9171	0,2553	1,98	5,89	0,00	22,17	26,22	0,00
5	30,7159	4,8886	0,2046	0,11	0,06	0,00	22,29	26,27	0,00
6	33,3249	5,3038	0,1885	0,63	0,08	0,00	22,92	26,36	0,00
7	34,1071	5,4283	0,1842	7,68	0,33	0,00	30,60	26,99	0,00
8	37,6203	5,9875	0,1670	17,68	2,29	0,00	48,28	28,98	0,00
9	38,7745	6,1711	0,1620	4,42	19,30	0,00	52,70	48,28	0,00
10	42,3652	6,7426	0,1483	0,00	2,97	0,00	52,70	51,25	0,00

Tabla 31 Modos de vibración para el modelo de la Casa Zarama estado actual.

Los modos de vibración de la estructura muestran un deficiente amarre en la parte superior de los muros a nivel de la cubierta, causado por la falta de viga de coronación, lo que generara desplazamientos considerables en estos puntos.

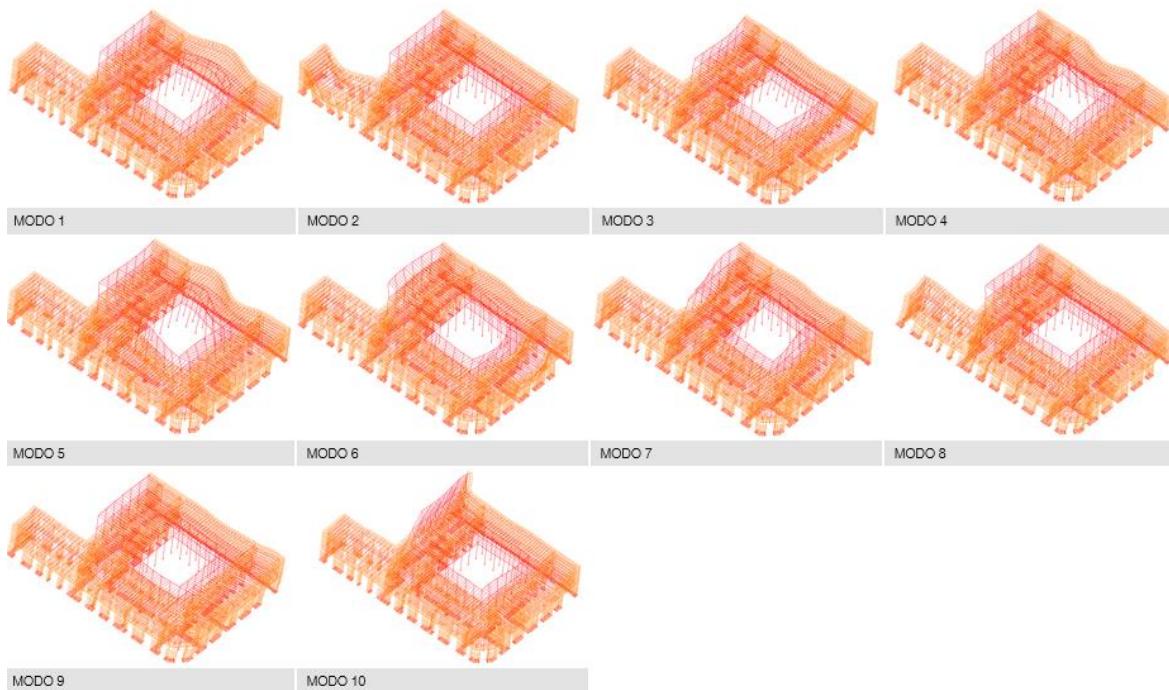
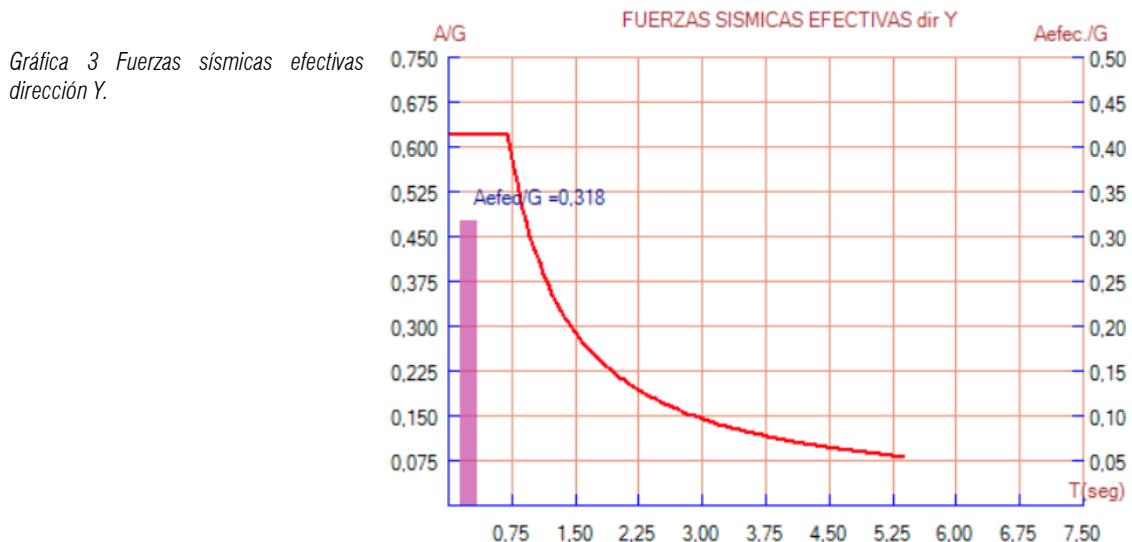


Figura 46 Modos de vibración de la Casa Zarama estado actual.

Como se puede observar en la Gráfica 3, 127 las fuerzas sísmicas efectivas en dirección Y, se ubican en la zona de tiempos cortos del espectro, en donde las aceleraciones son mayores. Esto se debe a la baja ductilidad (rígidas) de este tipo de construcciones; en edificaciones más modernas, de mayor altura y dúctiles (flexibles), las aceleraciones del espectro se encuentran en tiempos largos, por ende, serán menores las aceleraciones.



Se evalúo los índices de daño, esfuerzos y deformaciones de la estructura en el paso 20 de carga. En este paso las cargas gravitatorias están actuando en su totalidad, con un factor de mayoramiento del 1.05 para cargas muertas y 1.28 para cargas vivas.

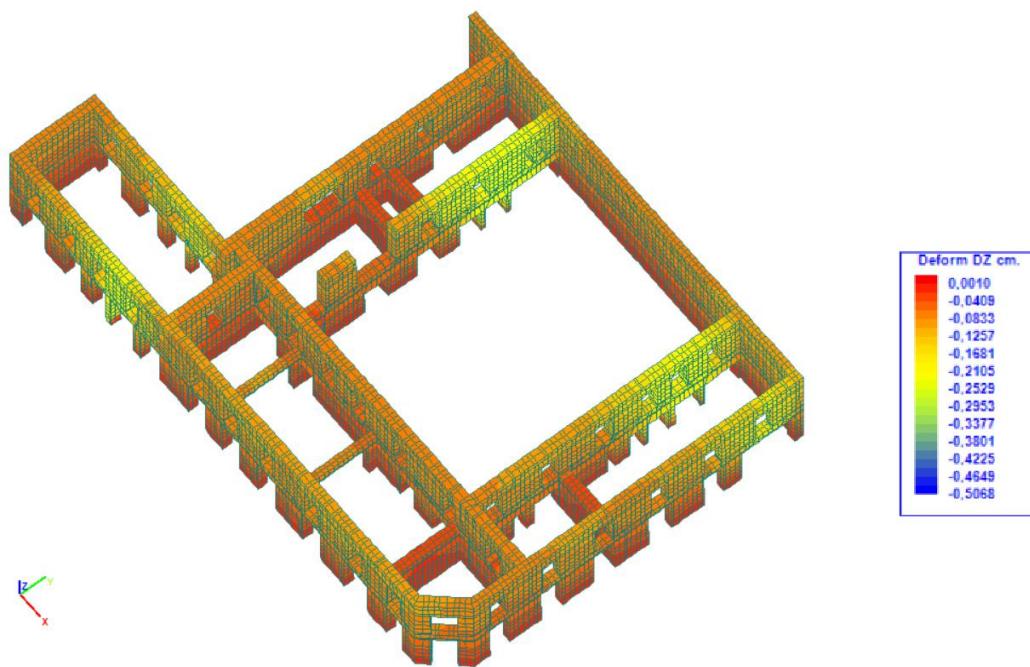


Figura 47 Deformaciones verticales Z debido a cargas gravitatorias.

Se observa que las zonas de mayor deformación en el eje Z, se presenta en los muros donde los vanos del primer piso son más amplios y continuos a una distancia menor de 1 metro. Estas son representadas en los muros de color amarillo con flechas hasta de 0.25 cm.

En los forjados de madera existirán deformaciones considerables en la zona de las escaleras del pasillo interno y del local esquinero.

Se aprecian daños en los encuentros de muros, apoyos de vanos de magnitud considerable, muros cargueros cortos en la primera planta, vanos contiguos a intersecciones, sección superior de muros de la segunda planta donde se descontinuo los muros diafragmas del primer piso (Figura 48, 129).

La Figura 252,283 muestra los esfuerzos admisibles a tracción (0.02 Mpa) y compresión (0.52 Mpa) de los muros de tapia, en donde se parecía la distribución de estos en los ejes X,Y y Z

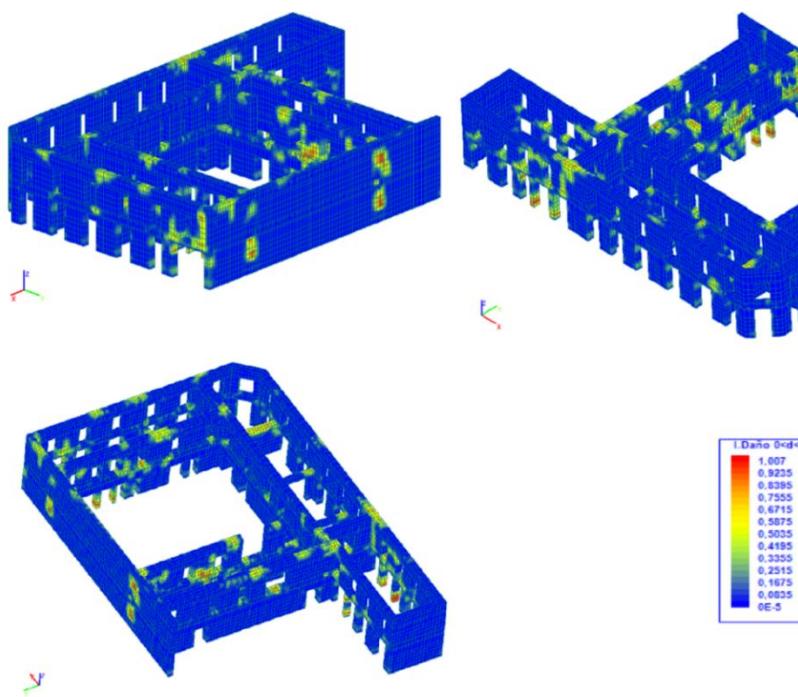
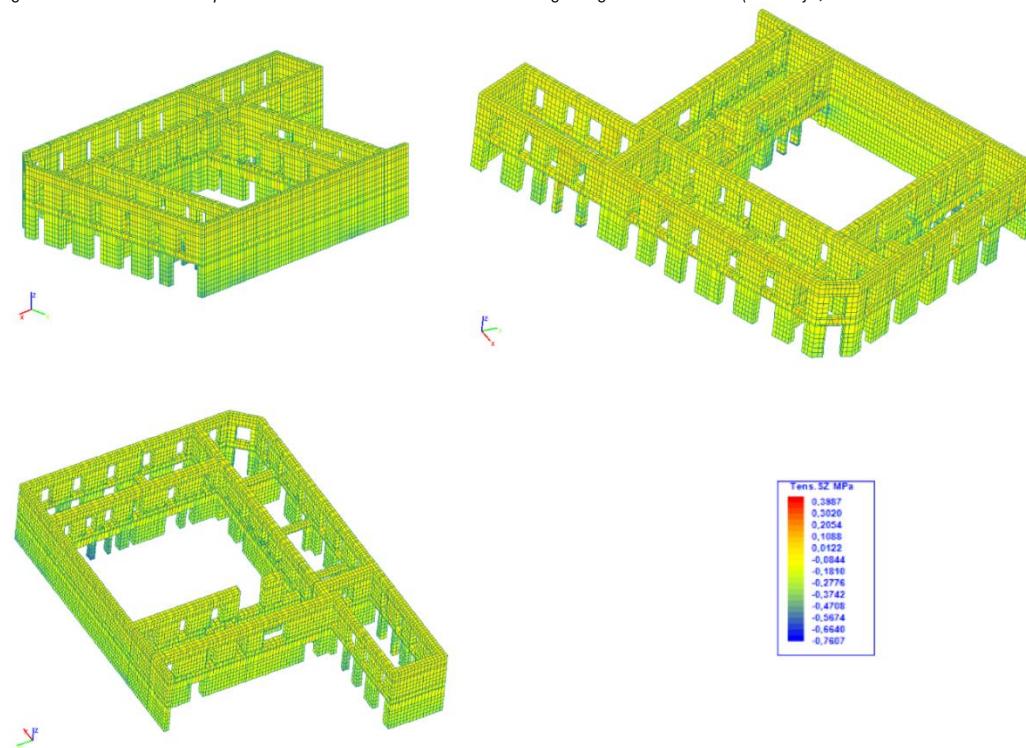


Figura 48 Daño isótropo de la estructura debido a cargas gravitacionales (1. Rojo, Daño total – 0. Azul sin daños).



Gráfica 4 Tensiones en Z bajo cargas gravitatorias.

Analizando la ubicación de las zonas rojas (Daño total) y los esfuerzos de los muros, con respecto a los **vanos y muros del segundo piso**, se observa que:

- Los mayores esfuerzos a tracción estarán en la parte inferior de los vanos, donde se ubican los dinteles, estos lograran soportar estos esfuerzos ya que la madera resiste estos esfuerzos superiores a 0.03 MPa
- En las esquinas inferiores de los vanos del segundo piso, que se ubiquen en los extremos superiores de los vanos largos del primer nivel, surgirán daños que se verán reflejados en fisuras a 45°, que se intersecan con los dinteles de la primera planta.
- La discontinuidad de los vanos del segundo piso con respecto a los de la primera planta, hará de estos puntos vulnerables ante cargas gravitacionales, presentando mayores deformaciones y esfuerzos de tracción lo que generará fisuras en estos puntos, pues serán mayores cargas y luces en las aberturas (unión o ampliación de vanos).
- Los vanos que se encuentran separados a menos de 1.5 m ocasionaran flechas considerables en los muros superiores, deformación lateral en los apoyos (tracción), además de originar esfuerzos a compresión en la base de los apoyos intermedios de orden de 0.6 Mpa.

Tomando la disposición de los **vanos y las intersecciones de muros**, se observa que:

- En los puntos que los vanos sean continuos a muros perpendiculares, se generarán fisuras verticales en la intersección de los muros superiores, en el plano de los vanos.
- Sobre el plano perpendicular a los vanos se originarán deformaciones y esfuerzos a la tracción, en las intersecciones con la sección de muros sobre los vanos, debido a los esfuerzos ocasionados por deformaciones de los muros y su baja área transversal, originarán un efecto de punzonamiento en estos. Reflejados en fisuras verticales en la cara opuesta de los puntos de intersección (tracción).

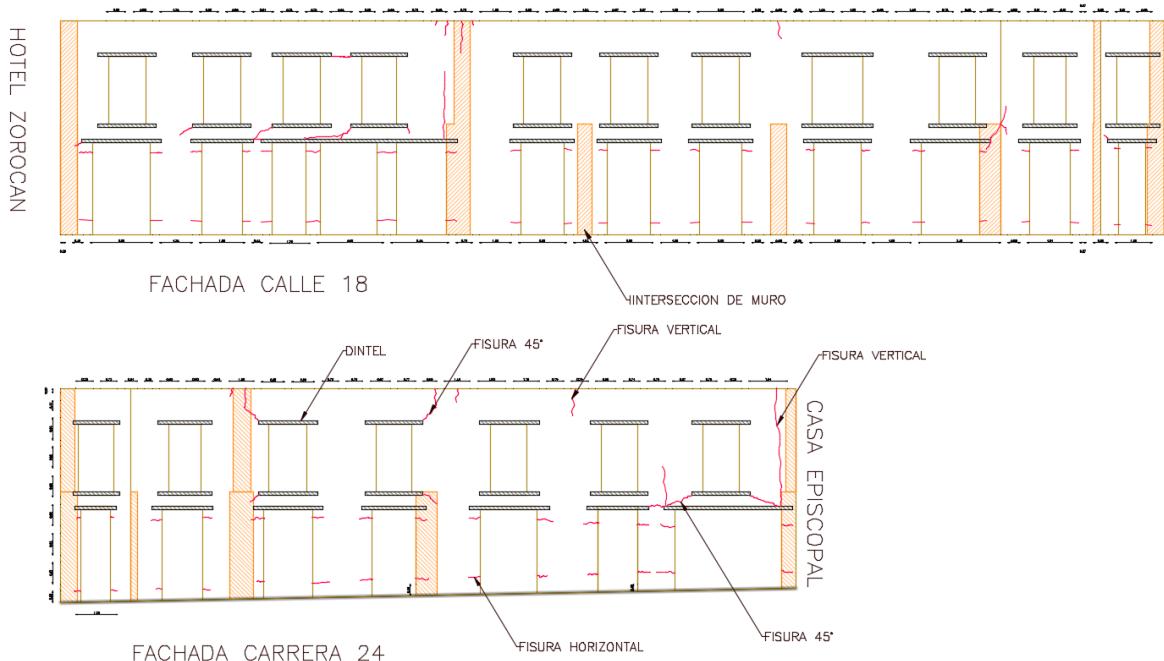


Figura 49 Estimación de aparición de fisuras para cargas gravitacionales, Fachadas Casa Zarama, detalle del autor.

La Figura 50, 131 representa el desplazamiento un punto de la construcción con respecto a los pasos de carga gravitatorias y sísmicas implementado en el método Pushover. En esta se parecía que la estructura se desplaza horizontalmente con cargas gravitacionales, debido a que se encuentra en un punto vulnerable, ubicándose a la altura de la cubierta encima de un vano de gran magnitud, junto a otros continuos y en la intersección de muros.

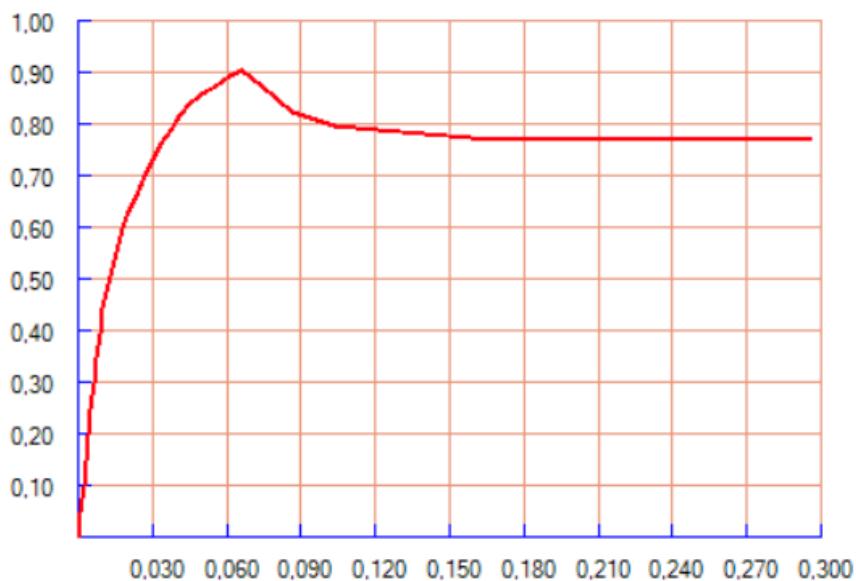


Figura 50 Curva demanda estructural.

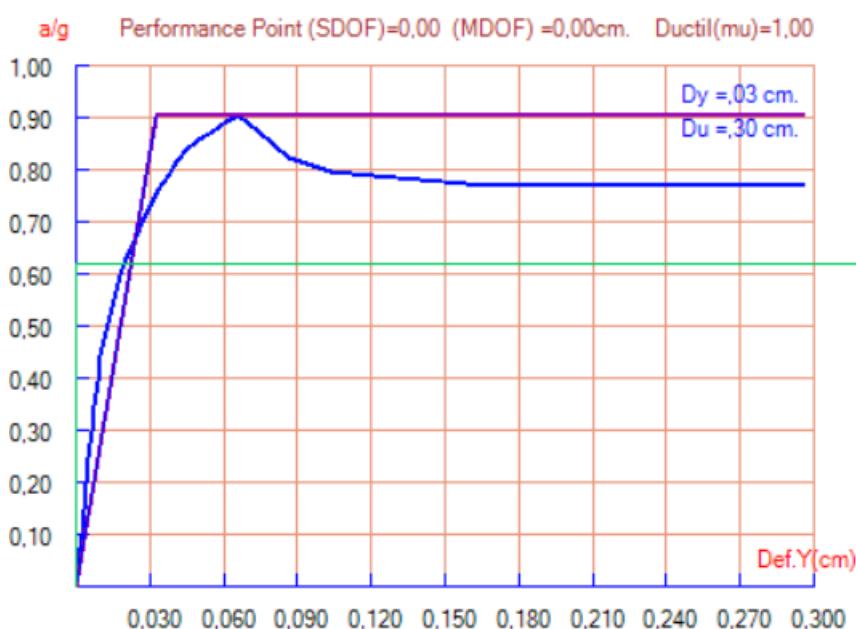


Figura 51 Curva capacidad – Pasos de carga.

La Figura 52, 132 compara la curva de capacidad estructural y la demanda sísmica, según la NSR-10. Esta grafica permitirá evaluar la vulnerabilidad sísmica de la Casa Zarama.

El punto de desempeño estructural gráficamente es la intersección entre el espectro de capacidad con el de demanda, este será de 2.35 cm. Según su ubicación con respecto a la del Dy y Du en la curva de umbral de daño, esta se encuentra en la zona inelástica, entre S3 y S4, lo que significa que la estructura sufrirá daños severos ante un sismo de las características evaluadas.

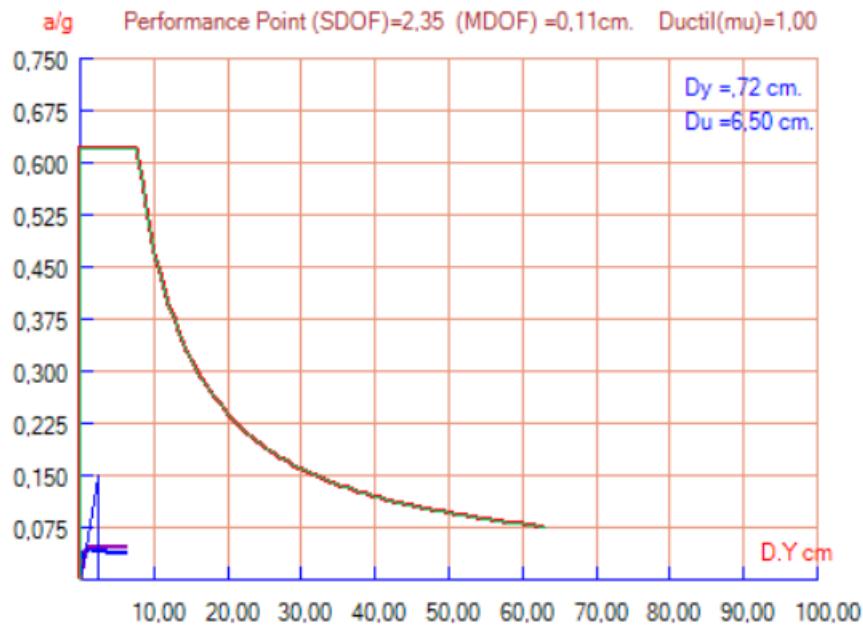


Figura 52 Curva capacidad estructural - demanda sísmica.

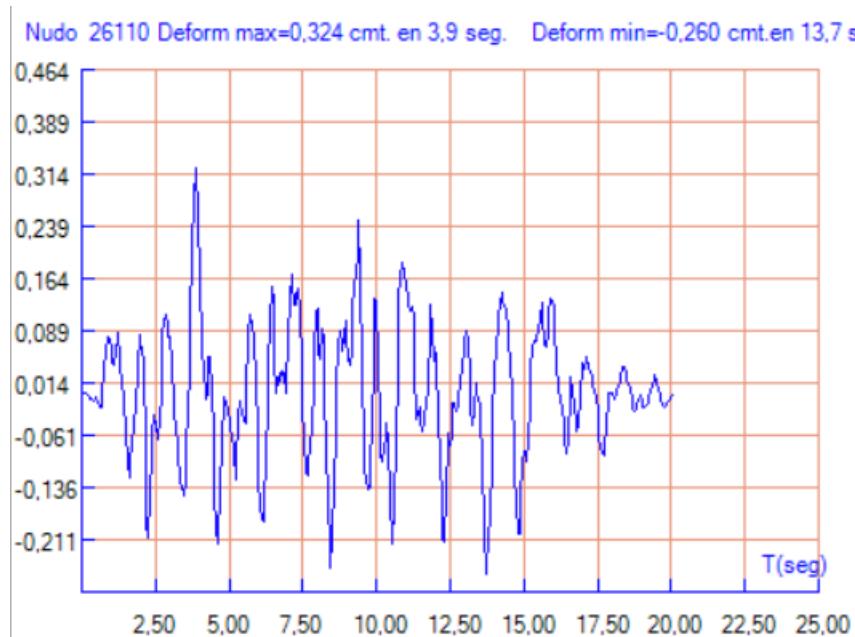


Figura 53 Deformación en Y, no lineal con respecto al tiempo, nodo 26110.

La Figura 53, 132 ilustra los desplazamientos en dirección horizontal con respecto al tiempo, ante un evento sísmico. Donde se observa que el desplazamiento máximo será de 0.324 cm a los 3.9 segundos, y que a los 13.7 segundos la deformación será mínima con 0.26 cm.

El análisis dinámico en el tiempo requiere importantes recursos computacionales, debido a la complejidad de los cálculos a realizar, para este caso el cálculo se demoró 1 hora y 55 minutos.

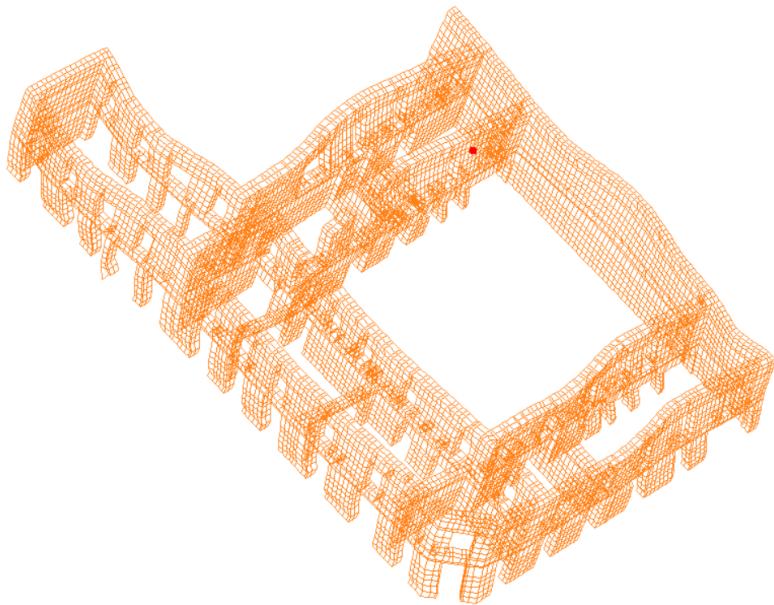


Figura 54 Deformaciones ante cargas sísmicas, ubicación nodo 26110.

Se aprecian mayores deformaciones en los muros con exceso de vanos en las primeras plantas y en aquellos que carecen de arriostramiento perpendicular o muros diafragmas.

Los muros diafragmas que se encuentran en la primera planta (algunos con la presencia de vanos) influyen positivamente en el comportamiento de los muros del segundo piso ante fuerzas sísmicas, estos hacen de elemento arriostrador, minimizando el desplazamiento de los muros.

Analizando el comportamiento de la estructura y la influencia de los muros diafragmas y vanos, se concluye que el exceso de aperturas en los muros hace vulnerables a la estructura en estas zonas.

Por otra parte, el muro continuo a la Casa Episcopal carece de muros perpendiculares a este en su zona central (no se tiene en cuenta la estructura de la casa colindante), por lo que presentará grandes deformaciones y riesgo de colapso ante fuerzas perpendiculares a este.

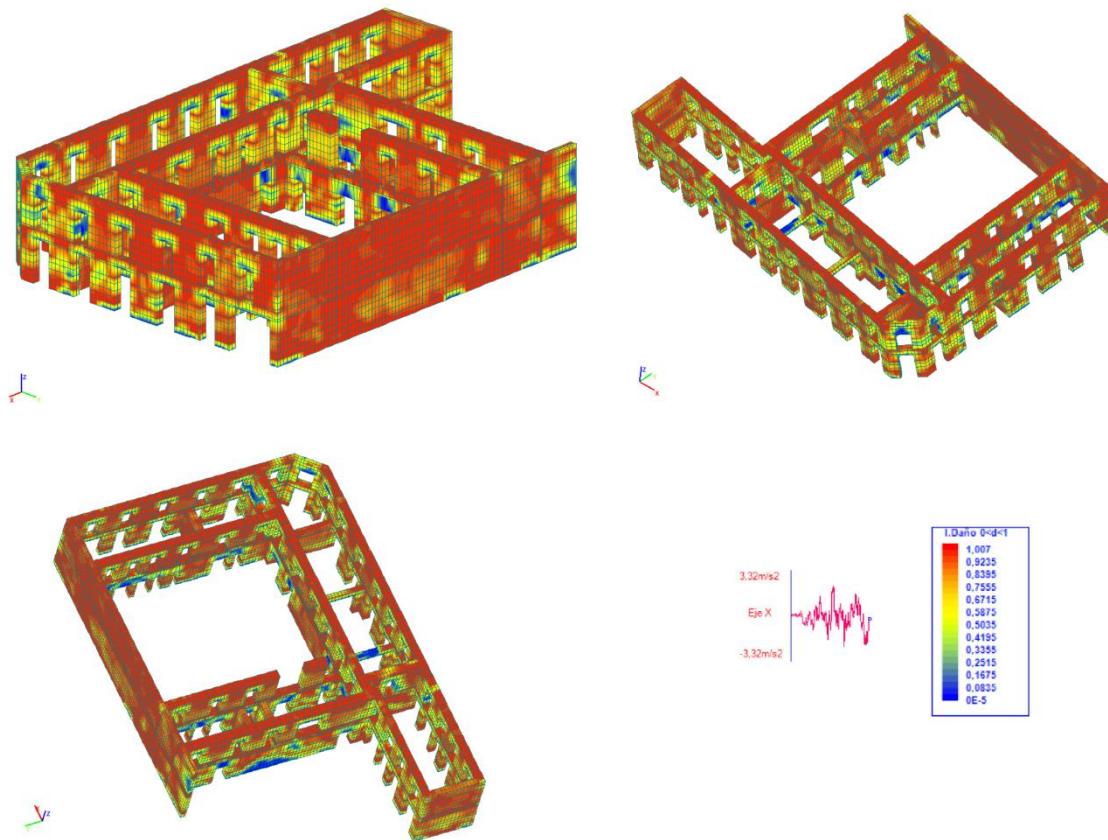


Figura 55 Daño isótropo de la estructura debido a sismos, máximo desplazamiento, 3.9 segundos (1. Rojo, Daño total – 0. Azul sin daños).

Los muros de tapia presentan daños graves, debido a su baja capacidad de resistir esfuerzos a tracción y falta de arriostramiento de los muros; los elementos de madera como los dinteles no presenta graves daños, pues son dúctiles y son resistente ante esfuerzos a tracción.

Se realiza un análisis de las posibles fallas de la Casa Zarama ante cargas sísmicas, con base a los daños presentados en el modelo con respecto al tiempo (Figura 253, 283).

Se observa daños a nivel de la cubierta con fisuras horizontales a media altura de los vanos del segundo piso, ocasionando balanceo fuera del plano de esa sección del muro y su eventual colapso, esto conllevara que la estructura de la cubierta se desplome dentro de la edificación.

El muro continuo a la Casa Arzobispal presentara fallas verticales (mitad del muro) prolongándose de la cubierta hacia el entrepiso del segundo nivel, en donde surgirán grietas horizontales que conectarán por medio de fisuras diagonales llegando nuevamente hasta la cubierta, esto generara un plano de falla ocasionando el colapso de esta sección del muro.

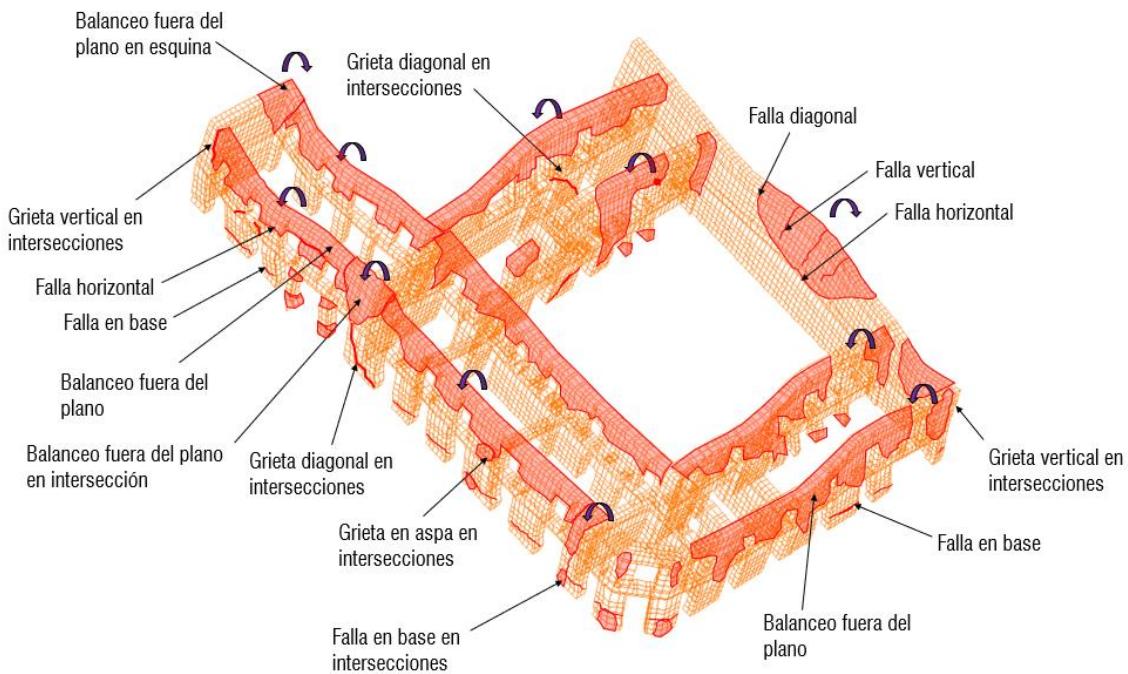


Figura 56 Esquema de fallas debido a sismo de los muros de la Casa Zarama.

En las intersecciones de los muros se generará fisuras verticales ante fuerzas fuera del plano, lo que creará discontinuidades en los muros siendo propensas al volteo. En las zonas donde existen vanos continuos a estas intersecciones en la primera planta, existirá presencia de grietas verticales en el segundo nivel, los muros intermedios de los vanos no presentarán daños, pero se generará una falla diagonal que unirá la esquina superior del vano del primer piso con los planos de fallas horizontales debido al balanceo, provocando el colapso de estos.

Se presentarán fisuras horizontales en los muros del primer piso a  $1/3$  la altura total y a nivel de los dinteles, estas provocadas por la concentración de esfuerzos y deformaciones en estos puntos, siendo estas de mayor magnitud en los vanos que se encuentran a distancias menores de 1.5 m.

La esquina de la Casa Zarama presentará daños en las intersecciones de los muros a la altura de la cubierta y de la base. Las intersecciones de los muros en esta zona se dan a  $45^\circ$  por lo que su daño será menor debido a la disipación de esfuerzos.

Algunos muros tendrán fisuras diagonales que conectarán ambos extremos debido a esfuerzos dentro del plano.

## 9.8 Refuerzo

La propuesta de refuerzo a sismo resistencia de la Casa Zarama tiene como fin minimizar los desplazamientos de los muros y evitar el colapso de trozos del muro una vez este halla fisurado a causa de un sismo, este sistema debe garantizar que la estructura se comporte como un conjunto que trabaje solidariamente con cada uno de los elementos que la compone, sin cambiar el funcionamiento estructural de la misma. Además, se debe optar por un refuerzo cuyos materiales sean compatibles con los del bien y que estos puedan ser eliminados en un futuro de ser necesario.

En la Tabla 32, 137 se mencionan las alternativas planteadas para el reforzamiento a sismo resistencia para la Casa Zarama, en donde se comprará según los criterios de compatibilidad, reversibilidad y mínima intervención.

Alternativas de refuerzo				
Refuerzo	Compatibilidad	Reversibilidad	Mínima intervención	Observaciones
Columnetas, viguetas y vigas en hormigón reforzado	NO	NO	SI	Las intervenciones que plantean hormigón para refuerzo estructural fueron descartadas, pues este material no es compatible y su rigidez es excesiva en comparación a la tapia.
Malla electrosoldada	NO	SI	NO	Las mallas electrosoldadas no fueron tomadas en cuenta debido a su vulnerabilidad a la corrosión y los efectos que esta conllevaría a la estructura.
Geomallas / drizas / llantas	SI	SI	NO	El refuerzo con geomallas o pañete reforzado, cuya práctica se ha implementado en países como Perú, ha demostrado un buen comportamiento ante sismos leves, permitiendo que los usuarios evacuen los edificios después del acontecimiento, pero dejando la estructura en estado de ruina en terremotos de mayor intensidad (Universidad de los Andes, 2018).
Madera confinante	SI	SI	NO	Según estudios de la AIS este tipo de reforzamiento aumentó la capacidad de la deformación lateral antes del colapso se incrementó hasta un 400% y la resistencia ante esfuerzo sísmico aumentó un 70%.
Consolidación con inyecciones de barro	SI	NO	NO	La consolidación de la estructura mejoró la resistencia de la tapia, llenando los vacíos y fisuras.

Rigidizarían de entrepisos con de entablado madera	SI	SI	SI	La rigidizarían de los diafragmas mejorara el arriostramiento de los muros y controlara las flechas y vibraciones de los entre pisos.
Vigas de coronación	SI	SI	SI	La incorporación de vigas de coronación mejorara la distribución de los esfuerzos, arriostramiento y conexión de la cubierta a los muros.
Conexiones con platinas en las cerchas	SI	SI	SI	Mejoramiento de conexión de elementos que conforman la cercha de cubierta.

Tabla 32 Comparación alternativas de refuerzo.

La propuesta para la consolidación de los muros de tapia implicara la pérdida del revestimiento actual, en donde los contenidos de interés artísticos de los muros se perderán (pintura, empapelados, molduras y enlucidos “originales”). Los valores artísticos de los muros internos de la Casa Zarama se reflejan en los empapelados y molduras de yeso en los cielorrasos, estos podrían ser retirados para posteriormente volverse a instalar sin mayor problema; en las fachadas las molduras de ladrillo cocido se podrán preservar en su mayoría, si se diseña el refuerzo de tal manera que las altere mínimamente.

Debido a la alta sismicidad de la ciudad de Pasto y el deseo de preservar la vida del usuario y la edificación como bien patrimonial de la región, los sistemas de pañete reforzado no fueron elegidos ya que no salvaguardará la integridad del inmueble ante sismos de magnitudes considerables (6-8 en la escala de Richter).

Teniendo en cuenta la investigación realizada y el previo análisis de la estructura de la Casa Zarama se propone las siguientes intervenciones para mejorar el comportamiento sísmico estructural.

- Consolidación de muros mediante inyecciones de barro.
- Refuerzo de los muros con listones de madera confinantes.
- Incorporación de vigas de coronación de madera a la altura de la cubierta y de los entre pisos.
- Reforzamiento con malla vena y pernos en las intersecciones de los muros.
- Rigidización de los diafragmas de los entrepisos incorporando un nuevo entablado perpendicular sobre el actual, garantizando el correcto anclaje a los muros mediante pernos de acero.
- Incorporación de platinas metálicas en las uniones de las cerchas de las cubiertas, y sustitución de piezas en mal estado y la reposición de las faltantes.

Estas alternativas fueron seleccionadas debido:

- Compatibilidad de materiales.
- Reversibilidad de la intervención en caso de ser necesaria.
- Disponibilidad de materiales, mano de obra y tecnología en la región, lo que ahorrara en transportes y costo de mano de obra y equipamientos clasificados externos a la región, además del beneficio ambiental.
- Generación de trabajo local.
- Es una técnica poco usada en la región, pero de fácil capacitación.

- Generación de estructura que trabaje uniformemente
- Reforzará puntos vulnerables (encuentros de muros, vanos, soleras, muros sin arriostramientos y conexiones de elementos).

Para realizar el **refuerzo de los muros** de carga será necesario eliminar todo el enlucido de ambas partes del muro, para así detectar fisuras en las tapias. Estas serán llenadas mediante inyecciones de barro y cal hidráulica en estado líquido (alta fluidez), comenzando desde los puntos bajos a los altos. También se rellenarán los agujeros de los mechinales con concreto de cal, arena y triturado, para finalmente insertar una cuña de madera dentro de este antes de que endurezca.

Una vez se logre la consolidación de los muros se procederá a crear las regatas en ambas caras de este, en donde se ubicarán los refuerzos de madera (Figura 189, 238), estas tendrán una profundidad de 3 cm para el refuerzo vertical y 2 cm para él horizontal. En las intersecciones generaran orificios haciendo uso de talarlo y cincel, con una separación máxima de 50 cm (Figura 190, 239).

Los refuerzos deberán estar ubicados de manera tal que se altere lo menos posibles las molduras existentes de la fachada (Figura 188, 238). También se deberá buscar sujetar los dinteles de los vanos mediante el refuerzo vertical y pernos.

Las piezas de madera estarán sujetas a la tapia por medio de puntilla de 2", instalando primero las tablas verticales y posteriormente las horizontales (Figura 191, 239).

En las esquinas y traslapos de los refuerzos se conectarán mediante platinas de acero sujetadas mediante tornillos a la madera (Figura 192, 240).

Se incorporar geomalla en las intersecciones de muros en las cuales no sea posible generar un refuerzo óptimo mediante la madera de confinamiento.

Los refuerzos serán cubiertos con malla Ageo que sobresalga 2 cm, esto con el fin de minimizar fisuras y lograr una buena adherencia con en el mortero de barro y el enlucido (Figura 193, 240).

En los muros colineales con estructuras vecinas, en donde sea imposible generar el refuerzo en ambas caras, se realizarán anclajes al muro mediante varillas de acero con gancho endebidos en los muros mediante concreto de cal, arena y triturado, estos se sujetarán al refuerzo de madera de manera similar que en las intersecciones comunes y su longitud será la del espesor del muro más 45 cm. Este procedimiento se realizará en todas las intersecciones de los muros continuos a vanos (Figura 57, 139).

En la parte superior de las instrucciones de los muros se incorporará varillas de acero en forma diagonal, sujetando ambos muros, estas se conectarán a los refuerzos de madera. A la altura de la cubierta, estas diagonales serán de madera (Figura 184, 235).

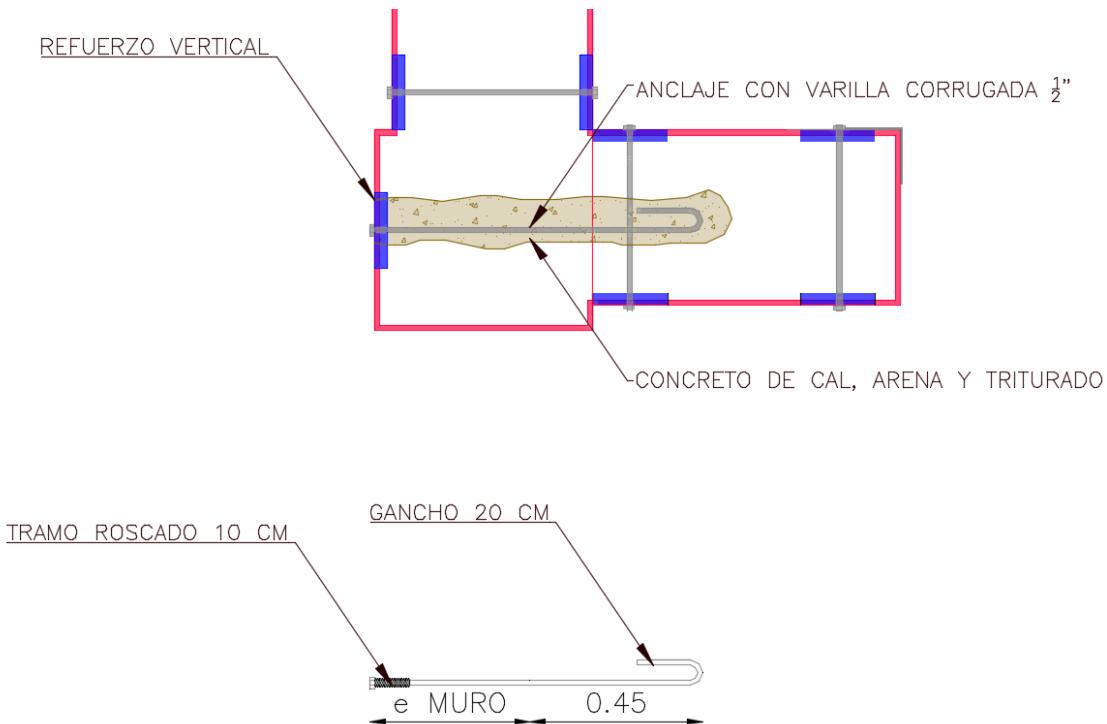


Figura 57 Anclaje con varilla corrugada en las intersecciones de muros contiguos a vanos o a edificaciones vecinas, detalle del autor.

El **refuerzo de madera para confinamiento** de los muros de tapia se diseñará con base al “Manual para la rehabilitación de vivienda construida en adobe y tapia pisada” publicado por la AIS, los elementos adicionales de refuerzo fueron basados en las investigaciones y propuestas en la diferente bibliografía consultada.

Se reforzará todos los muros de la edificación creando una estructura que “envuelva” los muros, enfatizando en los vanos, discontinuidades, intersecciones de muros y puntos débiles identificados en el análisis anterior.

El **ancho mínimo tablas** de refuerzo debe ser mayor a 1/15 de la altura del muro a reforzar, esta no puede ser menor a 20 cm.

$$A_{Tabla} \geq \frac{H_{muro}}{15}$$

Ecuación 11 Ancho de las tablas para confinamiento (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

$$A_{Tabla} \geq \frac{4.70\ m}{15}$$

$$A_{Tabla} \geq 0.32\ m$$

Se tomarán tablas de ancho de 30 cm y 2 cm de espesor, debido a que este es el tamaño máximo de comercialización de la madera en la región, dejando una separación máxima de 1.5 metro entre estas.

Se dispondrán maderas de confinamientos a ambas caras del muro, estas deberán estar inmunizadas, así se evitará ataques de posibles plagas. Por medio de una varilla roscada de  $\frac{1}{4}$ " y un juego de arandela y tornillo se sujetarán ambos refuerzos, estas deberán ser tratadas previamente con pintura anticorrosiva para controlar el

óxido de los pernos o cualquier elemento susceptible a la corrosión, el espacio máximo entre los conectores será de 50 cm.

Los refuerzos horizontales irán a 50 cm de la cimentación y a 20 cm de la viga de corona o de entrepiso, los demás refuerzos se dispondrán a no más de 1.5 m de distancia entre estos de forma equidistante.

Se realizará regatas en los muros de 3 cm de profundidad para los refuerzos verticales y de 2 cm para los refuerzos horizontales. En la intersección de los dos refuerzos se creará un corte de 0.5 cm en ambas tablas para generar una correcta conexión entre estas.

El **ancho mínimo platinas** debe ser del orden de 3/4 del ancho de las tablas de refuerzo y su espesor deberá ser mínimo de 1/8".

$$A_{Platinas} \geq \frac{3 \cdot A_{Tabla}}{4}$$

Ecuación 12 Ancho de platinas para confinamiento (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

$$A_{Platinas} \geq \frac{3 \cdot 0.30\ m}{4}$$

$$A_{Platinas} \geq 0.23\ m$$

Donde:

$$A_{Tabla} = Ancho\ tabla\ [L]$$

$$A_{Platinas} = Ancho\ platinas\ [L]$$

$$H_{muro} = Altura\ muro\ [L]$$

Los traslapos de los refuerzos se resolverán con platinas de largo igual al ancho de las tablas, sujetándose por medio de tornillos a los refuerzos. Ambas piezas de maderas tendrán un corte de 1 cm en sus extremos para "encajar" una con otra y posteriormente ubicar la platina.

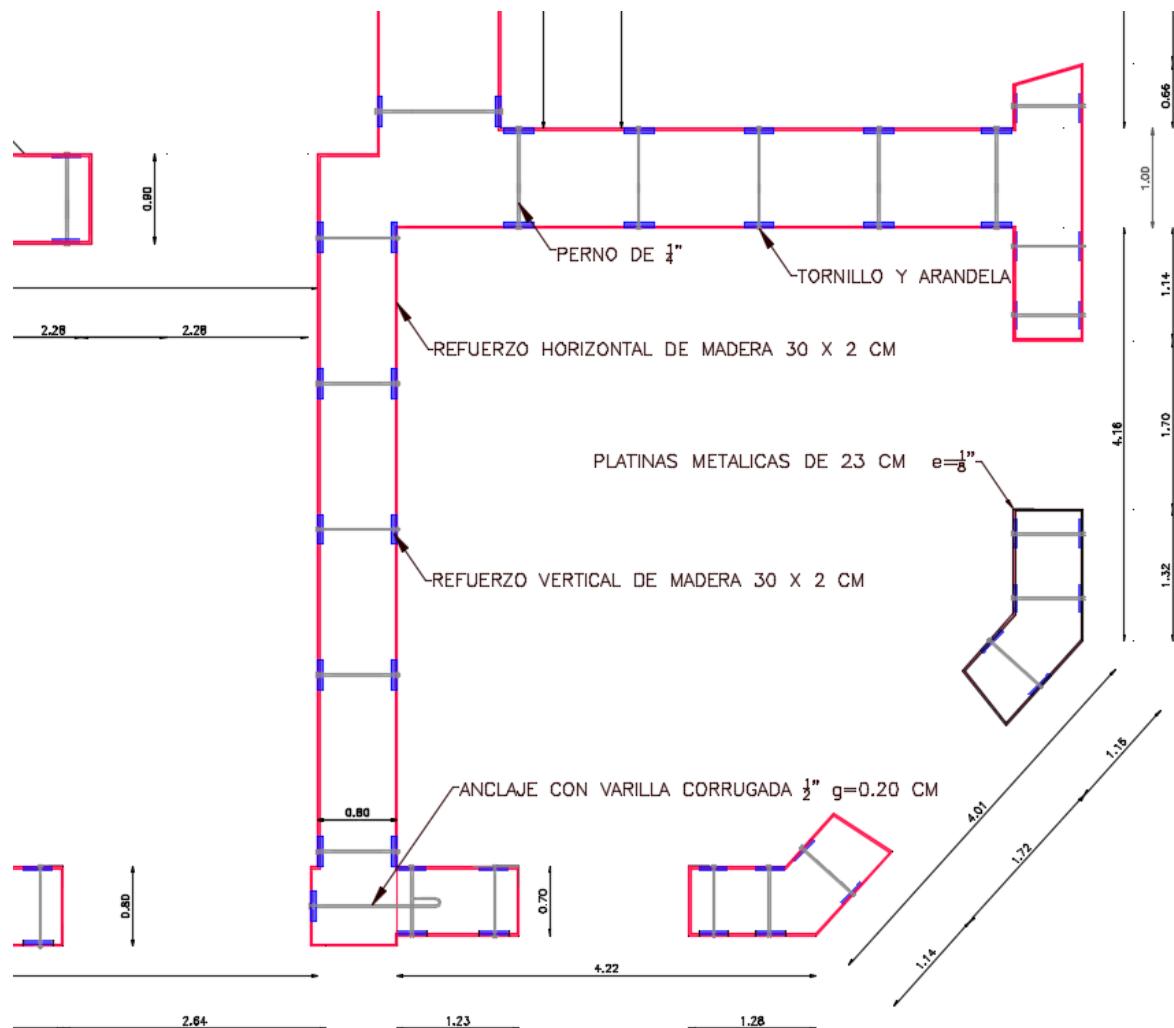


Figura 58 Propuesta reforzamiento con maderas confinantes y anclaje de acero corrugado. Esquina Casa Zarama, primera planta, detalle del autor.

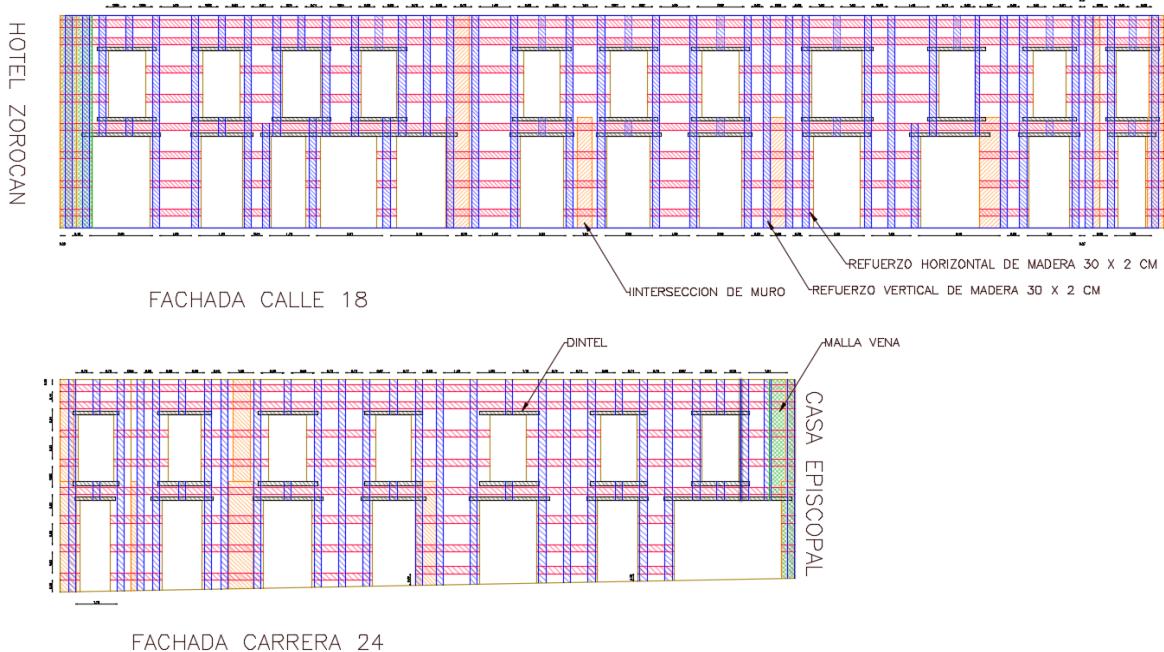


Figura 59 Disposición de refuerzo de madera confinante y malla en las fachadas de la Casa Zarama, detalles del autor.

Los refuerzos de confinamiento deberán ser prolongados por la fachada y muros internos de la Casa Episcopal hasta el vano más continuo a la Casa Zarama o 2 metros con respecto al muro limítrofe, esto con el fin de reforzar la intersección del muro entre las dos edificaciones.

Se incorporará refuerzo con **malla vena** en las intersecciones de los muros continuo a edificaciones vecinas, ya que en estos puntos se dificulta el refuerzo con madera de confinamiento. Esta medida buscara controlar las grietas verticales en estos puntos.

La malla se incorporará sobre la madera confinante, y será instalada en ambas caras de los muros sujetos cada 20 cm con alambre de 8 mm. La malla tendrá una longitud del espesor del muro más 50 cm.

Para el refuerzo de los muros a la altura de la cubierta se incorporará una **viga coronación** de madera perimetral, con el fin de distribuir mejor los esfuerzos, generar un arriostramiento y una conexión optima entre la cubierta y la estructura muraria.

Se genera “micropilotes” perpendiculares los muros, los cuales serán rellenos con mortero de cal, arena y triturado, en este se incorporará una varilla de acero corrugado de  $\frac{1}{2}$ ” con gancho y extremo roscado, distanciados cada 70 cm (empalmando con los tirantes), a una profundidad de 1 m (Figura 60, 143).

La viga de madera será de 15 cm de espesor y 30 cm de ancho ubicándose en la mitad del muro, el espacio faltante se completará con bloques de adobe. Sobre la viga se postrarán los tirantes que se conectarán a estas mediante los pernos del anclaje.

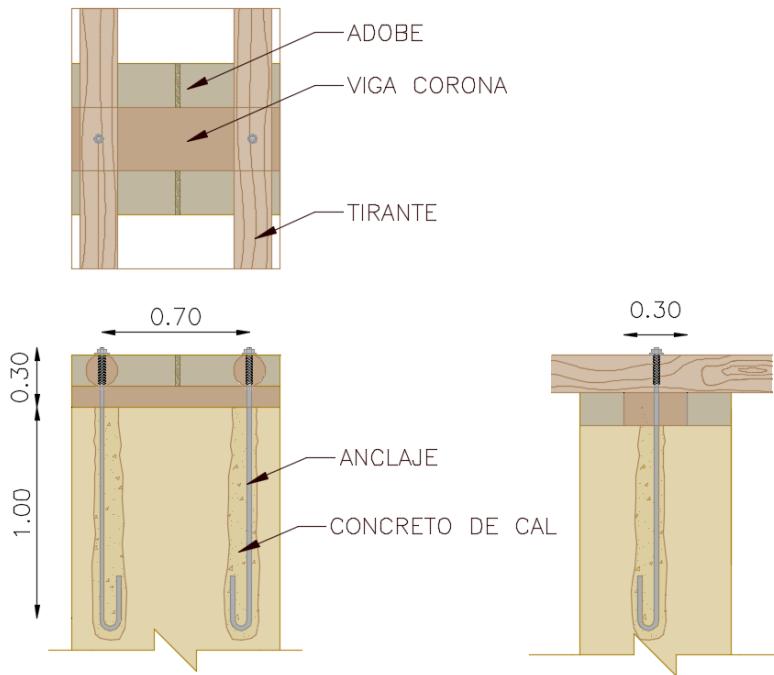


Figura 60 Anclaje y viga de coronación. El anclaje sujeta el tirante y la viga de coronación, detalle del autor.

La viga se irá instalando por tramos, de esta manera se levantarán los tirantes y la cercha por secciones, manteniendo su geometría actual. En esta actividad se aprovechará para cambiar piezas dañadas y faltantes, además de reforzar las uniones de la armadura mediante platinas metálicas, tornillos, tuercas y arandelas (Figura 165, 226).

La rigidización de los entrepisos se logrará mediante la incorporación de un **entablado sobre el existente**, esta irá en dirección perpendicular formando un sistema de arriostramiento en dos direcciones. Se buscará generar conexión con los muros y el entrepiso “original” mediante la incorporación de anclajes y pernos que conecten las maderas de confinamiento con las vigas del entrepiso. Este sistema colaborará en minimizar las deformaciones del entablado original y fortalecerá el diafragma permitiendo una mejor distribución de esfuerzo a los muros portantes.

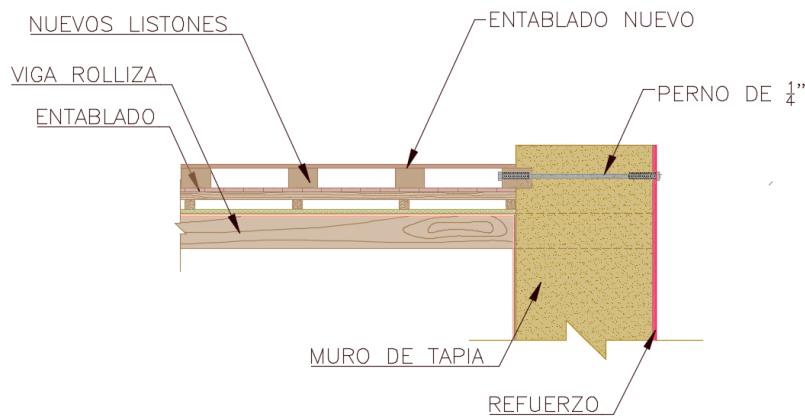


Figura 61 Refuerzo del entrepiso existente mediante nuevo entablado, detalle del autor.

El nuevo entablado contara con vigas de 15 x 10 cm perpendiculares a las vigas originales cada 40 cm, estas irán sobre entablado inferior y se conectarán por medio de tornillos, para finalmente recibir el nuevo entablado que se fijara por medio de puntillas de 2". Las vigas perimetrales o que den contra los muros deberán ir endebidos a este, creando una regata de 8 cm de profundidad y 10 cm de alto. Adicionalmente se conectarán a los refuerzos de confinamiento por medio de pernos (Figura 61, 143).

## 10 Conclusiones

Las estructuras históricas deben ser analizadas desde su origen y materialidad, de esta forma se podrá comprender su comportamiento estructural y su respuesta ante fuerzas gravitatorias y sísmicas. Las intervenciones que se le vayan a realizar al bien, deben garantizar que la edificación trabaje de la forma con la que fue diseñada, buscando siempre que todos sus elementos se comporten solidariamente.

El refuerzo estructural de las construcciones en tierra deberá buscar que la estructura conserve su geometría, confine sus muros y genere conexiones óptimas en todos los elementos de la casa. De esta forma se logrará minimizar desplazamientos y el colapso de piezas y bloques de los muros ante esfuerzos sísmicos o cargas excesivas, las cuales fisurarán diferentes puntos de la estructura.

Los mayores desplazamientos horizontales se generarán en los puntos más altos de la estructura, por lo que se deberán reforzar con vigas de coronación que sirvan como “zuncho” a este nivel, además como elementos que ayuden a distribuir de mejor manera las cargas de la cubierta a los muros.

Las esquinas e intersecciones de los muros son también puntos que se deben intervenir, ya que en estos se concentrarán los esfuerzos, siendo propensos a sufrir fallas. Estas por lo general aparecerán 1/3 por encima de la base.

El arriostramiento de los muros tanto en la base como en su coronación es fundamental para su buen comportamiento sísmico, ya que estos restringirán su desplazamiento y esfuerzos internos. En muros de gran longitud y altura, las vigas de los entrepisos y tirantes de la cubierta trabajarán en forma de arbotantes, logrando que estos permanezcan en pie sin la necesidad de muros diafragmas perpendiculares. Su ausencia generará una pérdida de equilibrio en el muro lo que provocará su eventual colapso.

Los sistemas de reforzamiento para edificaciones buscarán salvaguardar la vida de sus ocupantes ante un eventual sismo. Para las edificaciones consideradas de interés patrimonial, se deberá seleccionar un reforzamiento que busque proteger la construcción sin atentar contra los valores que la hacen particular.

Las zonas más vulnerables de la estructura son los vanos que fueron abiertos después de la construcción de la casa. Allí se concentrarán los esfuerzos y sus deformaciones serán mayores. Estas intervenciones se realizaron por los propietarios de los locales comerciales del primer piso para generar una puerta más amplia y así atraer mayor clientela. Estas aperturas no son recomendadas pues, como se observó, esta clase de acciones debilitan la estructura poniéndola en riesgo de colapso por exceso de cargas en los pisos superiores o por la acción de un sismo.

Si se va a realizar la ampliación de los vanos se recomienda crear una estructura portante que garantice mínimas flechas y una correcta distribución de esfuerzos al suelo (cimentaciones propias). Los pórticos de hormigón armado serán los más prácticos a pesar de su alta rigidez, ya que este sistema permite adaptarse a los espesores de los muros que varían de 60 – 100 cm. Un sistema de vigas y columnas de perfiles de acero o de madera, no podrá ser instalado en todo el espesor del muro, pues generará puntos débiles en la apertura.

Para un reforzamiento integral de una construcción en tierra se debe buscar rigidizar los entrepisos; integrar la estructura de los muros con la de la cubierta; incorporar viga de coronación a nivel de la cubierta y entrepisos; disminuir las cargas en el soberano y demás sobre pesos innecesarios; reforzar esquinas y cimentaciones; evitar el uso de materiales de rigidez excesiva en comparación a la tierra y que sean compatibles con la estructura. Se recomiendan intervenciones que integren diferentes sistemas de refuerzo que trabajen uniformemente. Además del mantenimiento preventivo para garantizar el buen estado de los elementos que la componen.

El sistema de maderas confinantes es el más adecuado para bienes de interés patrimonial, por lo que buscará proteger la construcción y a sus ocupantes. Este sistema también es aconsejable pues sus materiales, tecnología y mano de obra, son asequibles en gran parte del territorio colombiano. Las intervenciones con mallas han demostrado su eficacia ante sismos leves, permitiendo evacuar a sus ocupantes en caso de emergencia, pero dejan la estructura en mal estado.

El reforzamiento de muros de tapia tiene como principal inconveniente la pérdida del revestimiento en su totalidad, lo que en ocasiones significará un problema si se cuenta con murales o elementos de valor en estos.

Debido a la falta de claridad para el análisis de este tipo de estructura, se optó por utilizar el método espectral, el cual es recomendado para edificios de distinto sistema estructural, materiales y de gran altura.

El método geométrico para evaluar el estado actual de la Casa Zarama y su comportamiento ante sismos dio resultados similares a los presentados utilizando el programa ANGLE. En ambos análisis se aprecia la importancia de la ubicación de los vanos, esbeltez vertical y horizontal de los muros, arrojándonos los mismos puntos vulnerables de la edificación.

Las futuras normativas deben contemplar el análisis geométrico de las edificaciones en tierra, como un análisis previo que ayude a comprender mejor su comportamiento estructural, identificado puntos débiles y posibles mecanismos de fallas. Además de limitar la apertura desmesurada de vanos en los primeros pisos de estos bienes y materiales a utilizar.

El estudio previo de la edificación y su entorno (región, demografía, tecnología, economía) facilitara el análisis de las diferentes alternativas para el reforzamiento de la construcción, creando una matriz impacto vs beneficio, que ayudará a dar soluciones que se adapten a las necesidades del proyecto.

Según el análisis estructural de la casa se concluye que los muros fisurarán debido a su baja capacidad de resistir esfuerzos a tracción, pero estos no colapsarán, a razón de su masa y geometría, siendo este último parámetro más significativo que las propiedades mecánicas de los materiales.

Una futura norma sismorresistente deberá contemplar los análisis geométricos para este tipo de construcciones, creando límites para la dimensión y disposición de sus elementos, de tal manera que busque generar un correcto equilibrio de la estructura y la capacidad de afrontar cargas sísmicas.

Las estructuras en tierras son susceptibles a las humedades y ataques biológicos, por lo deben ser protegidas mediante un adecuado mantenimiento de fachadas, cubiertas y cimentación.

Pese a no contar con la tecnología y técnicas modernas para el análisis, diseño y construcción, las construcciones antiguas en tierra han logrado mantenerse en pie después de sismos de magnitudes considerables, demostrando los conocimientos que tenían los maestros para la construcción de casa sismorresistentes. Ellos sabían distribuir y diseñar de forma adecuada sus muros y vanos, haciendo que su geometría y materialidad respondieran a las diferentes solicitudes de cargas a las que se pudieran ver expuestas.

Los muros interiores de la Casa Zarama son de mayor esbeltez vertical que los que dan a las fachadas, puesto que estos soportarán mayores cargas.

La esquina de la Casa Zarama por su geometría de "chaflan" a 45° presenta mejores distribuciones de esfuerzos en sus vértices, que las intersecciones a 90°, evidenciando el conocimiento constructivo y estructural de los maestros de la época.

Originalmente la Casa Zarama y las edificaciones construidas en tapia de dos o más niveles, diseñaban sus vanos de tal forma que coincidieran con los de los pisos inferiores, así se minimizaban los sobre esfuerzos y deformaciones en los muros.

El comportamiento ante cargas de servicio y sísmica de la Casa Zarama evidencio un mejor comportamiento en las zonas de la estructura que no presentaban mayor alteración en la distribución de los vanos del primer piso. Aquellas que fueron intervenidas en la ampliación de los vanos mostraron mayores desplazamientos y daños en su estructura.

La eliminación o construcción de muros para esta arquitectura afectara influiría directamente en el comportamiento de la estructura por lo que hará necesario el análisis en conjunto con el resto de la construcción para evaluar su intervención.

El análisis de las edificaciones históricas por basar su diseño en la geometría y estabilidad de sus muros hará necesario evaluar la geometría y distribución de estos en las estructuras vecinas, pues la falta o presencia de estos en zonas continuas, tendrán un papel fundamental en el comportamiento de la estructura a estudiar.

La principal amenaza de las edificaciones históricas en la ciudad de Pasto, tienen origen antrópico. Las acciones de sus pobladores y gobernantes han causado más derrumbes y daños en estas estructuras que los sismos ocurridos en el pasado. Por tal motivo, parte fundamental de la preservación de este tipo de bienes, son la protección y concientización acerca de su valor para la memoria e identidad de los pueblos de la región.

Es necesario incentivar el uso de bicicletas y transporte público para reducir el uso de vehículos motorizados, y así la demanda de los parqueaderos en el centro de la ciudad, lo cual evitará destruir edificaciones patrimoniales para la construcción de estos últimos y de autopistas en esta zona.

La preservación y protección de las edificaciones antiguas de la ciudad no está dentro de los planes primordiales de la región. Debido a la latente actividad volcánica del Galeras, gran parte de los recursos del departamento están destinado a elaborar planes de emergencia para la mitigación de este tipo de fenómenos. Esto, acompañado del poco sentimiento de pertenencia hacia este tipo de arquitectura, ha dejado por fuera la protección del patrimonio arquitectónico (no religioso) nariñense.

El POT y lo PEMP, deben ser más estrictos para que no permitan que los arrendatarios y dueños de este tipo de bienes, actúen de forma imprudente con respecto a las modificaciones que quieran efectuar a sus propiedades. La mayoría de las edificaciones del centro histórico de Pasto (zona más transitada en horas del día) son de tapia y adobe, en donde las primeras plantas son utilizadas como locales comerciales y las segundas como oficinas. Esto ha ocasionado la apertura de vanos en la primera planta, sin tener en consideración el funcionamiento de la construcción.

El uso de elementos impropios como pañetes de cemento, pinturas plásticas, baldosas en las fachadas y demás materiales incompatibles con la tierra, provocará humedades y disgregación del material, lo que debilitará la estructura muraria de estas construcciones, aumentando la vulnerabilidad ante sismos y poniendo en peligro a los cientos de pobladores que transitan, trabajan y viven en la zona.

## 11 Bibliografía

- Acero Matallana, E. (2012). *Aproximacion al comportamiento estructural de edificaciones en tierra de la arquitectura colonial. Consideraciones para el inventario de bienes del Minisiteio y la Norma de sismo resistencia Colombiana.* Bogota: Universidad Nacional de Colombia Maestria en Conservacion del patrimonio cultural inmueble. .
- Acero Matallana, E. (2015). La NSR-10 en el reforzamiento de bienes patrimoniales. Analisis, alcance y propuesta de intervencion. Segunda Entrega. *Construccion Metalica* 19, 22-27. Obtenido de [https://issuu.com/legissa/docs/metal19\\_pags22a27](https://issuu.com/legissa/docs/metal19_pags22a27)
- Acevedo, A. B. (6 de 2012). Criterios sismológicos para seleccionar acelerogramas reales de la red nacional de acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinamicos. *Revista EIA*(17), 57-70. Recuperado el 7 de 7 de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n17/n17a06.pdf>
- Aedo Carazas, W., & Rivero Olmos, A. (2002). *Bahareque: Guia de Construccion Parasismica.* Francia: CRATerre.
- Afanador Garcia, N., Carrascal Delgado, M., & Bayona Chinchilla, M. J. (2013). Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada. *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, 22(35), 47-59. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v22n35/v22n35a05.pdf>
- Aguero Benites, J., Ceron Uribe, J., Gonzales Levano, J. C., & Mendez Landa, M. T. (2015). Analisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construccion con tierra* (pág. 11). Cuenca: PRO TERRA.
- Alcaldia de Pasto. (2013). *POT. Cuaderno contexto historico.* Pasto: Alcaldia de Pasto.
- Alcaldia de Pasto. (2013). *POT.Cuaderno diagnostico gestion de riesgos.* Pasto: Alcaldia de Pasto.
- Angulo Muñoz, R. A. (2010). *Economías extractivas y desarrollo sostenible: Análisis y reflexiones de sus relaciones, a partir de la explotación petrolera del Putumayo.* Bogota: Universidad Nacional de Colombia - Trabajo realizado para optar al titulo de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo .
- Archivo General de la Nacion. (s.f.). Bogota.
- Ardila Rueda, E. (26 de 1 de 2014). Mañana se iniciarán las adecuaciones en el templo de San Laureano. *Vanguardia*, pág. 1.
- Arnau Delgado, O. (2017). Análisis no lineal en la evaluación y diseño estructural: Aplicaciones, tendencias y oportunidades. *Análisis no lineal en la evaluación y diseño estructural: Aplicaciones, tendencias y oportunidades.* Mexico: UNAM. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=MTM0OztKGvg>
- Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica. (2004). *Manual de evaluacion, rehabilitacion y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales.* Bogota: AIS.
- Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica. (2004). *Manual para la rehabilitacion de viviendas construidas en Adobe y Tapia pisada.* Bogota: AIS.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica. (2010). *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente.* Bogota: AIS.

- Banco de la república de Colombia. (25 de 9 de 2000). *Colección de arte del Banco de la república de Colombia*. Obtenido de Colección de arte del Banco de la república de Colombia: <http://www.banrepultural.org/coleccion-de-arte-banco-de-la-republica/obra/terremoto-en-popay%C3%A1n>
- Barrow, J. M., Porter, D., Farneth, S., & Leroy Tolles , E. (2009). *Evolving Methodology in Seismic Retrofit: Stabilizing the Las Flores Adobe*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Bernard, O., & Zambrano, F. (1993). *Ciudad y territorio. El proceso de poblamiento en Colombia*. Bogota: Institut français d'études andines, Academia de historia de Bogotá.
- Bestraten, A., Hormias, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 63(523), 5-20.
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 5-20.
- Blondet, M., M, G. V., & Brzev, S. (2003). *Construcciones de Adobe. Resistentes a los Terremotos*. Peru: Vivienda del EERI/IAEE.
- Blondet, M., Torrealva, D., Vargas, J., Velasquez, J., & Tarque, N. (2006). Seismic reinforcement of adobe houses using external polymer mesh. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (pág. 632). Ginebra, Suiza: ECEES.
- Blondet, M., Torrealva, D., Villa Garcia , G., Ginocchio, F., & Madueño, I. (2005). Using Industrial Materials for the Construction of Safe Adobe Houses in Seismic Areas. *Earth-Build 2005* . Sydney, Australia: University of Technology of Sydney.
- Blondet, M., Villa Garcia, G., Brzev, S., & Rubinos, A. (2004). Earthquake-Resistant Construction of Adobe buildings. *Built Constructions*, 1. Obtenido de <http://builtconstructions.in/OnlineMagazine/Builtconstructions/Pages/Earthquake-Resistant-Construction-of-Adobe-Buildings-0300.aspx#>
- Broughton W, J. (s.f.). Tipo de patologías propias de la arquitectura en tierra. 28.
- Bureau of Indian Standards. (1980). *Code of practice for in situ construction of wall in building with soil - cement*. Nueva Delhi: Bureau of Indian Standards.
- Bureau of Indian Standards. (1993). *Improving earthquake resistance of earth building - Guidelines*. Nueva Delhi: Bureau of Indian Standards.
- Campo Pantoja, E. (2006). *Pasto: Arquitectura - Procesos Construtivos en Tierra*. San Juan de Pasto: Fondo Mixto de Cultura - Nariño.
- Campo Pantoja, E., & Suarez, A. A. (2017). *Descripción y clasificación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales implementados en la construcción de muros en tapia pisada, presentes en las edificaciones de carácter republicano, pertenecientes al centro histórico de San Juan de Pasto*. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño.
- Carrion Gutierrez, A. (2015). *Plan nacional de emergencias y gestión de riesgos en patrimonio cultural*. España.

- Castilla, F. J. (2011). Reestimiento y acabados superficiales en construcciones con tierra contemporáneas. *Informes de la construcción*, 63(523), 143-152.
- Cely Moreno, L., Hernández Rojas, W. G., & Gutiérrez Junco, O. J. (Julio - Diciembre de 2012). Caracterización de la Guadua Angustifolia Kunth cultivada en Miraflores (Boyaca) de acuerdo con la NSR-10. *Revista Facultad de Ingeniería*, 21(33), 53-71.
- Ceron Cerquera, L. A., & Silva Ortega, M. A. (2014). *Desempeño Sísmico de Casas Consistoriales en Tapia Pisada Con y Sin Refuerzo en Maderas de Confinamiento*. Bogota: Pontificia Universidad Javerina, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería.
- Charleson, A. (2011). *Seismic strengthening of earthen house using straps cut from used car tires: A construction guide*. Oakland, California: Earthquake Engineering Research Institute.
- Chiari, M. A. (2016). *Un modelo de análisis estructural de las bóvedas tabicadas. Las bóvedas de Guastavino en Norteamérica*. Valencia.
- Chief Executive of Standards New Zealand. (1998). *Earth Buildings Not Requiring Specific Design*. Wellington: Standards New Zealand.
- Chief Executive of Standards New Zealand. (1998). *Engineering Design of Earth Buildings*. Wellington: Standards New Zealand.
- Cid, J., Manzanares, F. R., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63, 159-169. Recuperado el 03 de 06 de 2018, de <http://informesdelaconstrucion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstrucion/article/view/1262/1347>
- Colombia, C. (15 de 10 de 2017). *Pueblos patrimoniales de Colombia*. Obtenido de Pueblos patrimoniales de Colombia: <https://www.pueblospatrimoniodecolombia.co/>
- Colparques. (2018). *Colparques*. Recuperado el 25 de 8 de 2018, de Colparques: <http://www.colparques.net/MOMPOX>
- Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. (2017). Discusión adopción del documento de edificaciones patrimoniales de tierra. *Acta N° 140* (pág. 5). Bogota: Ministerio de Vivienda de Colombia.
- DANE. (2009). *Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020*. Bogota: DANE.
- Department of Urban Development and Building Construction. (1994). *Nepal National Building Code NBC 203:1994 Guideline for earthquake resistant building construction: Low strength masonry*. Babar Mahal, Kathmandu, Nepal: Ministry of Physical Planning and Works.
- Department of Urban Development and Building Construction. (2016). *Seismic retrofitting guidelines of buildings in Nepal. ADOBE AND LOW STRENGTH MASONRY STRUCTURES*. Babarmahal: Ministry of urban development.
- Dussel, E. D. (1994). *El encubrimiento del otro: Hacia el origen del mito de la modernidad*. Quito-Ecuador: Cambio XXI.

- ECI, G. d.-P. (Dirección). (2017). *Ensayo en mesa vibratoria de vivienda a escala en tapia pisada, con refuerzo* [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=4bYY2B2R2Og>
- ECI, G. d.-P. (Dirección). (2017). *Ensayos en mesa vibratoria de viviendas a escala en tapia pisada, sin refuerzo* [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=H-xqA5Wj3ng>
- Escamirosa Montalvo, L. F., Ocampo García, M. d., & Arroyo Matus, R. (Octubre de 2014). Reforzamiento estructural en vivienda tradicional de adobe de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Espacio I+D*, 30-50. Recuperado el 12 de Julio de 2018, de <http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num6/pdf/articulo2.pdf>
- Eusko Jaurlaritza Gobierno Vasco. (18 de 4 de 2013). *Tknika*. Obtenido de Tknika: <http://normadera.tknika.net/es/content/densidad>
- fincasquindioya. (s.f.). *La Arquitectura del Paisaje Cultural Cafetero, unica en Colombia*. Recuperado el 4 de 10 de 2017, de Paisaje Cultural Cafetero: <http://fincasquindioya.com/arquitectura/>
- Fonseca Ferreira, C., & D' Ayala, D. (2012). *Seismic Assessment and Retrofitting of Peruvian Earthen Churches by Means of Numerical Modelling*. Reino Unido: WCEE.
- Fonseca Gonzales , J. A. (2013). PEMP de Pasto: Desaciertos de la politica frente al patrimonio urbano arquitectonico. 41-47.
- Fonseca Gonzalez, J. A. (2009). Cartografia de Pasto 1800-2006. Corpus Documental. Caracterizacion cartografica. *Revista de Arquitectura*, 11, 57-67.
- Fuertes Torres, H. F. (2014). *Consultoria para la realizacion de estudio tecnico, economico, ambiental y elaboracion de los diseños definitivos para mejoramiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado en el area de cobertura de empopasto S.A. E.S.P municipio de Pasto grupo 3*. Pasto: INGEOHID.
- Fundacion Red Proturismo. (2015). *Cucuta tu norte turistico*. Recuperado el 16 de 9 de 2017, de Cucuta tu norte turistico: <http://cucuta.tunorteturistico.com/lugares/villa-del-rosario/monumentos/templo-historico/>
- Gaete Cruz, M. (2010). *Estrategias Morfológicas de diseño Sismo Resistente para la Construcción Contemporánea en Tierra Portante*. Chile.
- Giles Castillo, B., Scarponi, J., & Galindez, F. (2010). *Recomendaciones para las construcciones de adobe*. Salta-Peru: Dirección de Preservación del Patrimonio Arquitectónico y Urbano de Salta.
- Giribas, C. (19 de 1 de 2017). *Plataforma arquitectura*. Obtenido de Plataforma arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/803675/sistema-de-drizas-reforzamiento-estructural-para-construcciones-en-adobe>
- Gomez Jimenez , D. M. (29 de 10 de 2009). *Proyecto Kogui 2010*. Recuperado el 25 de 8 de 2018, de Proyecto Kogui 2010: <http://kogui2010.blogspot.com/2009/10/antecedentes-arquitectura-kogui.html>
- Gomez, V., Lopez, C., & Ruiz, D. (2016). Rehabilitación sísmica de edificaciones históricas en tapia pisada: estudio de caso de capillas doctrineras reforzadas con malla de acero y madera de confinamiento. *Informes de la Construcción*, 68(541), 13.
- Gonzales M, A. (7 de 2 de 2018). *slideshare*. Obtenido de slideshare: <https://es.slideshare.net/archieg/la-guadua-13596696>

Grupo de Investigación GRIAS- KDD. (2016). *GEOCODER PASTO: Geocodificador de Direcciones Urbanas del Municipio de Pasto*. San Juan de Pasto: Departamento de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Nariño.

Grupo de investigación y documentación - Dirección de patrimonio. (15 de 4 de 2016). *LISTA DE BIENES DECLARADOS BIEN DE INTERÉS CULTURAL DEL ÁMBITO NACIONAL*. Recuperado el 10 de 10 de 2017, de LISTA DE BIENES DECLARADOS BIEN DE INTERÉS CULTURAL DEL ÁMBITO NACIONAL: <http://www.mincultura.gov.co/prensa/noticias/Documents/Patrimonio/listado%20bienes%20de%20inter%C3%A9s%20cultural%20del%20ambito%20nacional.%20abril%202016.pdf>

Guerrero Boca, L. F. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Apuntes*, 182-201.

Herrera, E. (30 de 3 de 2014). Por que del nombre Villa Viciosa a Pasto. *página10.com*, pág. 1.

Hettner, A. (1976). *Viajes por los Andes colombianos (1882-1884)*. Bogotá: Talleres Gráficos del Banco de la República.

Hispalyt. (2018). *hispalyt*. Recuperado el 10 de 1 de 2018, de Manual para el diseño y ejecucion de cubierta de tejas ceramicas: [www.hispalyt.es](http://www.hispalyt.es)

Huertas, S. (2004). *Arcos, bovedas y cupulas. Geometria y equilibrio en el calculo tradicional de estructuras de fabrica*. Madrid: Reverte.

Huertas, S. (2004). *Mecanica de las Bovedas de l catedral de Gerona*. Madrid: Reverte.

Hurtado Valdez, P. A. (2009). *La restauración de edificios construidos con tierra en zonas sísmicas: La experiencia peruana*. Lima.

Hurtado, P. (2013). Boveda de madera: características constructivas y consideraciones estructurales de las bóvedas encamionadas edificadas en Castilla. *Informe de la construcción*, 65(530), 155-162.

INCONTEC. (2005). *NTC 5324. Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. definiciones. especificaciones. metodos de ensayo. condiciones de entrega*. INCONTEC.

ININVI. (1989). *Construcción con tapial*. Lima - Peru: Instituto Nacional de Investigacion y Normalizacion de la Vivienda.

Instituto Colombiano de Cultura Hispánica. (1990). *Geografía humana de Colombia (Tomo I)*. Bogota: Universidad Javeriana de Colombia.

Jojoa Zamora, M. R. (2015). *Los pasajes en San Juan de Pasto: Su incidencia en la ciudad construida y la ciudad planeada*. Bogota: Universidad Ncional de Colombia. Tesis Magister en Historia y Teoría del Arte, la Arquitectura y la Ciudad.

Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza*. Lima: CISMID.

La Pulla. (22 de Febrero de 2018). Se nos vino el castrochavismo. Bogota, Bogota, Colombia. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=nYnFJEBJYjA>

Lafarga, A. J.-G. (1996). Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio historico. *Informes de la construcción*, 48(443), 5-14.

- Lefevre, I. (2016). *Estructuración de cubiertas de madera y accesorios*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.
- Leroy Tolles, E., E. Kimbro, E., & S. Ginell, W. (2002). *Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Llopis Pulido, V. (2014). *La catedral de Valencia: Construcción y estructura. Análisis del cimborrio* (UPV ed.). Valencia: Tesis doctoral.
- Lopez Perez, C., Ruiz Valencia, D., Jerez Barbosa, S., Quiroga Saavedra, P., Uribe Escamilla, J., & Muños Diaz, E. (2007). Rehabilitacion sismica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero. *Apuntes*, 20(2), 304-317.
- Lopez, A. J. (17 de 8 de 2017). ¿Adiós a los murales de La Candelaria? *Cartel Urbano*, pág. 1.
- Maderas Medina S.L. (2013). *Maderasmedina.com*. Obtenido de Maderasmedina.com: <https://www.maderasmedina.com/fichas-propiedades/madera-de-coniferas/pino-silvestre.html>
- Maldonado Rondon, E., Jasbon Carvajal, N. M., & Chio Cho, G. (2010). Funciones de vulnerabilidad calculadas para edificaciones en muros de hormigón reforzado. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(1), 63-82.
- Martellotts, L., Martens, D., & Teuffel, P. (2015). Review of Seismic Retrofitting Strategies for Residential Buildings in an International Context. *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)* (págs. 1-8). Amsterdam: Future Visions.
- Martínez Delgado, M. E. (13 de 9 de 2016). *Imagina Bogota*. Obtenido de Imagina Bogota: <http://imaginabogota.com/columna/patrimonio-cultural-y-reforzamiento-estructural-en-arquitectura-de-tierra-cruda/>
- Matos, G., Quiun, D., & San Bartolomé , Á. F. (1997). Ensayo de simulación sísmica en un módulo de adobe confinado. *XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil*, (pág. 8). Trujillo.
- Miccoli, L., Muller, U., & Pospisil, S. (2014). Construction and Building MATERIALS: Rammed earth walls strengthened with polyester fabric strips: experimental analysis under in plane cyclic loading. *ELSEVIER*, 61, 30.
- Miccoli, L., Olivera, D. V., Silva, R. A., Muller, U., & Schueremans, L. (Octubre de 2015). Static behaviour of rammed earth: experimental testing and finite element modelling. *Materials and Structures*, 48(10), 34.
- Michiels, T. L. (2015). Seismic Retrofitting Techniques for Historic Adobe Buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 1059-1068.
- Miletó , C., & Vegas Lopez-Manzanares, F. (2017). *Criterios de intervención en la arquitectura de tierra*. España: SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA Subdirección General de Documentación y Publicaciones.
- Ministerio de cultura. (2012). *Resolución número 0452 de 2012*. Pasto: Republica de Colombia.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2010). *Proyecto de intervención estructural de construcciones de tierra NTM002*. Santiago de Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú. (2014). *Fichas para la reparación de viviendas de adobe*. Lima: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú.

- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú. (2017). *Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*. Lima: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- Ministero per i beni e le attivita' culturali. (2004). *Ley 378*. Roma: Ministero per i beni e le attivita' culturali.
- Minke, G. (2001). *Manual de construcción en tierra*. Uruguay: Fin de siglo.
- Moreno Puchalt, J. (2015). *La iglesia de Santa Catalina de Valencia: Historia, construcción y estructura* (UPV ed.). Valencia: Tesis Doctoral.
- Mosquera Torres, G. (2010). *Vivienda y arquitectura tradicional en el Pacífico colombiano. Patrimonio cultural afrodescendiente*. Cali: Universidad del Valle- Escala S.A.
- Muños Cordero, L. (2000). *Contexto urbano de Pasto*. Pasto: Academia Nariñense de Historia.
- Niglio, O., & Valencia Mina, W. (2014). Reducción del riesgo sísmico para el patrimonio arquitectónico. Una comparación entre experiencias de Colombia y Japón. *APUNTES*, 27(1), 106-123.
- Oliva Hernandez, J. E. (29 de 5 de 2015). Casa Zarama . Pasto, Nariño, Colombia. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=1ueCr4qoYvw&list=PL1cl8UJkXZfUEVwTmQCK3SkUWgplDHbaR>
- Orduña Bustamante, A., Roeder Carbo, G., & Peña Mondragon, F. (2007). Evaluacion sismica de construcciones historicas de mamposteria: Comparacion de tres modelos de analisis. *Revista de Ingenieria Sismica*, 1(77), 71-88.
- Orio Perez , P., & Rodriguez Vidal, I. (2016). Posibilidades técnicas y formales de la tierra prensada En: Arquitectura en tierra. Historia y Renovación. XIII CIATTI. *Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016* (págs. 215-224). Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Ortega, C. (2015). *Analisis de la restructuracion arquitectonica de San Juan de Pasto 1927*. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño - Tesis de licenciatura.
- Ortega, J., Vasconcelos, G., Rodriguez, H., Correia, M., & Lourenco, P. B. (2017). Traditional earthquake resistant techniques for vernacular architecture and local seismic cultures: A literature review. *Journal of Cultural Heritage*, 181-196.
- Osante, P. (20 de 04 de 2016). ¿Qué es un pueblo sin historia? (Milenio, Entrevistador) Tampico, Mexico. Recuperado el 4 de 08 de 2018, de <http://www.milenio.com/cultura/que-es-un-pueblo-sin-historia>
- Ospina, C. A., & Sanchez Gama, C. (1990). *Bahareque*. Bogota: SENA.
- Parra Garzon, E. (4 de 01 de 1992). PASTO: ENFRENTA CRISIS DE IDENTIDAD ARQUITECTÓNICA. *El Tiempo*, pág. 1. Recuperado el 15 de 06 de 2018, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-5671>
- Parra Garzon, E. (21 de 8 de 1993). PASTO: SOS A IDENTIDAD ARQUITECTÓNICA. *El Tiempo*, pág. 1. Recuperado el 16 de 6 de 2018, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-202369>
- Parra Garzon, E. (5 de 5 de 1994). Vieja casona divide a los Pastusos. *El Tiempo*, pág. 1. Recuperado el 10 de 6 de 2018, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-120047>
- Pasto Ciudad Soñada. (10 de 5 de 2011). *Pasto Ciudad Soñada*. Recuperado el 30 de 5 de 2018, de Pasto Ciudad Soñada: <https://www.facebook.com/notes/pasto-ciudad-so%C3%B1ada/patrimonio-e-historia-de-pasto-el-predio-donde-hoy-se-encuentra-el-shirakaba-si-/10150177741416527/>

- Pasto tierra cultural. (2005). *Pasto tierra cultural*. Recuperado el 11 de 7 de 2018, de Pasto tierra cultural: <https://pastoterracultural.jimdo.com/galer%C3%ADa/galer%C3%ADa-fotogr%C3%A1fica/pasto-antiguo/>
- Pasuy Arciniegas, W. F. (2009). *Formulacion del plan de conservacion e intervencion fisica del templo del sagrado corazon de Jesus o Catedral de Pasto, Nariño, Colombia*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana - Tesis Maestria en patrimonio cultural y territorio .
- Pedraza Plazas, N. R. (2015). *Estudio de patología para la casona, monumento nacional*. Bogota: ECI.
- Peña Mondragon, F. (2010). Estrategias para el modelado y el análisis sísmico de estructuras históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 1(83), 43-63.
- Peñaranda Orias, L. (2011). *Manual para la conservación del patrimonio arquitectónico habitacional de Sucre*. Sucre - Bolivia: AECID Agencia Española De Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Perez, C. L., & Ruiz Valencia, D. (2010). Bovedas de madera y bahareque en iglesias coloniales bogotanas. Estudio de cuatro iglesias del siglo XVII. *Apuntes*, 23(1), 70-83.
- Pineda Cabrera, R. (17 de 09 de 2014). *slideshare*. Recuperado el 15 de 01 de 2018, de slideshare: <https://es.slideshare.net/Rubens1009/01-adobe-y-tapial>
- Programa PREPARE - USAID/OFDA. (2017). *Reporte final Fase I: Evaluación de riesgo sísmico*. Pasto: PREPARACIÓN DE PERSONAL DE RESCATE Y EMERGENCIA PARA MEJORAR LA RESPUESTA A SISMOS.
- Quiun, D., & San Bartolomé, Á. F. (2008). *Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento de viviendas de adobe*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Redacción Especiales. (26 de 09 de 2016). Reivindicar la tierra como material de construcción. *El Espectador*, pág. 1. Obtenido de <https://www.el espectador.com/noticias/actualidad/reivindicar-tierra-material-de-construcion-articulo-651308>
- República de Colombia - Ministerio de Cultura. (2012). Resolución número 0452 de 2012.
- Riveros Bolaños, S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. *Apuntes*, 20(2), 354-363.
- Riveros Bolaños, S., & de Valdenebro, F. (2016). *La intervención estructural en edificaciones patrimoniales construidas con tierra*. Bogota.
- Rodriguez Saenz , H., & Pablo Gil, J. (10 de 10 de 2017). *lacoloniaeci*. Obtenido de lacoloniaeci: <http://lacoloniaeci2006.blogspot.com.es/>
- Ruiz Valencia, D., Lopez Perez , C., & Rivera, J. C. (2012). Propuesta de normativa para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales. *Apuntes*, 25(2), 226-239.
- Salgado, M., Bernal, G., Yamin, L., & Cardona, O. (2010). Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10. *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes*, 28-37.

- San Bartolomé , Á. F., & Delgado, E. (2007). *Comportamiento sísmico de un módulo de adobe de dos pisos.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé Ramos, Á. F. (2014). *Blog de Ángel Francisco San Bartolomé Ramos.* Obtenido de Blog de Ángel Francisco San Bartolomé Ramos: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/adobetapial/2013/04/09/investigaciones-en-adobe-tapial-y-piedra/>
- Sanchez Cardenas, M. I. (2013). *Vulnerabilidad sísmica de construcciones patrimoniales históricas de mampostería en Chile: Aplicación a los torreones españoles de Valdivia*” (UAC ed.). Valdivia: Tesis de grado.
- Sanchez Gama, C. E. (2007). La arquitectura de tierra en Colombia, procesos y culturas constructivas. *Apuntes*, 20(2), 242-255.
- Sanchis Mullor, F. (2009). *La arquitectura en tierra. Evolucion atravez de la historia.* Valencia: Universidad Politecnica de Valencia - Tesis Master.
- Santibañez, D. (1 de 6 de 2017). *Plataforma arquitectura.* Obtenido de Plataforma arquitectura: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/868316/nuevos-espacios-para-arte-temporal-en-construcciones-patrimoniales>
- Semana. (11 de 4 de 2017). ¿Cuánto le han costado a Colombia los desastres de origen natural? *Semana*, pág. 1. Recuperado el 16 de 9 de 2017, de <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/costo-de-los-desastres-de-origen-natural-en-colombia/37528>
- SENA. (2010). *Preparacion de superficies y aplicacion de acabados. Construccion o adecuacion de espacios provisionales para el desarrollo de la obra a intervenir.* Caladas: SENA.
- SENA. (2012). *Costrucción de muros en tapia y bahareque.* Bogota: SENA.
- Servicio Geologico Colombiano. (2009). *Servicio Geologico Colombiano.* Obtenido de Servicio Geologico Colombiano: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanGaleras/Paginas/geovulcanologia.aspx>
- Solis, M., Torrealva, D., Santillan, P., & Montoya, G. (2015). Analisis del comportamiento a flexion de muros de adobe reforzado con geomallas. *Informes de la construccion*, 67(539), 1-12.
- Sosa Cardenas, C. A., & Soto Oblea, E. J. (2014). *Reparación de Muros de Construcciones Históricas de Tierra Mediante El Sellado de Fisuras y Refuerzos Estructurales Adicionales.* Lima - Peru: Pontificia Universidad Catolica del Peru - Tesis para optar el grado academico de master en ingenieria civil.
- Southern African Development Community Cooperation in Standardization's. (2014). *SADC harmonized standard for rammed earth structures – Code of practice.* Zimbabwe: Southern African Development Community Cooperation in Standardization's.
- Torrealva, D. E., & Vicente, E. F. (2014). Experimental behaviour of traditional seismic retrofitting techniques in earthen buildings in Peru. *SAHC2014 – 9 International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions* (pág. 12). Ciudad de Mexico: F. Peña & M. Chávez. Obtenido de <http://www.hms.civil.uminho.pt/sahc/2014/topic07-fullpaper009.pdf>
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre Reducion del riesgo de Desastre.* Ginebra, Suiza: Naciones Unidas.

- Universidad de los Andes. (26 de 7 de 2018). Patrimonio de Bogota podria estar en riesgo de colapso. Bogota, Bogota, Colombia. Recuperado el 20 de 8 de 2018, de <https://uniandes.edu.co/es/noticias/ingenieria/patrimonio-colombiano-en-riesgo-de-colapso>
- Universidad de Nariño. (11 de 17 de 2010). flickr. Obtenido de flickr: <https://www.flickr.com/photos/udenardigitalfotos/5185411808/in/photostream/>
- Uribe Kaffure, C., Lopez Perez, C., & Ruiz Valencia, D. M. (2014). Casas consistoriales en Cundinamarca. Estudio de caso de la casa del municipio de Cogua. *Apuntes*, 27(1), 124-141.
- V. Z. (11 de 1 de 2016). Blogspot. Recuperado el 6 de 10 de 2017, de Blogspot: <http://indigenas2158441.blogspot.com.es/2013/01/historia-precolombina.html>
- Varios Autores. (1924). *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americanana. Tomo XXVI*. Espasa Calpe. Obtenido de <https://www.todocoleccion.net/coleccionismo/lamina-espasa-002340-plano-pasto-colombia~x55895947>
- Vidal, A. R. (Dirección). (2012). *El Adobe. Manual audiovisual de reforzamiento* [Película]. Chile. Obtenido de <https://vimeo.com/63982959?ref=fb-share>
- Wikipedia. (2018). Wikipedia. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- Yamin Lacouture, L. E., Philips 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*, 20(2), 286-303.
- Yamin, L. E., Rodriguez, A. E., Fonseca, L. R., Reyes, J. C., & Phillips, C. A. (2004). *Comportamiento Sísmico y alternativas de rehabilitacion de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida, ensayados en mesa vibratoria*. Bogota: Universidad de los Andes / Facultada de ingenieria.
- Yoza, L., Baradit, E., & Acevedo, M. (2015). Caracterizacion de las propiedades fisico mecanicas de especies, pino (*Pinus patul*) y tornillo ( *cedrelinga cateniformis*) provenientes del perú utilizando tecnicas no destructivas. *Anales Científicos*, 76(1), 12-16. Obtenido de file:///C:/Users/luisp/Downloads/Dialnet-CaracterizacionDeLasPropiedadesFisicoMecanicasDeEs-6171093%20(1).pdf
- Yuste, B. (2010). *Arquitectura de tierra. Caracterizacion de los tipos edificatorios*. Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña / Máster Arquitectura Energía y Medio Ambiente.
- Zeil, W. (1986). *The Andes: A Geological Review (Beitrage Zur Regionalen Geologie Der Erde)*. California: Gebruder Borntraeger Verlagsbuchhandlung.

## 12 Lista

### 12.1 Listado de Figuras

Figura 1 Terremoto en Popayán 1999, Artista: Fernando Botero, Técnica: Óleo sobre tela, Dimensiones: 173 x 112 cm. FUENTE: (Banco de la república de Colombia, 2000).	3
Figura 2 Ubicación Casa Zarama, Centro histórico de Pasto, actualidad.	50
Figura 3 Ubicación de la Caza Zarama. Plano histórico de la Ciudad de Pasto elaborado por Alejandro Vélez en 1816. FUENTE: (Universidad de Nariño, 2010).	50
Figura 4 Ubicación Casa Zarama, Mapa de perdida en vidas ante un terremoto durante horas del día (Programa PREPARE - USAID/OFDA, 2017).	51
Figura 5 Localización Casa Zarama, Mapa PGA de diseño sísmico amplificado para Pasto (Programa PREPARE - USAID/OFDA, 2017).	51
Figura 6 Muro en tapia, detalle del autor.	60
Figura 7 Encuentro en "L". Muro de tapia, detalle del autor.	61
Figura 8 Encuentro en "T". Muro de tapia, detalle del autor.	61
Figura 9 Encuentro en "cruz". Muro de tapia, detalle del autor.	62
Figura 10 Vano con dintel de madera y tacos para marco de puerta, detalle del autor.	63
Figura 11 Isométrico de bloque de tapia, detalle del autor.	64
Figura 12 Armado muro en Bahareque, detalle del autor.	67
Figura 13 Enlucido muro de tapia, detalle del autor.	69
Figura 14 Distribución vigas entre piso primera planta, detalle del autor.	71
Figura 15 Distribución pavimentos segunda planta, detalle del autor.	72
Figura 16 Entrepiso de baldosa, detalle del autor.	73
Figura 17 Estructura del corredor, detalle del autor.	74
Figura 18 Entablado de entrepiso, detalle del autor.	75
Figura 19 Elementos principales de los balcones, detalle del autor.	76
Figura 20 Ubicación de armadura de cubierta, detalle del autor.	77
Figura 21 Armadura Pasillo – Salón – Fachada, detalle del autor.	78
Figura 22 Armadura Pasillo - Salón - Pasillo, detalle del autor.	78
Figura 23 Armadura Pasillo - Salón - Culata, detalle del autor.	79
Figura 24 Distribución vigas y tirantes cubierta, detalle del autor.	80
Figura 25 Unión pendolón y tirante, detalle del autor.	81
Figura 26 Pilar de adobe, detalle del autor.	82
Figura 27 Elementos que componen la cercha (Pendolón, tornapunta, pares, tirante, jabalón y pilares de adobe), detalle del autor.	82
Figura 28 Deposición cercha y tirantes, detalle del autor.	83
Figura 29 Disposición de la cumbre, detalle del autor.	84
Figura 30 Disposición par complementario y elementos de recubrimiento, detalle del autor.	84
Figura 31 Armado de tejas y disposición de listones, detalle del autor.	85
Figura 32 Geometría y disposición de tejas. FUENTE: (Hispalyt, 2018).	86
Figura 33 Armado de lima hoyo, detalle del autor.	87
Figura 34 Alero de la fachada, detalle del autor.	88
Figura 35 Alero del patio interno, detalle del autor.	89
Figura 36 Armado cielo raso bajo tirantes, salones, detalle del autor.	92
Figura 37 Armado cielo raso sobre vigas, pasillos, detalle del autor.	93
Figura 38 Cuantificación de material por metro cuadrado del tejado, detalle del autor.	107
Figura 39 Cuantificación de material por metro cuadrado del cielo raso, detalle del autor.	109
Figura 40 Cuantificación de material por metro cuadrado del entre piso – Entablado, detalle del autor.	110
Figura 41 Cuantificación de material por metro cuadrado del entre piso – Baldosa, detalles del autor.	112
Figura 42 Pasos de carga para análisis Pushover.	120

Figura 43 Acelerogramas artificial compatible con el espectro de diseño para la Casa Zarama.	122	
Figura 44 Espectro de respuesta del acelerogramas artificial y espectro de diseño para la Casa Zarama.	122	
Figura 45 Modelo de la Casa Zarama, estado actual, ANGLE.	126	
Figura 46 Modos de vibración de la Casa Zarama estado actual.	127	
Figura 47 Deformaciones verticales Z debido a cargas gravitatorias.	128	
Figura 48 Daño isótropo de la estructura debido a cargas gravitacionales (1. Rojo, Daño total – 0. Azul sin daños).	129	
Figura 49 Estimación de aparición de fisuras para cargas gravitacionales, Fachadas Casa Zarama, detalle del autor.	130	
Figura 50 Curva demanda estructural.	131	
Figura 51 Curva capacidad – Pasos de carga.	131	
Figura 52 Curva capacidad estructural - demanda sísmica.	132	
Figura 53 Deformación en Y, no lineal con respecto al tiempo, nodo 26110.	132	
Figura 54 Deformaciones ante cargas sísmicas, ubicación nodo 26110.	133	
Figura 55 Daño isótropo de la estructura debido a sismos, máximo desplazamiento, 3.9 segundos (1. Rojo, Daño total – 0. Azul sin daños).	134	
Figura 56 Esquema de fallas debido a sismo de los muros de la Casa Zarama.	135	
Figura 57 Anclaje con varilla corrugada en las intersecciones de muros contiguos a vanos o a edificaciones vecinas, detalle del autor.	139	
Figura 58 Propuesta reforzamiento con maderas confinantes y anclaje de acero corrugado. Esquina Casa Zarama, primera planta, detalle del autor.	141	
Figura 59 Disposición de refuerzo de madera confinante y malla en las fachadas de la Casa Zarama, detalles del autor.	142	
Figura 60 Anclaje y viga de coronación. El anclaje sujetta el tirante y la viga de coronación, detalle del autor.	143	
Figura 61 Refuerzo del entrepiso existente mediante nuevo entablado, detalle del autor.	143	
Figura 62 Vivienda sobre el Río Amazonas, Amazonas, extremo Sur de Colombia. FUENTE: uniquecolombia.com.	168	
Figura 63 Arquitectura de la Aldea Kogui, Sierra nevada de Santa Marta, Magdalena, Norte de Colombia FUENTE: (Gomez Jimenez , 2009)	168	
Figura 64 Ancianos Koguis. FUENTE: <a href="https://www.flickr.com/photos/tatianapereira/7099589749/sizes/l/">https://www.flickr.com/photos/tatianapereira/7099589749/sizes/l/</a>	169	
Figura 65 Pueblo indígena Nabusimake, Sierra nevada de Santa Marta, Norte de Colombia. FUENTE: Colombia Travel.	170	
Figura 66 Terrazas en Ciudad perdida, también llamada Teyuna y Buritaca, Sierra Nevada de Santa Martha, Norte de Colombia.	FUENTE: <a href="http://caracol.com.co/radio/2016/03/07/fotorrelato/1457363396_541872.html#1457363396_541872_1457363651">http://caracol.com.co/radio/2016/03/07/fotorrelato/1457363396_541872.html#1457363396_541872_1457363651</a> .	170
Figura 67 Escultura en piedra, Parque arqueológico de San Agustín, Huila, Sur de Colombia. FUENTE: <a href="https://co.pinterest.com/pin/365002744775030188/">https://co.pinterest.com/pin/365002744775030188/</a> .	171	
Figura 68 El Tambo, casa rural de autóctonas a tradicional negra del Pacífico colombiano, Buenaventura, Valle del Cauca, Oeste de Colombia. FUENTE: (Mosquera Torres, 2010) Foto por Robert West.	171	
Figura 69 Mural "Rueda" pintado en 1939 por José Clemente Orozco en Hospicio Cabañas, Guadalajara, Jalisco, México. Foto tomada por el autor.	172	
Figura 70 Casa típica del Eje Cafetero, Salamina, Caldas, Centro-oeste de Colombia. Foto: Torobay.	173	
Figura 71 Plaza Villa de Leyva, Boyacá, Centro de Colombia. FUENTE: Aventure Colombia.	173	
Figura 72 Templo de congreso, Cúcuta, Norte de Santander, Nor-este de Colombia FUENTE: <a href="http://wikimapia.org/15848248/Templo-Historico-de-Villa-Del-Rosario">http://wikimapia.org/15848248/Templo-Historico-de-Villa-Del-Rosario</a> .	174	
Figura 73 Templo San Laureano, Bucaramanga, Santander, Nor-este de Colombia. FUENTE: La Montaña Producciones, Vía Google Maps.	174	
Figura 74 Intervención del 2017 en mural de Rodez, La Candelaria, Bogotá, Centro de Colombia. FUENTE : (Lopez, 2017).	175	
Figura 75 Construcciones coloniales con balcones floridos y la Catedral de la ciudad, Plaza Bolívar, Cartagena de Indias, Bolívar, Costa caribe, Norte de Colombia. FUENTE: Shutterstock.	175	
Figura 76 Centro Histórico de Mompox, Bolívar, Norte de Colombia. FUENTE: (Colparques, 2018)	176	
Figura 77 Calles de Barichara, Santander, Nor-este de Colombia. FUENTE: foursquare.com.	177	
Figura 78 Vivienda campesina, Pitalito, Huila, Sur de Colombia. FUENTE: <a href="http://nuevaera66.blogspot.com.es">http://nuevaera66.blogspot.com.es</a> .	177	
Figura 79 Fachada Casa Zarama, Pasto, Nariño, Sur de Colombia. FUENTE: <a href="http://www.panoramio.com/user/6748382">http://www.panoramio.com/user/6748382</a> .	178	

Figura 80 Patio interior de la Casa Zarama FUENTE: <a href="http://www.cotelconarino.org/informacion-general/54-san-juan-de-pasto.html">http://www.cotelconarino.org/informacion-general/54-san-juan-de-pasto.html</a> .	178
Figura 81 Sistema de drizas para el reforzamiento estructural de una edificación de adobe – Belén, Chile. FUENTE: (Giribas, 2017).	179
Figura 82 Sistema de reforzamiento estructural con tiras de llantas de carro recicladas. FUENTE: (Charleson, 2011).	179
Figura 83 Sistema de reforzamiento estructural con riatas de poliéster. FUENTE: (Miccoli, Muller, & Pospisil, Construction and Building MATERIALS: Rammed earth walls strengthened with polyester fabric strips: experimental analysis under in plane cyclic loading, 2014).	180
Figura 84 Sistema de reforzamiento estructural con bambú. FUENTE: (Blondet M. , Torrealva, Villa Garcia , Ginocchio, & Madueño, 2005).	180
Figura 85 Sistema de confinamiento mediante vigas y columnas de concreto reforzado- Morropón, Piura. FUENTE: (San Bartolomé Ramos, 2014).	180
Figura 86 Falla en "V", muro de adobe con estructura de confinamiento a porticado de concreto reforzado. FUENTE: (San Bartolomé & Delgado, 2007).	181
Figura 87 Refuerzo con tensores de madera. Esquina con "llaves", muros con "grapas", Sucre - Bolivia. FUENTE: (Peñaranda Orias, 2011).	181
Figura 88 Refuerzo mediante varillas de acero postensadas. FUENTE: (Lopez Perez, y otros, 2007).	182
Figura 89 Refuerzo mediante platinas de acero. FUENTE: (Universidad de los Andes, 2018)	182
Figura 90 Rehabilitación de patrimonio con concreto - Salón circular Dionisio, Compañía 1263, Chile. FUENTE: Felipe Ugarte.	183
Figura 91 Mural de personajes históricos de la política colombiana asesinados. Izquierda Jorge Eliécer Gaitán (1903-1948); Centro, Jaime Garzón (1960-1999); Derecha, Luis Carlos Galán (1943-1989). Por MosKu. FUENTE: <a href="https://www.facebook.com/MosKu4?hc_location=uf">https://www.facebook.com/MosKu4?hc_location=uf</a> .	184
Figura 92 Ubicación Casa Zarama. Vista Calle 19, Plazas de Nariño, al fondo el volcán Galeras. Realizado por Alphons Stubel en 1869. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009).	184
Figura 93 Ubicación Casa Zarama, Panorámica de la ciudad de Pasto, 1902. FUENTE: (Universidad de Nariño, 2010).	185
Figura 94 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la Casa de don Lorenzo, Alcaldía Municipal de Pasto. FUENTE: (Pasto tierra cultural, 2005).	186
Figura 95 Ubicación Casa Zarama, Vista desde cubierta de la iglesia de San Juan. FUENTE: (Pasto tierra cultural, 2005).	186
Figura 96 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la Carrera 24, al fondo campanario de San Agustín. FUENTE: (Pasto tierra cultural, 2005).	187
Figura 97 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la plaza de Nariño sobre la Calle 18. FUENTE: (Archivo fotográfico banco Maestro Eduardo Campo Pantoja).	187
Figura 98 Ubicación Casa Zarama, Vista Calle 18 No 24. FUENTE:	188
Figura 99 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la calle 18, al fondo la Iglesia San Juan. FUENTE: (Archivo fotográfico banco Maestro Eduardo Campo Pantoja).	188
Figura 100 Erupción del volcán Galeras, 1932. FUENTE: (Universidad de Nariño, 2010).	189
Figura 101 Centro Shirakaba, "La antigua casona, donde según estudios de la Academia Nariñense de Historia, fue la primera propiedad donde se apresó a Antonio Nariño en el año de 1814" (Pasto Ciudad Soñada, 2011)- Plaza de Nariño, Centro de Pasto. Foto tomada por el autor.	190
Figura 102 Fachada Casa Zarama. Plano horizontal - Calle 18; Plano inclinado - Carrera 24. Foto tomada por el autor.	190
Figura 103 Hall, segundo piso Casa José Antonio. Foto tomada por el autor.	191
Figura 104 Interior aparta estudio, segundo piso, Casa José Antonio. Foto tomada por el autor.	192
Figura 105 Roca utilizada para la construcción de cimentación, Calle 10 No 25 – 10. Foto tomada por el autor.	193
Figura 106 Rocas volcánica en el subsuelo, Calle 10 No 25 – 10. Foto tomada por el autor.	193
Figura 107 Ausencia de junta sísmica entre la edificación en tapia y las construcciones de rigidez y alturas distintas, Frente la Casa Zarama, Calle 18 No 23. Foto tomada por el autor.	194
Figura 108 Sobre cargas causados por motos en entrepiso de segunda planta, Berlimotos, Carrera 28 No 18-45. Foto tomada por el autor.	194
Figura 109 Humedad basal de muro de tapia. Parqueadero Carrera 24 No 21. Foto tomada por el autor.	195

Figura 110 Distintos pavimentos del primer piso de la Casa Zarama (Arriba). / Anden de laja negra, Calle del centro de Pasto - Piso de baldosa de barro, Carpintería, Calle 11 No 26 - 24 Mosaico baldosa hidráulica, Iglesia la merced, Calle 18 No 22 (Abajo). Foto tomada por el autor.	196
Figura 111 Curso práctico de tapia pisada, Cabanes, Valencia – 2017. Foto tomada por el autor.	197
Figura 112 Disposición de adobe dentro del tapial. Posición cabeza (Izquierda) / Posición parámetro (Derecha). Foto tomada por el autor.	197
Figura 113 Muro de tapia, grieta vertical bajo junta del bloque superior, Parqueadero Calle 17 No 28. Foto tomada por el autor.	198
Figura 114 Corte muro de tapial cara interna a la vivienda. Carrera 27 No 15. Foto tomada por el autor.	198
Figura 115 Refuerzo horizontal con madera rolliza. Parqueadero Carrera 24 No 21. Foto tomada por el autor.	199
Figura 116 Dintel de madera en todo el espesor del muro, Segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	199
Figura 117 Arco, Local comercial primera planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	200
Figura 118 Corte de casa republicana en tapia. Parqueadero Calle 22 No 21 <sup>a</sup> . Foto tomada por el autor.	201
Figura 119 Flecha en vano de fachada. Parqueadero Calle 19 No 21. Foto tomada por el autor.	201
Figura 120 Estructura de la culata y hastial en bloque de Adobe, Calle 18 No 26. Foto tomada por el autor.	202
Figura 121 Terminación y anclaje del muro de bahareque con los tirantes. Foto tomada por el autor.	202
Figura 122 Muro en bahareque, Genoy, Nariño. Foto tomada por el autor.	203
Figura 123 Bloques de adobe. Foto tomada por el autor.	203
Figura 124 Sócalo en barro y recubrimiento de pañete de cal, Nariño, Nariño. Foto tomada por el autor.	204
Figura 125 Picado del muro de tapia. Nariño, Nariño. Foto tomada por el autor.	205
Figura 126 Enlucido con capas de diversos materiales. Catambuco, Nariño. Foto tomada por el autor.	205
Figura 127 Enlucido y guarda sillas internas de la Casa Zarama, Ventura Café. Foto tomada por el autor.	206
Figura 128 Sistema de entrepiso con viga rolliza, Primera planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	206
Figura 129 Estructura del entablado, Local comercial primera planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	207
Figura 130 Pavimento de baldosa hidráulica y entablado, Pasillos segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	207
Figura 131 Pedestal del pilar de madera, Patio interno primera plana, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	208
Figura 132 Pilares de madera, Patio interno, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	208
Figura 133 Estructura pasillos. 1, Casa Campesina, Cabrera. 2, Casa Campesina, Vía Genoy – Nariño. 3, Constructora Rumipamba, Pasto. 4, Casa Navarrete, Pasto. Foto tomada por el autor.	209
Figura 134 Ensamble a media madera viga de carga, Casa Navarrete, Calle 17 No 24. Foto tomada por el autor.	209
Figura 135 Unión muro de tapia y tirantes, con enlace de bloques de adobe “encoroce”, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	210
Figura 136 Unión en boca de pescado: pendolón -cumbreña; Izquierda. Unión tipo espiga con refuerzo con alambre: pendolón - tirante. Derecha, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	210
Figura 137 Par apoyado directamente sobre el tirante, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	211
Figura 138 Pares y tornapuntas de sección variables, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	211
Figura 139 Detalle unión en espiga Par – Tornapunta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	212
Figura 140 Pilar de adobe, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	212
Figura 141 Pilates de adobe, Parqueadero Calle 21 No 20. Foto tomada por el autor.	213
Figura 142 Separación de los listones dependiendo a la posición de la teja, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	213
Figura 143 Patio interno Casa Zarama, recubrimiento en tejas de barro, Patio interior, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	214
Figura 144 Lima hoyo. Unión entre dos planos mediante una canaleta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	214
Figura 145 Bajante agua lluvias, Patio interno, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	215
Figura 146 Alero patio interno - Izquierda / Alero fachada – Derecha, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	216
Figura 147 Placa en concreto y murete del alero de la fachada, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	216
Figura 148 Gotero, encuentro del tejado con culata de la Casa obispal, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	217

Figura 149 Protección de coronación de muros, mediante láminas de zinc, Salón de eventos Iraka, Calle 17 No 26. Foto tomada por el autor.	217
Figura 150 Instalaciones eléctricas para mantenimiento, soberado (Luces, toma corriente e interruptor), Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	218
Figura 151 Deterioro en los listones debido a los vapores expulsados por la tubería de Re-ventilación, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	219
Figura 152 Reparación de cubierta con láminas de Eternit y recubrimiento de tejas de barro, Casa Navarrete, Calle 17 No 24. Foto tomada por el autor.	219
Figura 153 Canaleta con material vegetal, Patio externo, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	220
Figura 154 Falsos techos construidos abajo del cielo Razo original de la cubierta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	220
Figura 155 Amarre de chacla mediante cabuya, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	221
Figura 156 Amarre con alambre de la chacla a las correas, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	221
Figura 157 Amarre de correas mediante alambre, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	222
Figura 158 Amarre de correas mediante cabestro, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	222
Figura 159 Detalle amarre en cabestro, sostenida con una puntilla clavada al tirante, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	223
Figura 160 Tiras de cabestro para amarre, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	223
Figura 161 Cielo raso, Salón segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	224
Figura 162 Cielo raso sobre viga canecillo, Pasillos, Cubierta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	224
Figura 163 Cielo raso sobre viga canecillo, Pasillos segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	225
Figura 164 Apertura de vano para la instalación de escalera, Ventura Café, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.	225
Figura 165 Refuerzo con platinas metálicas y tornillos en las uniones de la cercha de cubierta, Casa Jose Antonio. Foto tomada por el autor.	226
Figura 166 Trabajos en campanarios, Templo San Juan Bautista (Google maps – 2014).	226
Figura 167 Protección de cubierta, Casa esquinera Calle 17-23. Foto tomada por el autor.	227
Figura 168 Mantenimiento en aleros, Calle 14. Foto tomada por el autor.	228
Figura 169 Sistema de arriostramiento mediante cuñas de madera en los extremos externos de los tirantes, Casa campesina, Nariño, Nariño. Foto tomada por el autor.	228
Figura 170 Tipología de la vivienda rural del Pacífico colombiano. Estructura en madera labrada; cubierta en hojas de palma; y cerramientos en tabla sin cepillar, esterilla y palmiche, Buenaventura, Valle del Cauca, Oeste de Colombia. FUENTE: (Mosquera Torres, 2010).	229
Figura 171 Grietas típicas de edificio de adobe después de sismo. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	230
Figura 172 Daños causados por fuerzas fuera del plano. FUENTE: (Ortega, Vasconcelos, Rodriguez, Correia, & Lourenco, 2017).	230
Figura 173 Daño en esquina fisura vertical. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	231
Figura 174 Daño en esquina fisura diagonal. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	231
Figura 175 Daños vanos fisuras diagonal. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	231
Figura 176 Daño intersección de muros. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	232
Figura 177 Daño en la parte superior del muro. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	232
Figura 178 Sistema de refuerzo estructural con madera de confinamiento. FUENTE: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2004).	232
Figura 179 "Zuncho" perimetral de madera. FUENTE: (Kuroiwa, 2002).	233
Figura 180 Refuerzo de mediante tirantes. FUENTE: (Ortega, Vasconcelos, Rodriguez, Correia, & Lourenco, 2017).	233
Figura 181 Refuerzo placa de concreto (Derecha) / Refuerzo entablado de madera (Izquierda). FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, 2004).	234
Figura 182 Anclaje entrepiso - muro, con varilla de acero. FUENTE: (Martellotts, Martens, & Teuffel, 2015).	234
Figura 183 Refuerzo metálico en esquinas. FUENTE: (Broughton W).	235
Figura 184 Refuerzo en esquinas. FUENTE: (Ortega, Vasconcelos, Rodriguez, Correia, & Lourenco, 2017).	235
Figura 185 Proceso constructivo de muro de tapia (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, 2004).	236

Figura 186 Vista y procedimientos en la construcción de una casa en tapia pisada. FUENTE: (SENA, 2012). _____	237
Figura 187 Limites geométricos según diferentes autores y códigos. FUENTE: (Gaete Cruz, 2010) Izquierda / (Department of Urban Development and Building Construction, 1994) Centro / (Ministerio de vivienda. construcción y saneamiento del Perú, 2017) Derecha. _____	237
Figura 188 Disposición de fuerzo con relación a los dinteles. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004). _____	238
Figura 189 Dimensión de regatas en muros de tapia. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004). _____	238
Figura 190 Instalación de pernos en las intersecciones de los refuerzos. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004). _____	239
Figura 191 Instalacion de refuerzo de madera. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004). _____	239
Figura 192 Disposición platinas en esquinas y uniones de refuerzos. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004). _____	240
Figura 193 Instalación malla tipo Ageo. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004). _____	240
Figura 194 Anclajes viga corona. FUENTE: (Giles Castillo, Scarponi, & Galindez, 2010) _____	241
Figura 195 Afiche 45 año de la Sociedad Colombiana de Arquitectos - Regional Nariño, Casa de José Antonio, diseño del autor. _____	242
Figura 196 Mapa: Principales fundaciones 1525-1550. Principio de la conquista. FUENTE: Base de datos "Historia Municipal". Fundación de Estudios Históricos Misión Colombia. (Bernard & Zambrano, 1993). _____	243
Figura 197 Mapa: Fundaciones 1550-1600. Fin de la conquista / Principio de la colonia. FUENTE: Base de datos "Historia Municipal". Fundación de Estudios Históricos Misión Colombia. (Bernard & Zambrano, 1993). _____	244
Figura 198 Mapa comunidades españolas. Izquierda, Castilla. Centro, Extremadura. Derecha, Andalucía. FUENTE: (Wikipedia, 2018). _____	244
Figura 199 Densidad en población por cabecera, en Colombia, 1993 y 2005 FUENTE: DANE. _____	245
Figura 200 Ubicación de las construcciones en tierra con relación a la amenaza sísmica. (Sanchez Gama, 2007). _____	246
Figura 201 Desarrollo de la zona de subducción de la placa de Nazca y suramericana, Zona de los Andes. FUENTE: (Zeil, 1986, 126). _____	247
Figura 202 Cordilleras de los Andes, Sur- Occidente de América. FUENTE: (Zeil, 1986, 69). _____	248
Figura 203 Cordillera Occidental, central y oriental de Colombia. FUENTE: (Zeil, 1986, 82) _____	249
Figura 204 Distribución construcciones de tierra por el mundo. FUENTE: (Yuste, 2010, 40). _____	249
Figura 205 Mapa indicativo de fallas y pliegues cuaternarias activos en Colombia. FUENTE: INGEOMINAS. _____	250
Figura 206 Localización epicentral de los sismos con $M_s \geq 3$ (1541-2009). FUENTE: (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	250
Figura 207 Registro histórico de sismos en el departamento de Nariño, Colombia. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009). _____	251
Figura 208 Registro histórico de sismos en Colombia. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009). _____	252
Figura 209 Zonificación de amenaza sísmica de Colombia. FUENTE: Figura A.2.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	253
Figura 210 Valores $A_a$ (Aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ). FUENTE: Figura A.2.3-2 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	254
Figura 211 Valores $A_v$ (Aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ). FUENTE: Figura A.2.3-3 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	255
Figura 212 Valores $A_e$ . FUENTE: Figura A.10.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente). _____	256
Figura 213 Izquierda, Localización de Colombia - Centro, localización de Pasto en Colombia - Derecha, localización de Pasto en Nariño. FUENTE: (Wikipedia, 2018). _____	256
Figura 214 Plan especial de manejo y protección (PEMP) del centro histórico, bienes de interés cultural nacional (BICN), y de inmuebles aislados de interés cultural (BIC), del municipio de Pasto, Casa Zarama. FUENTE: Alcaldía de Pasto. _____	257
Figura 215 Ubicación Casa Zarama, POT - PEMP. FUENTE: (Alcaldía de Pasto, 2013). _____	257
Figura 216 Mapa geológico de Pasto, Plancha 429 FUENTE: INGEOMINAS. _____	258

Figura 217 Plano crecimiento urbano en Pasto, en negro población en 1816. FUENTE: (Alcaldía de Pasto, 2013).	259
Figura 218 Plano de la parroquia de Güepsa, Santander, Nor-oriente de Colombia, 1803. FUENTE: (Archivo General de la Nación).	260
Figura 219 Ubicación Casa Zarama en lamina del plano de la ciudad de Pasto. FUENTE: (Varios Autores, 1924).	261
Figura 220 Ubicación Casa Zarama en el plano de la ciudad de Pasto elaborado por Hijinio Muñoz en 1864. FUENTE: (Fonseca González, 2009).	262
Figura 221 Ubicación Casa Zarama en el plano de tuberías para Pasto, 1919. FUENTE: (Fonseca González, 2009).	263
Figura 222 Ubicación Casa Zarama en plano direccional de Pasto, 1928. FUENTE: (Fonseca González, 2009).	264
Figura 223 Ubicación Casa Zarama en plano centro de Pasto. Se observa configuración de la cubierta de la Casa Zarama y actual Casa Juan Antonio. FUENTE: (Jojoa Zamora, 2015).	265
Figura 224 Zonificación de amenaza sísmica en el departamento de Nariño. FUENTE: INGEOMINAS, 1996.	266
Figura 225 Sistema de geo codificación de la ciudad de Pasto. Vía principal No Vía generadora – Distancia en metros a la vía generadora (Grupo de Investigación GRIAS- KDD, 2016).	267
Figura 226 Primera Planta, Casa Zarama y Casa José Antonio en la actualidad. FUENTE: (Planos Casa Zarama: Ing. Leonor / Planos Casa José Antonia: Arq. Mauricio Conto).	269
Figura 227 Segunda Planta, Casa Zarama y Casa José Antonio en la actualidad. FUENTE: (Planos Casa Zarama: Ing. Leonor / Planos Casa José Antonia: Arq. Mauricio Conto).	270
Figura 228 Esbeltez de muros, Primera planta, Casa Zarama. Amarillo: Muros gruesos / Rojo: Muros moderados.	271
Figura 229 Esbeltez de muros, Segunda planta. Casa Zarama. Amarillo: Muros gruesos / Rojo: Muros moderados.	272
Figura 230 Sectorización según uso. Segunda Planta, Casa Zarama.	273
Figura 231 Modelo de las distintas armaduras de cubiertas de la Casa Zarama.	273
Figura 232 Deformada de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.	274
Figura 233 Diagrama esfuerzos axiales, de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.	274
Figura 234 Diagrama de esfuerzos cortantes Vy, de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.	274
Figura 235 Diagrama de momentos Mz, de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.	275
Figura 236 Reacciones de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.	275
Figura 237 Ejes de la estructura de la Casa Zarama.	275
Figura 238 Modelo en malla para muros de tapia.	276
Figura 239 Relajaciones en momentos Z de vigas y pilares. 0.4 apoyo elementos madera, 0.9 empotramiento tapia primera planta, 0.6 empotramiento tapia segunda planta.	276
Figura 240 Mallado de la estructura de la Casa Zarama (Muros de tapia: Morado / Vigas canes: Azul / Viga rolliza: Rojo/ Viga de carga: Naranja / Pilares: Verde oscuro / Dinteles: Verde claro).	277
Figura 241 Convergencia de los elementos del mallado en nudos.	277
Figura 242 Asignación de apoyos empotrados, en cada nudo de los elementos estructurales a nivel del suelo ( $M \neq 0$ ).	278
Figura 243 Modelamiento de los muros de tapia, con sólidos en dos capas de la Casa Zarama (Primer piso, sección interna del muro: Rojo / sección externa: Naranja / Segundo piso, sección interna del muro: Verde / sección externa: Morado).	278
Figura 244 Asignación de cargas, en la superficie aferente en dos direcciones para la distribución de cargas a los elementos estructurales ( Superficie ferente: Cian / Carga superficial : Rojo).	279
Figura 245 Asignación de esfuerzos transmitidos por la cubierta a los tirantes, vigas y canecillos (Cargas puntuales: Verdes).	279
Figura 246 Modelo de escalera principal con elemento tipo láminas de la Casa Zarama en ANGLE.	280
Figura 247 Carga linealmente distribuida sobre viga de apoyo de la escalera.	280
Figura 248 Modelo estructural de la Casa Zarama en ANGLE.	281
Figura 249 Definición propiedades mecánica de los materiales en ANGLE.	281
Figura 250 Definición de los parámetros sísmicos en ANGLE.	282
Figura 251 Definición de pasos de carga en ANGLE.	282
Figura 252 Esfuerzos a tensión 0-0.02 MPa (Arriba) Esfuerzos a compresión 0-0.52 MPa (Abajo), paso 20, ANGLE.	283
Figura 253 Daño de la estructura en función del tiempo, 0 - 0.8 - 0.9 - 1.1 - 1.5 segundo, ANGLE.	283

## 12.2 Listado Tablas

Tabla 1 Principales eventos sísmicos ocurridos en Colombia, autor.	31
Tabla 2 Principales intervenciones observada de la Casa Zarama, autor.	53
Tabla 3 Ficha cronológica de la Casa Zarama, autor.	57
Tabla 4 Clasificación de la esbeltez de los muros. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	95
Tabla 5 Límite de espesores para la clasificación según esbeltez, autor.	96
Tabla 6 Comprobación geométrica de vanos y muros externos primer piso, autor.	97
Tabla 7 Comprobación geométrica de vanos y muros internos primer piso, autor.	98
Tabla 8 Comprobación geométrica de vanos y muros externos segundo piso, autor.	98
Tabla 9 Comprobación geométrica de vanos y muros internos primer piso, autor.	99
Tabla 10 Longitudes máximas de vanos y secciones de muro sin arriostrar según $S_h$ , autor.	99
Tabla 11 Distancia mínima entre vanos - intercesión y vanos - vanos, según nivel, autor.	100
Tabla 12 Área transversal de los muros, primera y segunda planta / Área cubierta, autor.	100
Tabla 13 Cualificación puntos critico de la Casa Zarama.	102
Tabla 14 Propiedades mecánicas de la tapia y madera de pino.	105
Tabla 15 Densidad de materiales.	106
Tabla 16 Cargas vivas para el modelo estructural de la Casa Zarama.	106
Tabla 17 Cargas tejado, autor.	108
Tabla 18 Cargas cielo raso, autor.	109
Tabla 19 Carga entre piso – Entablado, autor.	111
Tabla 20 Carga entre piso – Baldosa, autor.	112
Tabla 21 Reacciones armadura cubierta, Pasillo - salón – pasillo, autor.	113
Tabla 22 Reacciones armadura cubierta, Pasillo - salón – fachada, autor.	114
Tabla 23 Reacciones armadura cubierta, Pasillo - salón – culata, autor.	114
Tabla 24 Reacciones apoyo superior de la escalera, autor.	115
Tabla 25 Combinaciones de cargas.	115
Tabla 26 Parámetros sísmicos de la Casa Zarama.	118
Tabla 27 Parámetros sísmicos para Caso 1-2-3-4.	119
Tabla 28 Clasificación umbrales de daño (RISK-EU).	121
Tabla 29 Umbrales de los estados de daño (Llopis Pulido, 2014).	121
Tabla 30 Parámetros para cálculo del modelo del estado actual de la Casa Zarama.	125
Tabla 31 Modos de vibración para el modelo de la Casa Zarama estado actual.	126
Tabla 32 Comparación alternativas de refuerzo.	137
Tabla 33 Listado de normas y reglamentos. FUENTE: (Las normativas de construcción con tierra en el mundo, 2011, 2012).	162.
	284
Tabla 34 Tabla con los países y normativas que tratan la técnica del tapial. FUENTE: (Orio Perez & Rodriguez Vidal, 2016).	285
Tabla 35 Clasificación de suelos utilizados para la construcción de edificaciones en tierra realizada por diferentes universidades colombianas. FUENTE: (Afanador Garcia, Carrascal Delgado, & Bayona Chinchilla, 2013).	285
Tabla 36 Parámetros para la caracterización mecánica de la tapia. FUENTE: (Miccoli, Olivera, Silva, Muller, & Schueremans, 2015).	286
Tabla 37 Comparación de las propiedades mecánicas de la tierra en diferentes edificaciones del centro histórico de Pasto. FUENTE: (Campo Pantoja & Suarez, 2017).	286
Tabla 38 Propiedades mecánicas del adobe y tapial, según distintitos autores. FUENTE: (Gaete Cruz, 2010).	287
Tabla 39 Resistencia a compresión simple. FUENTE: (Bestraten, Hormídas, & Altemir, 2011).	287
Tabla 40 Emisiones CO <sub>2</sub> de los distintos materiales. FUENTE: (Bestraten, Hormídas, & Altemir, 2011).	287
Tabla 41 Riesgos de origen natural y antrópico. FUENTES: (Carrión Gutierrez, 2015).	288
Tabla 42 Niveles de daño. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).	289
Tabla 43 Comparación entre diferentes sistemas de refuerzo sismorresistente en estructuras de tierra. FUENTE: (Blondet, Villa Garcia, Brzev, & Rubinos, 2004).	290

Tabla 44 Clasificación de los perfiles de suelo. FUENTE: Tabla A.2.4-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	291
Tabla 45 Inventario de Patrimonio arquitectónico (Acero Matallana, 2012), Ministerio de cultura. _____	292
Tabla 46 Valores del coeficiente de importancia ( $I_i$ ), según el uso de la edificación. FUENTE: Tabla A.2.5-1 1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	292
Tabla 47 Valores del coeficiente $R$ de disipación de energía. FUENTE: Tabla A.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	292
Tabla 48 Nivel de amenaza sísmica según valores $A_a$ y $A_v$ . FUENTE: Tabla A.2.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	293
Tabla 49 Valores $A_a$ y $A_v$ para las ciudades capitales de departamento. FUENTE: Tabla A.2.3-2 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	293
Tabla 50 Valores $A_e$ según regiones de la figura A.10-3-1. FUENTE: Tabla A.10.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	294
Tabla 51 Valores $A_e$ para las ciudades capitales. FUENTE: Tabla A.10.3-2 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	294
Tabla 52 Valores $F_a$ . FUENTE: Tabla A.2.4-3 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	294
Tabla 53 Valores $F_v$ . FUENTE: Tabla A.2.4-4 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	295
Tabla 54 Valores de $\Phi_c$ y $\Phi_e$ , según estado y calidad de la construcción existente. FUENTE: Tabla A.10.4-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	295
Tabla 55 Nivel 1. Conservacion integral, Pasto (República de Colombia - Ministerio de Cultura, 2012). _____	296
Tabla 56 Factor de uso y densidad según tipo de edificaciones. FUENTE: Tabla N°2 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017). _____	296
Tabla 57 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas. FUENTE: Tabla B.4.2.1-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	296
Tabla 58 Cargas vivas mínimas en cubiertas. FUENTE: Tabla B.4.2.1-2 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	297
Tabla 59 Carga muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales - Cielo raso. FUENTE: Tabla B.3.4.1-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	297
Tabla 60 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales - pisos. FUENTE: Tabla B.3.4.1-3 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010). _____	297
Tabla 61 Sismos históricos en San Juan de Pasto. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009). _____	298

### 12.3 Listado de gráficos

Gráfica 1 Espectro de respuesta sísmica según NSR-10 para edificaciones patrimoniales en Pasto.....	118
Gráfica 2 Espectro de respuesta sísmica según NSR-10 para Caso 1-2-3-4 en Pasto.....	119
Gráfica 3 Fuerzas sísmicas efectivas dirección Y.....	127
Gráfica 4 Tensiones en Z bajo cargas gravitatorias.....	129
Gráfica 5 Riesgo sísmico en el patrimonio colonial (Acero Matallana, 2012).....	267
Gráfica 6 Histograma sísmico de la ciudad de Pasto. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009).....	267
Gráfica 7 Espectro elástico de aceleraciones de diseño en fracción de la gravedad. FUENTE: Figura A.2.6.-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).....	268
Gráfica 8 Curva de capacidad, Desplazamiento máximo ( $R$ ) Vs Cortante Basal ( $V$ ) FUENTE: (Maldonado Rondon, Jasbon Carvajal, & Chio Cho, 2010).....	268

### 12.4 Ecuaciones

Ecuación 1 Esbeltez vertical .....	95
Ecuación 2 Esbeltez horizontal .....	96
Ecuación 3 Factor Seguridad .....	96

Ecuación 4 Densidad muro ( <i>Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017</i> ) .....	100
Ecuación 5 Masa.....	107
Ecuación 6 Valores espectro para períodos cortos. FUENTE: Ecuacion A.2.6-3.....	117
Ecuación 7 Valores espectro para períodos intermedios. FUENTE: Ecuacion A.2.6-5.....	117
Ecuación 8 Periodo inicial. FUENTE: Ecuacion A.2.6-6.....	117
Ecuación 9 Periodo corto. FUENTE: Ecuacion A.2.6-2.....	117
Ecuación 10 Periodo largo. FUENTE: Ecuacion A.2.6-4.....	117
Ecuación 11 Ancho de las tablas para confinamiento ( <i>Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2004</i> ). ....	139
Ecuación 12 Ancho de platinas para confinamiento ( <i>Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica, 2004</i> ). ....	140

## 13 Anexos

### 13.1 Fotos



Figura 62 Vivienda sobre el Río Amazonas, Amazonas, extremo Sur de Colombia. FUENTE: uniquecolombia.com.



Figura 63 Arquitectura de la Aldea Kogui, Sierra nevada de Santa Marta, Magdalena, Norte de Colombia FUENTE: (Gomez Jimenez , 2009)



Figura 64 Ancianos Koguis. FUENTE: <https://www.flickr.com/photos/tatianapereira/7099589749/sizes/l/>



Figura 65 Pueblo indígena Nabusimake, Sierra nevada de Santa Marta, Norte de Colombia. FUENTE: Colombia Travel.

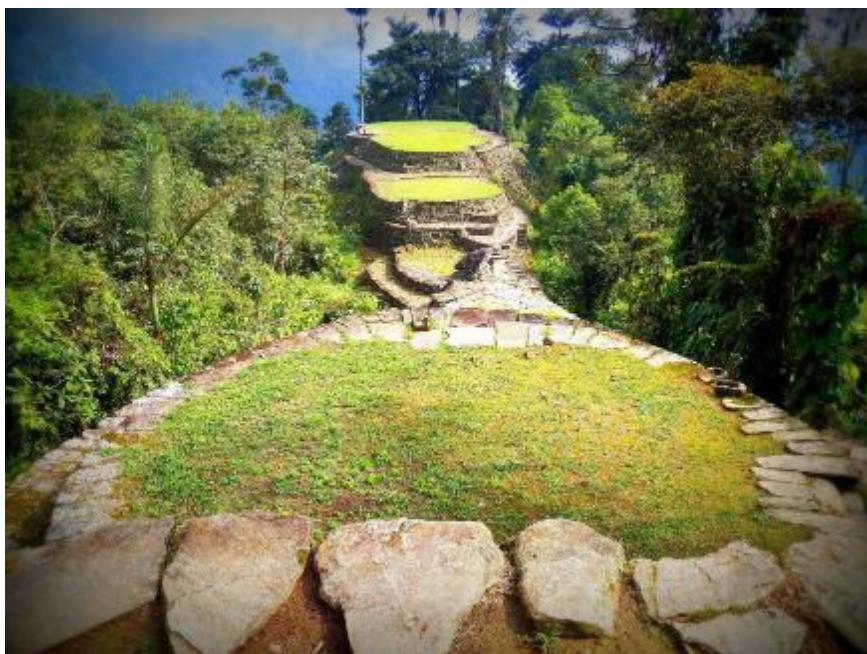


Figura 66 Terrazas en Ciudad perdida, también llamada Teyuna y Buritaca, Sierra Nevada de Santa Martha, Norte de Colombia. FUENTE: [http://caracol.com.co/radio/2016/03/07/fotorrelato/1457363396\\_541872.html#1457363396\\_541872\\_1457363651](http://caracol.com.co/radio/2016/03/07/fotorrelato/1457363396_541872.html#1457363396_541872_1457363651).



Figura 67 Escultura en piedra, Parque arqueológico de San Agustín, Huila, Sur de Colombia. FUENTE: <https://co.pinterest.com/pin/365002744775030188/>.



Figura 68 El Tambo, casa rural de autóctonas a tradicional negra del Pacífico colombiano, Buenaventura, Valle del Cauca, Oeste de Colombia. FUENTE: (Mosquera Torres, 2010) Foto por Robert West.



Figura 69 Mural “Rueda” pintado en 1939 por José Clemente Orozco en Hospicio Cabañas, Guadalajara, Jalisco, México. Foto tomada por el autor.



Figura 70 Casa típica del Eje Cafetero, Salamina, Caldas, Centro-oeste de Colombia. Foto: Torobay.



Figura 71 Plaza Villa de Leyva, Boyacá, Centro de Colombia. FUENTE: Aventure Colombia.



Figura 72 Templo de congreso, Cúcuta, Norte de Santander, Nor-este de Colombia FUENTE: <http://wikimapia.org/15848248/Templo-Historico-de-Villa-Del-Rosario>.



Figura 73 Templo San Laureano, Bucaramanga, Santander, Nor-este de Colombia. FUENTE: La Montaña Producciones, Vía Google Maps.



Figura 74 Intervención del 2017 en mural de Rodez, La Candelaria, Bogotá, Centro de Colombia. FUENTE : (Lopez, 2017).



Figura 75 Construcciones coloniales con balcones floridos y la Catedral de la ciudad, Plaza Bolívar, Cartagena de Indias, Bolívar, Costa caribe, Norte de Colombia. FUENTE: Shutterstock.



Figura 76 Centro Histórico de Mompox, Bolívar, Norte de Colombia. FUENTE: (Colparques, 2018)



Figura 77 Calles de Barichara, Santander, Nor-este de Colombia. FUENTE: foursquare.com.



Figura 78 Vivienda campesina, Pitalito, Huila, Sur de Colombia. FUENTE: <http://nuevaera66.blogspot.com.es>.



Figura 79 Fachada Casa Zarama, Pasto, Nariño, Sur de Colombia. FUENTE: <http://www.panoramio.com/user/6748382>.



Figura 80 Patio interior de la Casa Zarama FUENTE: <http://www.cotelconarino.org/informacion-general/54-san-juan-de-pasto.html>.



Figura 81 Sistema de drizas para el reforzamiento estructural de una edificación de adobe – Belén, Chile. FUENTE: (Giribas, 2017).



Figura 82 Sistema de reforzamiento estructural con tiras de llantas de carro recicladas. FUENTE: (Charleson, 2011).

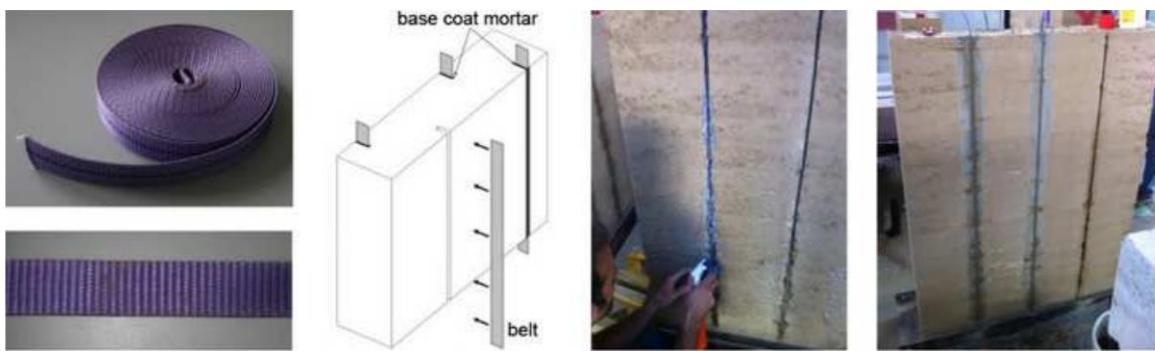


Figura 83 Sistema de reforzamiento estructural con riatas de poliéster. FUENTE: (Miccoli, Muller, & Pospisil, *Construction and Building MATERIALS: Rammed earth walls strengthened with polyester fabric strips: experimental analysis under in plane cyclic loading*, 2014).



Figura 84 Sistema de reforzamiento estructural con bambú. FUENTE: (Blondet M. , Torrealva, Villa Garcia , Ginocchio, & Madueño, 2005).



Figura 85 Sistema de confinamiento mediante vigas y columnas de concreto reforzado- Morropón, Piura. FUENTE: (San Bartolomé Ramos, 2014).



Figura 86 Falla en "V", muro de adobe con estructura de confinemento a porticado de concreto reforzado. FUENTE: (San Bartolomé & Delgado, 2007).



Figura 87 Refuerzo con tensores de madera. Esquina con "llaves", muros con "grapas", Sucre - Bolivia. FUENTE: (Peñaranda Orias, 2011).

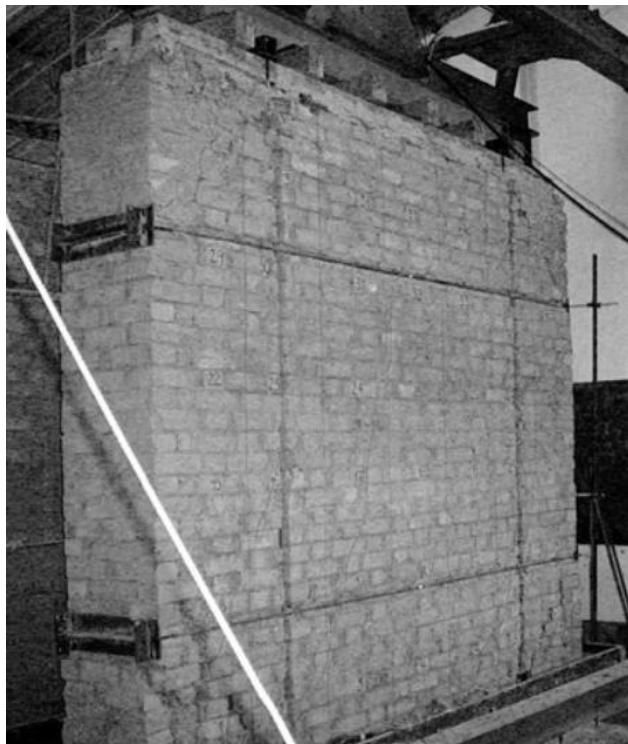


Figura 88 Refuerzo mediante varillas de acero postensadas. FUENTE: (Lopez Perez, y otros, 2007).



Figura 89 Refuerzo mediante platinas de acero. FUENTE: (Universidad de los Andes, 2018)



Figura 90 Rehabilitación de patrimonio con concreto - Salón circular Dionisio, Compañía 1263, Chile. FUENTE: Felipe Ugarte.



Figura 91 Mural de personajes históricos de la política colombiana asesinados. Izquierda Jorge Eliécer Gaitán (1903-1948); Centro, Jaime Garzón (1960-1999); Derecha, Luis Carlos Galán (1943-1989). Por MosKu. FUENTE: [https://www.facebook.com/MosKu4?hc\\_location=uf](https://www.facebook.com/MosKu4?hc_location=uf).

### 13.2 Fotos históricas



Figura 92 Ubicación Casa Zarama. Vista Calle 19, Plazas de Nariño, al fondo el volcán Galeras. Realizado por Alphons Stubel en 1869. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009).

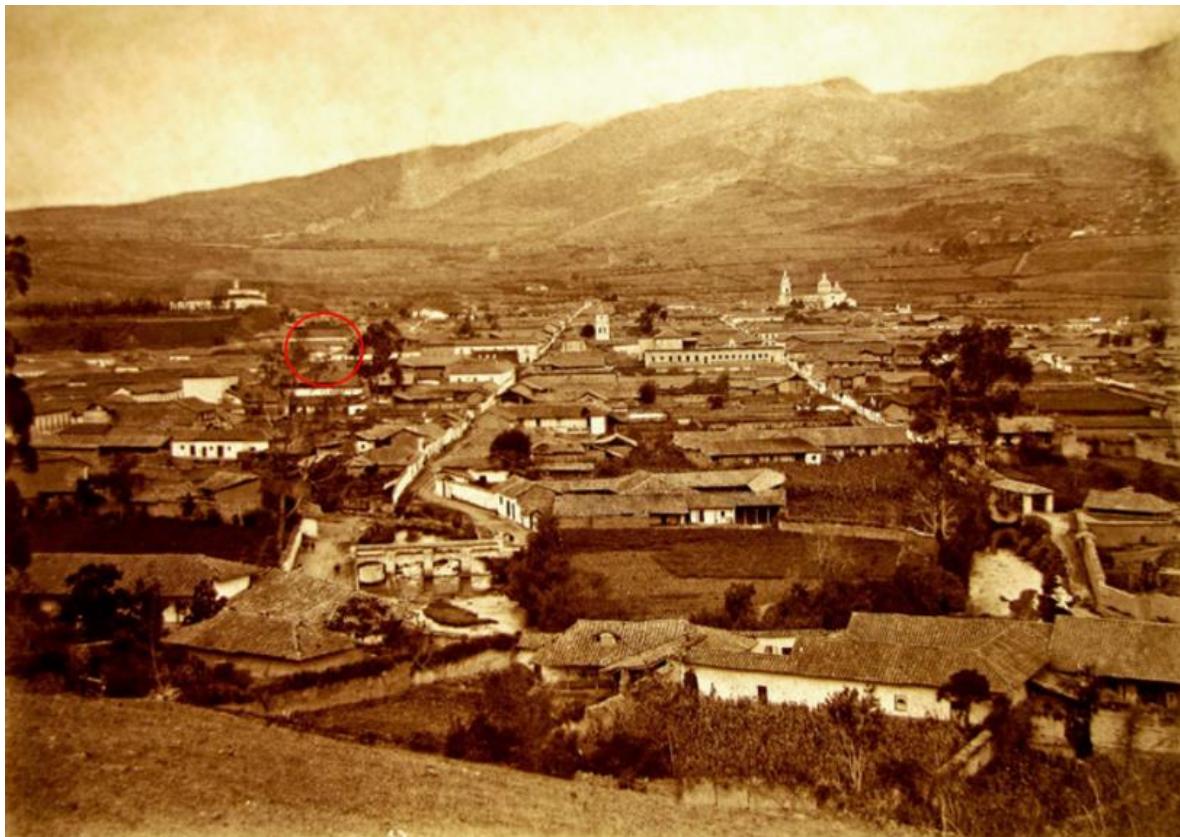


Figura 93 Ubicación Casa Zarama, Panorámica de la ciudad de Pasto, 1902. FUENTE: (Universidad de Nariño, 2010).



Figura 94 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la Casa de don Lorenzo, Alcaldía Municipal de Pasto. FUENTE: (Pasto tierra cultural, 2005).

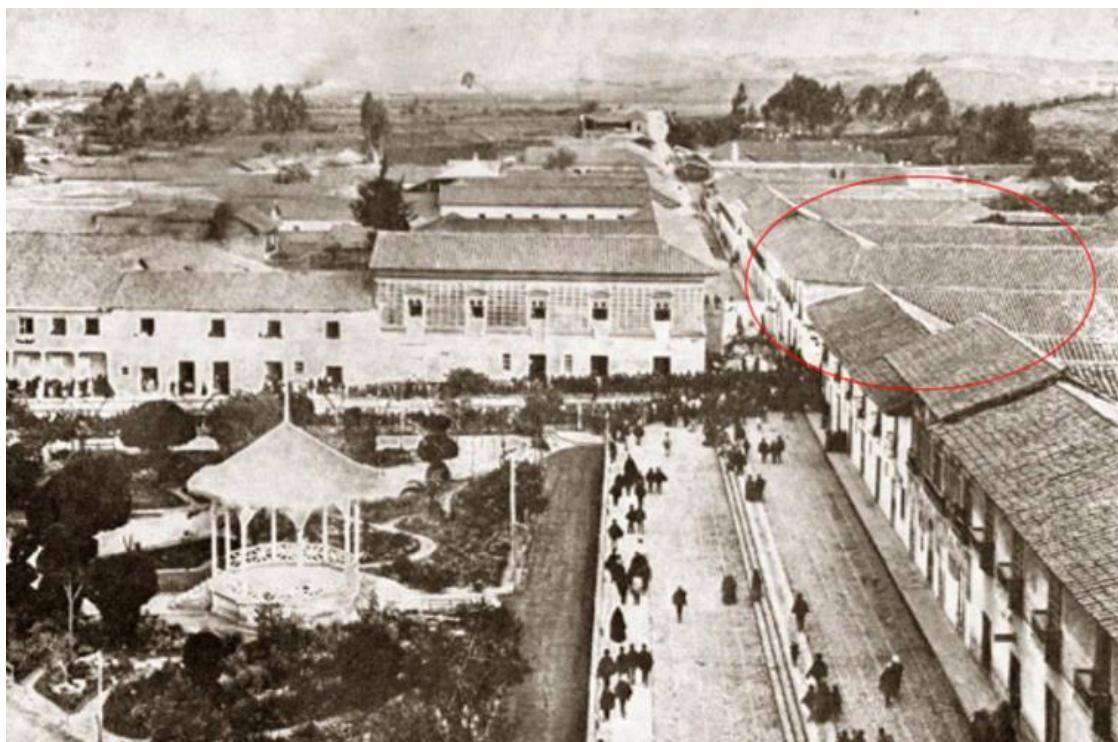


Figura 95 Ubicación Casa Zarama, Vista desde cubierta de la iglesia de San Juan. FUENTE: (Pasto tierra cultural, 2005).



Figura 96 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la Carrera 24, al fondo campanario de San Agustín. FUENTE: (Pasto tierra cultural, 2005).



Figura 97 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la plaza de Nariño sobre la Calle 18. FUENTE: (Archivo fotográfico banco Maestro Eduardo Campo Pantoja).



Figura 98 Ubicación Casa Zarama, Vista Calle 18 No 24. FUENTE:



Figura 99 Ubicación Casa Zarama, Vista desde la calle 18, al fondo la Iglesia San Juan. FUENTE: (Archivo fotográfico banco Maestro Eduardo Campo Pantoja).



Figura 100 Erupción del volcán Galeras, 1932. FUENTE: (Universidad de Nariño, 2010).

### 13.3 Registro fotográfico



Figura 101 Centro Shirakaba, “La antigua casona, donde según estudios de la Academia Nariñense de Historia, fue la primera propiedad donde se apresó a Antonio Nariño en el año de 1814” (Pasto Ciudad Soñada, 2011)- Plaza de Nariño, Centro de Pasto. Foto tomada por el autor.



Figura 102 Fachada Casa Zarama. Plano horizontal - Calle 18; Plano inclinado - Carrera 24. Foto tomada por el autor.



Figura 103 Hall, segundo piso Casa José Antonio. Foto tomada por el autor.

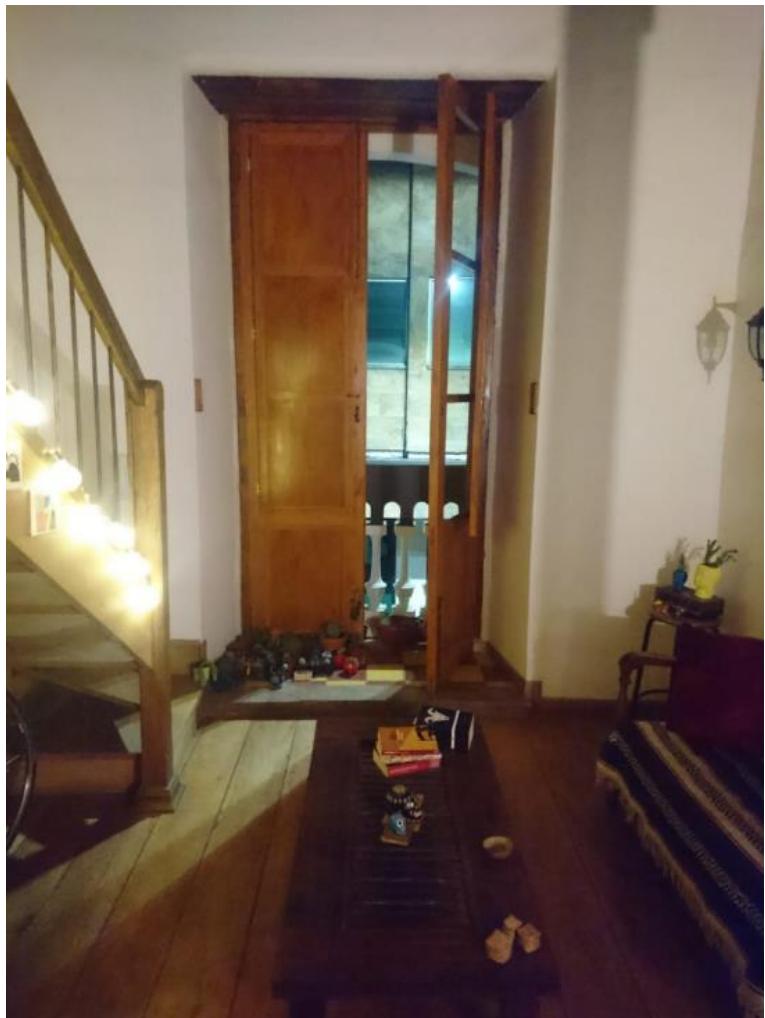


Figura 104 Interior aparta estudio, segundo piso, Casa José Antonio. Foto tomada por el autor.



Figura 105 Roca utilizada para la construcción de cimentación, Calle 10 No 25 – 10. Foto tomada por el autor.



Figura 106 Rocas volcánica en el subsuelo, Calle 10 No 25 – 10. Foto tomada por el autor.



Figura 107 Ausencia de junta sísmica entre la edificación en tapia y las construcciones de rigidez y alturas distintas, Frente la Casa Zarama, Calle 18 No 23. Foto tomada por el autor.



Figura 108 Sobre cargas causados por motos en entresiso de segunda planta, Berlimotos, Carrera 28 No 18-45. Foto tomada por el autor.



Figura 109 Humedad basal de muro de tapia. Parqueadero Carrera 24 No 21. Foto tomada por el autor.

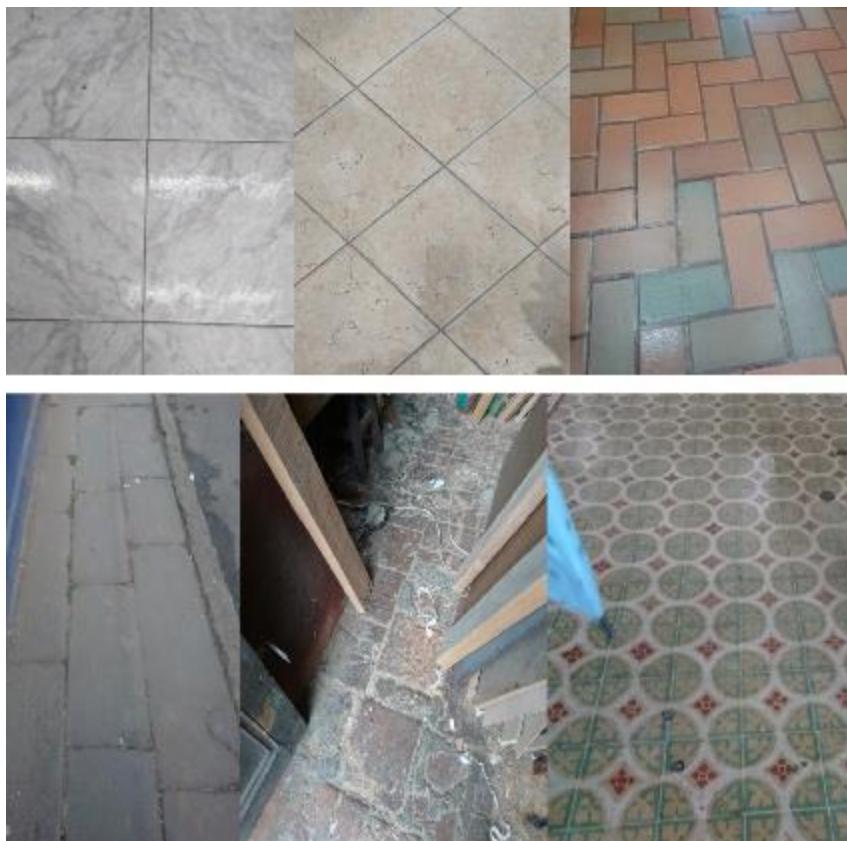


Figura 110 Distintos pavimentos del primer piso de la Casa Zarama (Arriba). / Anden de laja negra, Calle del centro de Pasto - Piso de baldosa de barro, Carpintería, Calle 11 No 26 - 24 Mosaico baldosa hidráulica, Iglesia la merced, Calle 18 No 22 (Abajo). Foto tomada por el autor.



Figura 111 Curso práctico de tapia pisada, Cabanes, Valencia – 2017. Foto tomada por el autor.



Figura 112 Disposición de adobe dentro del tapial. Posición cabeza (Izquierda) / Posición parámetro (Derecha). Foto tomada por el autor.



Figura 113 Muro de tapia, grieta vertical bajo junta del bloque superior, Parqueadero Calle 17 No 28. Foto tomada por el autor.



Figura 114 Corte muro de tapial cara interna a la vivienda. Carrera 27 No 15. Foto tomada por el autor.



Figura 115 Refuerzo horizontal con madera rolliza. Parqueadero Carrera 24 No 21. Foto tomada por el autor.



Figura 116 Dintel de madera en todo el espesor del muro, Segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 117 Arco, Local comercial primera planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 118 Corte de casa republicana en tapia. Parqueadero Calle 22 No 21<sup>a</sup>. Foto tomada por el autor.



Figura 119 Flecha en vano de fachada. Parqueadero Calle 19 No 21. Foto tomada por el autor.



Figura 120 Estructura de la culata y hastial en bloque de Adobe, Calle 18 No 26. Foto tomada por el autor.



Figura 121 Terminación y anclaje del muro de bahareque con los tirantes. Foto tomada por el autor.



Figura 122 Muro en bahareque, Genoy, Nariño. Foto tomada por el autor.



Figura 123 Bloques de adobe. Foto tomada por el autor.



Figura 124 Sócalo en barro y recubrimiento de pañete de cal, Nariño, Nariño. Foto tomada por el autor.



Figura 125 Picado del muro de tapia. Nariño, Nariño. Foto tomada por el autor.



Figura 126 Enlucido con capas de diversos materiales. Catambuco, Nariño. Foto tomada por el autor.

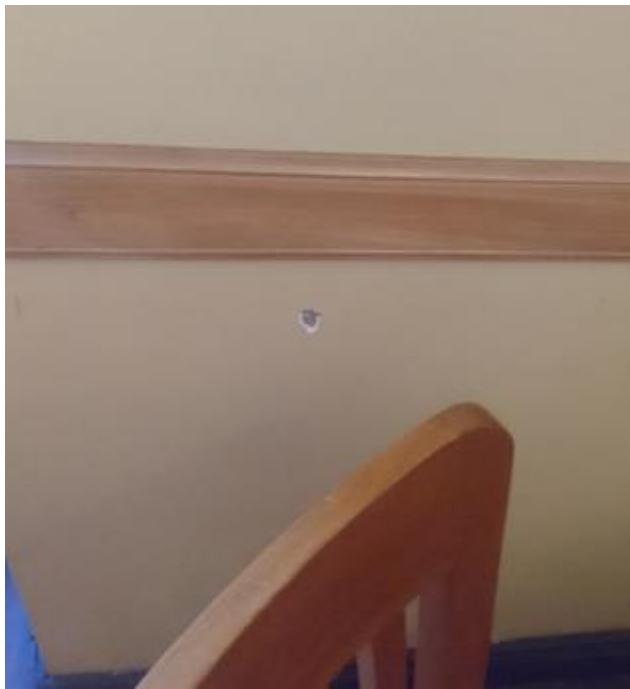


Figura 127 Enlucido y guarda sillas internas de la Casa Zarama, Ventura Café. Foto tomada por el autor.



Figura 128 Sistema de entrepiso con viga rolliza, Primera planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 129 Estructura del entablado, Local comercial primera planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 130 Pavimento de baldosa hidráulica y entablado, Pasillos segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 131 Pedestal del pilar de madera, Patio interno primera plana, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 132 Pilares de madera, Patio interno, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 133 Estructura pasillos. 1, Casa Campesina, Cabrera. 2, Casa Campesina, Vía Genoy – Nariño. 3, Constructora Rumipamba, Pasto. 4, Casa Navarrete, Pasto. Foto tomada por el autor.



Figura 134 Ensamble a media madera viga de carga, Casa Navarrete, Calle 17 No 24. Foto tomada por el autor.



Figura 135 Unión muro de tapia y tirantes, con enlace de bloques de adobe "encoroce", Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 136 Unión en boca de pescado: pendolón -cumbreña; Izquierda. Unión tipo espiga con refuerzo con alambre: pendolón - tirante. Derecha, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 137 Par apoyado directamente sobre el tirante, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 138 Pares y tornapuntas de sección variables, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 139 Detalle unión en espiga Par – Tornapunta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 140 Pilar de adobe, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 141 Pilates de adobe, Parqueadero Calle 21 No 20. Foto tomada por el autor.



Figura 142 Separación de los listones dependiendo a la posición de la teja, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 143 Patio interno Casa Zarama, recubrimiento en tejas de barro, Patio interior, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 144 Lima hoyo. Unión entre dos planos mediante una canaleta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 145 Bajante agua lluvias, Patio interno, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.

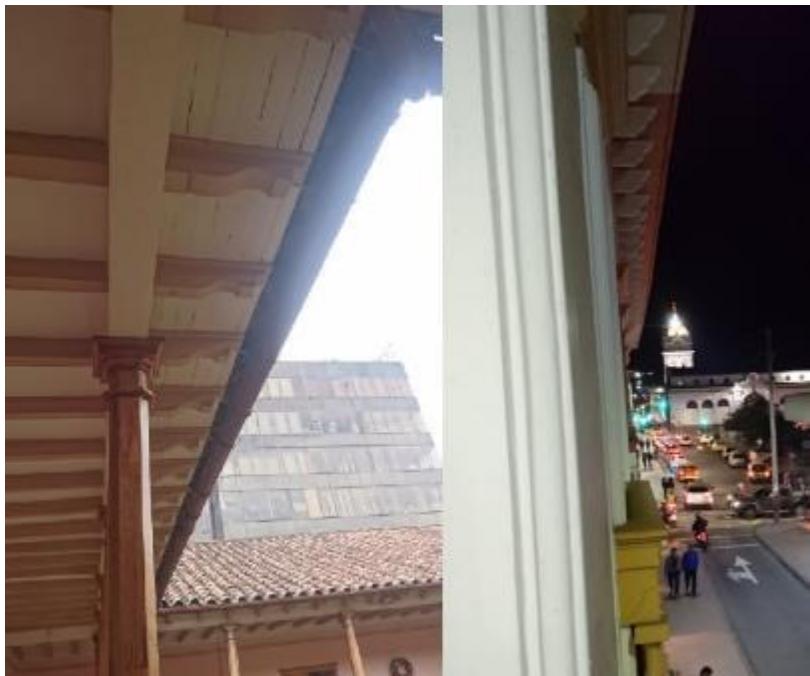


Figura 146 Alero patio interno – Izquierda / Alero fachada – Derecha, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 147 Placa en concreto y murete del alero de la fachada, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 148 Gotero, encuentro del tejado con culata de la Casa obispal, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 149 Protección de coronación de muros, mediante láminas de zinc, Salón de eventos Iraka, Calle 17 No 26. Foto tomada por el autor.



Figura 150 Instalaciones eléctricas para mantenimiento, soberado (Luces, toma corriente e interruptor), Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 151 Deterioro en los listones debido a los vapores expulsados por la tubería de Re-ventilación, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.

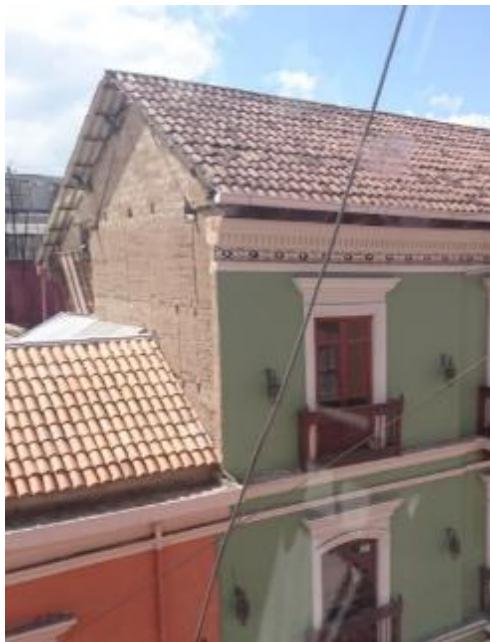


Figura 152 Reparación de cubierta con láminas de Eternit y recubrimiento de tejas de barro, Casa Navarrete, Calle 17 No 24. Foto tomada por el autor.



Figura 153 Canaleta con material vegetal, Patio externo, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 154 Falsos techos construidos abajo del cielo Razo original de la cubierta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 155 Amarre de chacla mediante cabuya, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 156 Amarre con alambre de la chacla a las correas, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 157 Amarre de correas mediante alambre, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 158 Amarre de correas mediante cabestro, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 159 Detalle amarre en cabestro, sostenida con una puntilla clavada al tirante, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 160 Tiras de cabestro para amarre, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 161 Cielo raso, Salón segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 162 Cielo raso sobre viga canecillo, Pasillos, Cubierta, Cubierta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 163 Cielo raso sobre viga canecillo, Pasillos segunda planta, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.

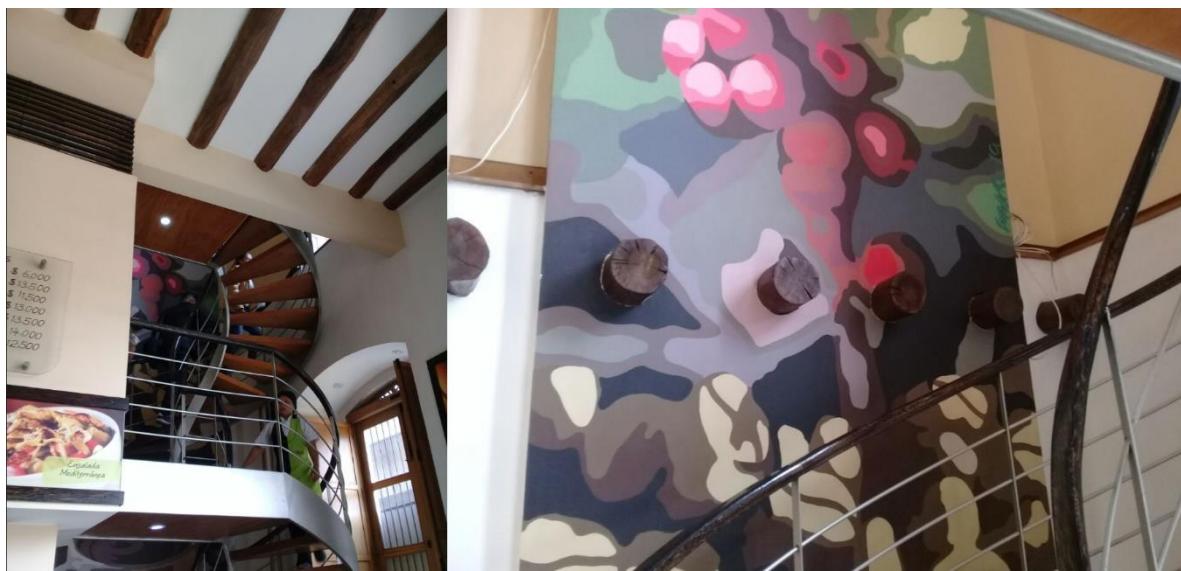


Figura 164 Apertura de vano para la instalación de escalera, Ventura Café, Casa Zarama. Foto tomada por el autor.



Figura 165 Refuerzo con platinas metálicas y tornillos en las uniones de la cercha de cubierta, Casa Jose Antonio. Foto tomada por el autor.



Figura 166 Trabajos en campanarios, Templo San Juan Bautista (Google maps – 2014).



Figura 167 Protección de cubierta, Casa esquinera Calle 17-23. Foto tomada por el autor.



Figura 168 Mantenimiento en aleros, Calle 14. Foto tomada por el autor.



Figura 169 Sistema de arriostramiento mediante cuñas de madera en los extremos externos de los tirantes, Casa campesina, Nariño.  
Foto tomada por el autor.

### 13.4 Ilustraciones

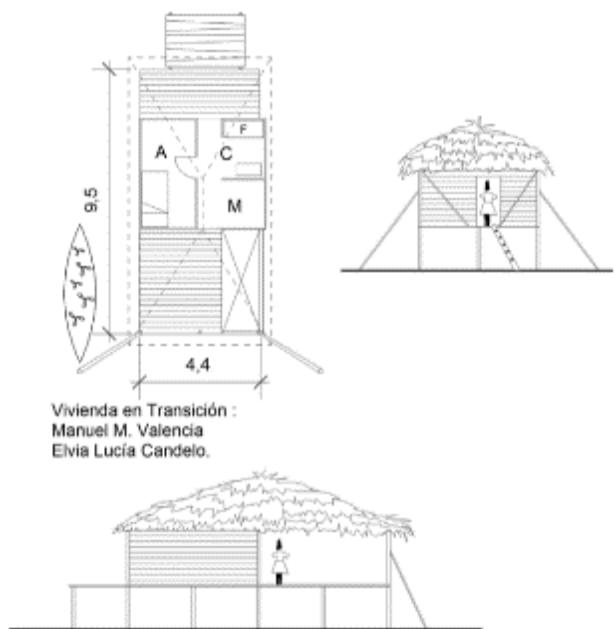


Figura 170 Tipología de la vivienda rural del Pacífico colombiano. Estructura en madera labrada; cubierta en hojas de palma; y cerramientos en tabla sin cepillar, esterilla y palmiche, Buenaventura, Valle del Cauca, Oeste de Colombia. FUENTE: (Mosquera Torres, 2010).

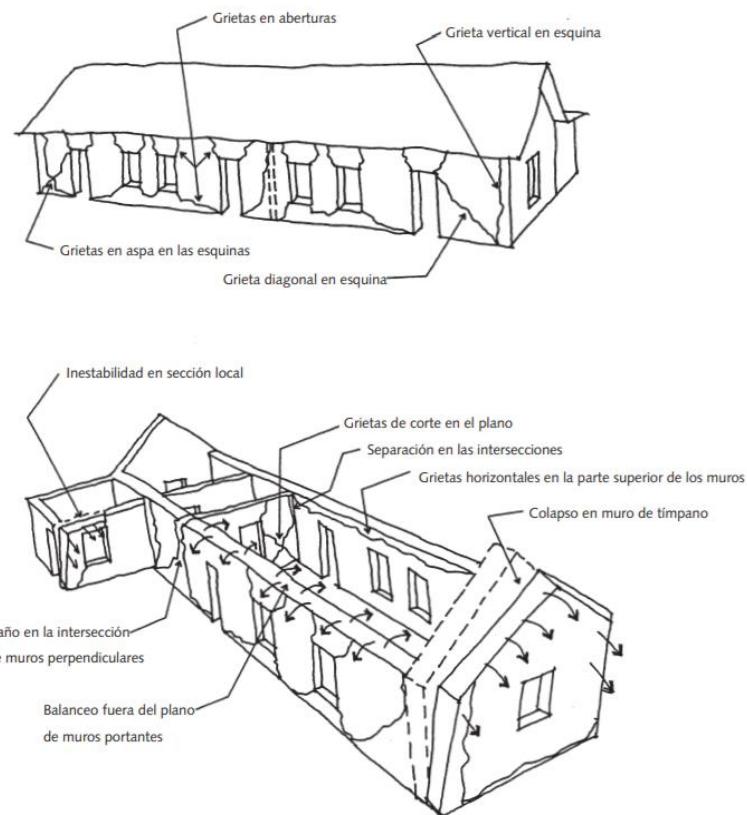


Figura 171 Grietas típicas de edificio de adobe después de sismo. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

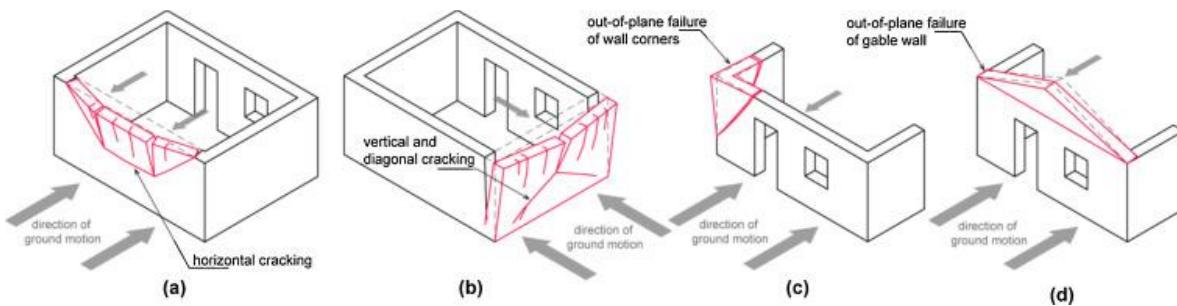


Figura 172 Daños causados por fuerzas fuera del plano. FUENTE: (Ortega, Vasconcelos, Rodriguez, Correia, & Lourenco, 2017).

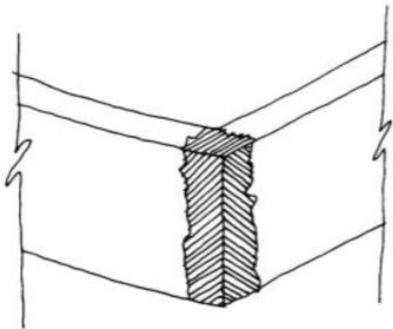


Figura 173 Daño en esquina fisura vertical. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

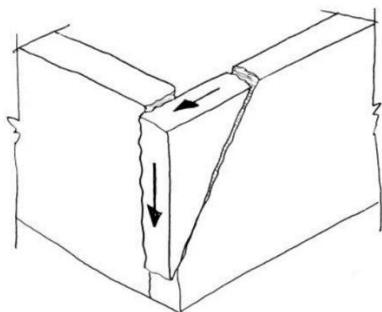


Figura 174 Daño en esquina fisura diagonal. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

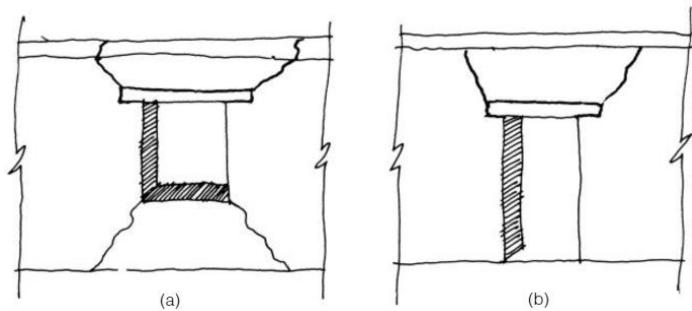


Figura 175 Daños vanos fisuras diagonales. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

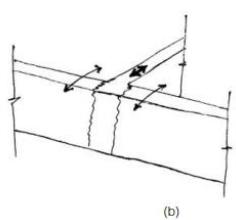
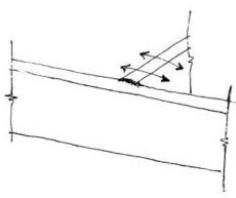


Figura 176 Daño intersección de muros. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

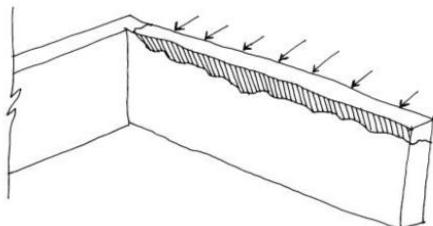


Figura 177 Daño en la parte superior del muro. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

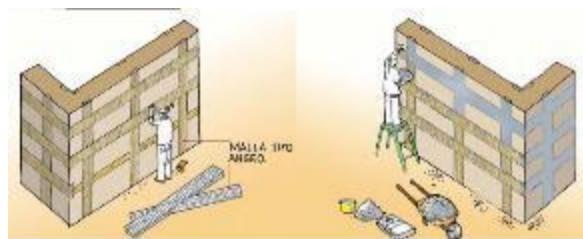


Figura 178 Sistema de refuerzo estructural con madera de confinamiento. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

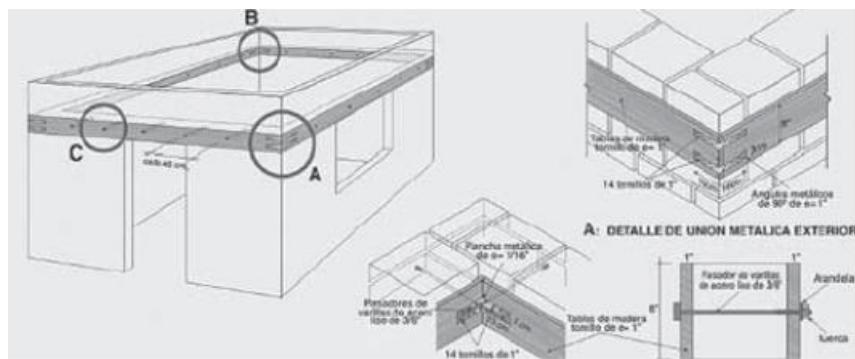


Figura 179 "Zuncho" perimetral de madera. FUENTE: (Kuroiwa, 2002).

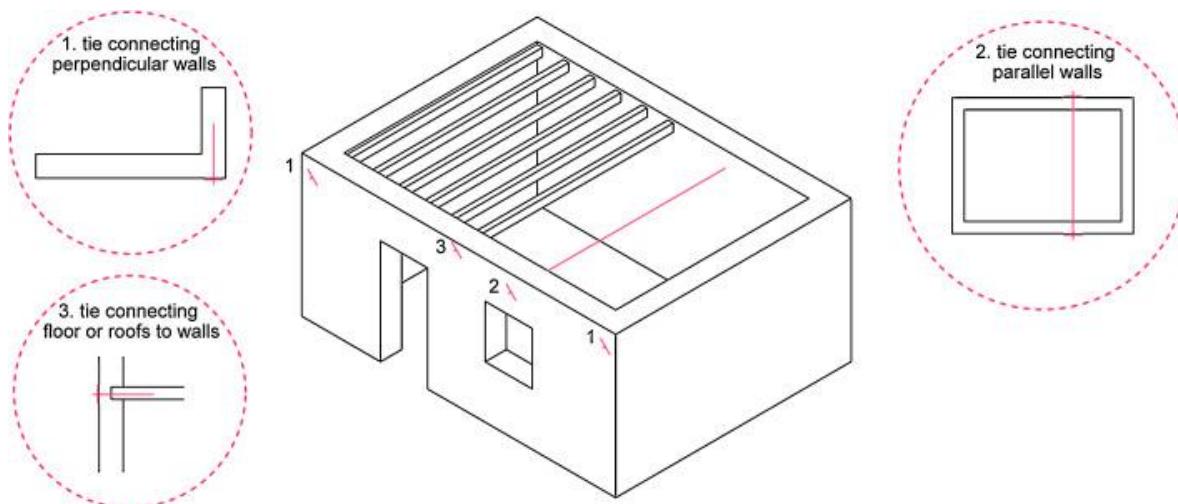


Figura 180 Refuerzo de mediante tirantes. FUENTE: (Ortega, Vasconcelos, Rodriguez, Correia, & Lourenco, 2017).

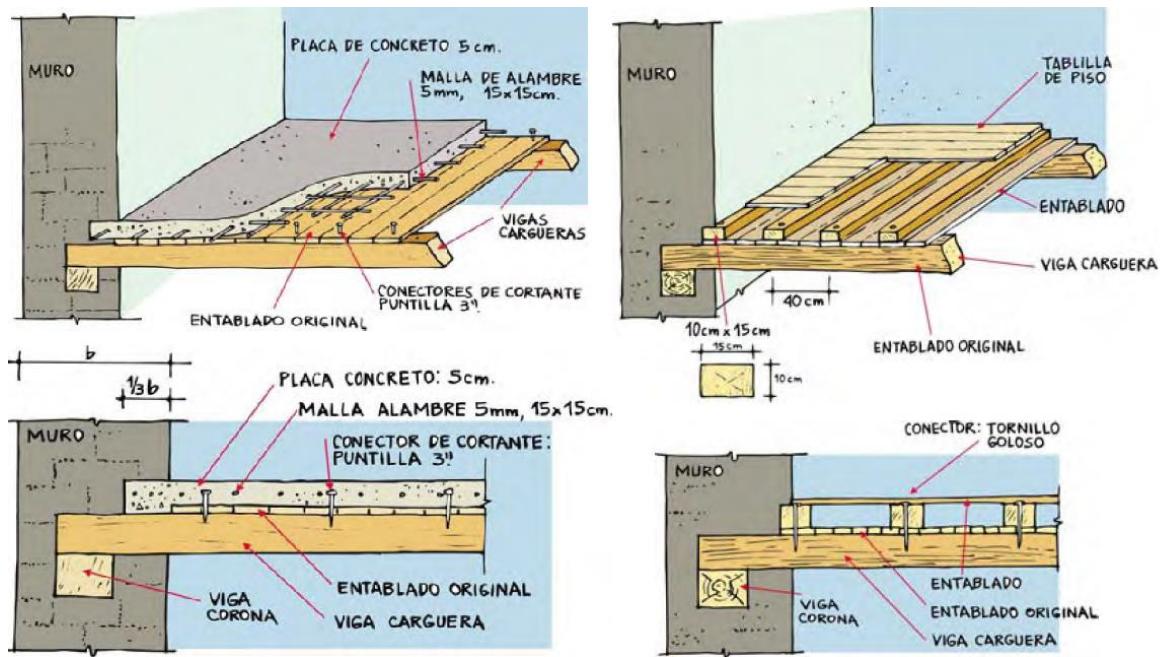


Figura 181 Refuerzo placa de concreto (Derecha) / Refuerzo entablado de madera (Izquierda). FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

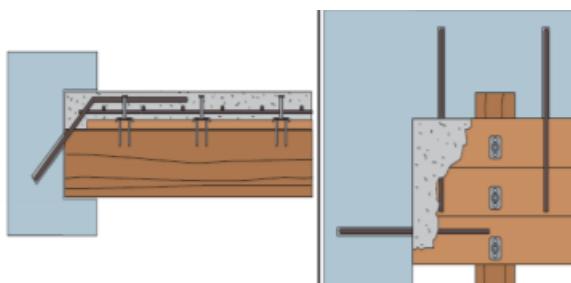


Figura 182 Anclaje entrepiso - muro, con varilla de acero. FUENTE: (Martellotts, Martens, & Teuffel, 2015).

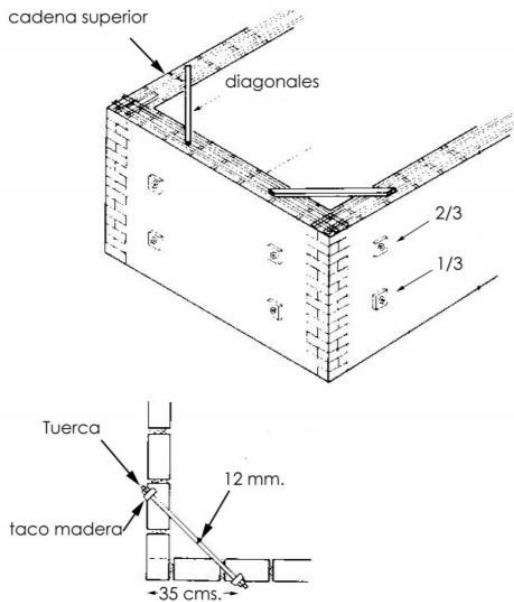


Figura 183 Refuerzo metálico en esquinas. FUENTE: (Broughton W).

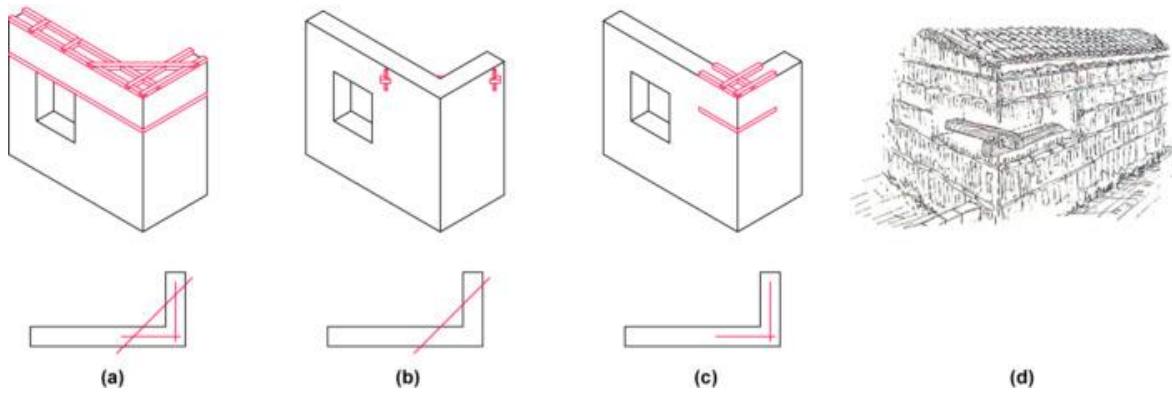


Figura 184 Refuerzo en esquinas. FUENTE: (Ortega, Vasconcelos, Rodriguez, Correia, & Lourenco, 2017).

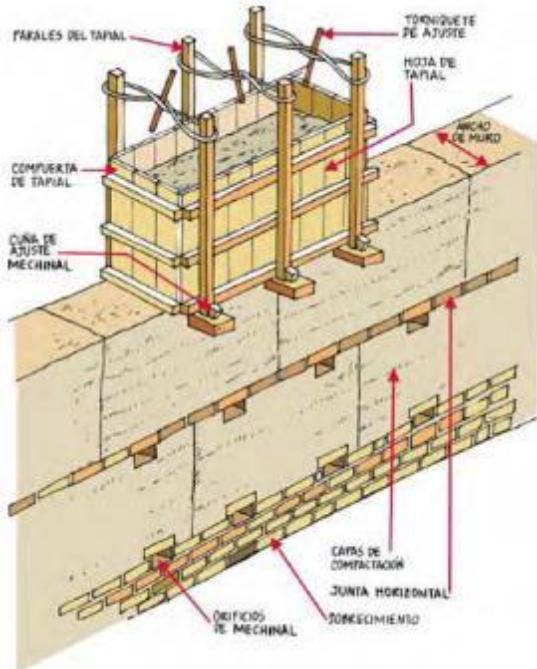


Figura 185 Proceso constructivo de muro de tapia (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

**FIGURA 7: VISTAS Y PROCEDIMIENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA EN TAPIA PISADA.**

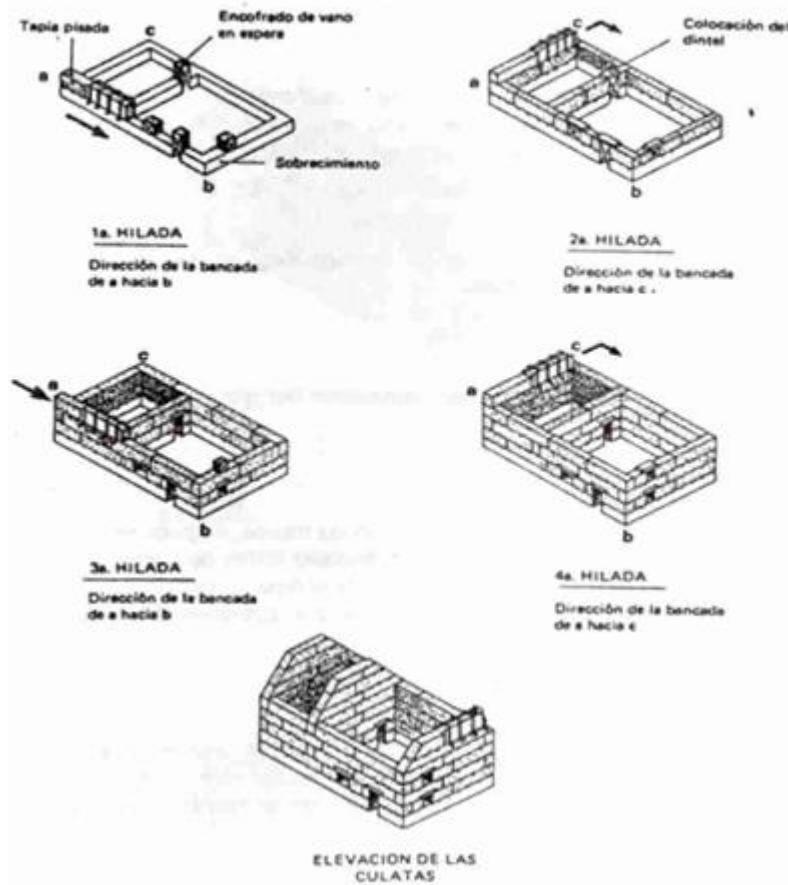


Figura 186 Vista y procedimientos en la construcción de una casa en tapia pisada. FUENTE: (SENA, 2012).

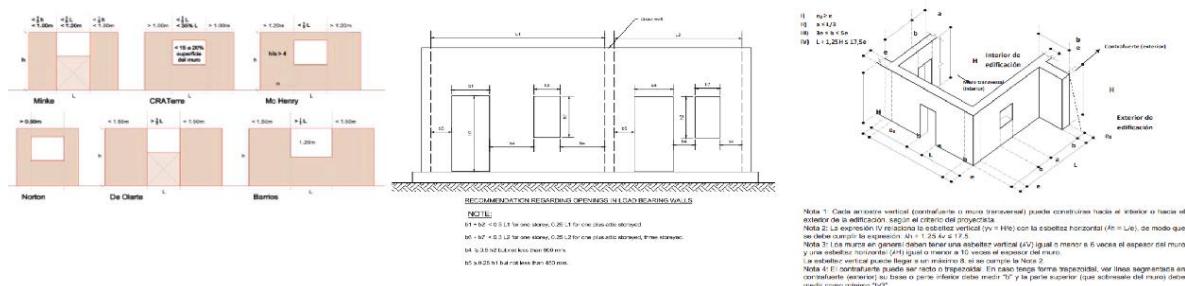


Figura 187 Limites geométricos según diferentes autores y códigos. FUENTE: (Gaete Cruz, 2010) Izquierda / (Department of Urban Development and Building Construction, 1994) Centro / (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017) Derecha.

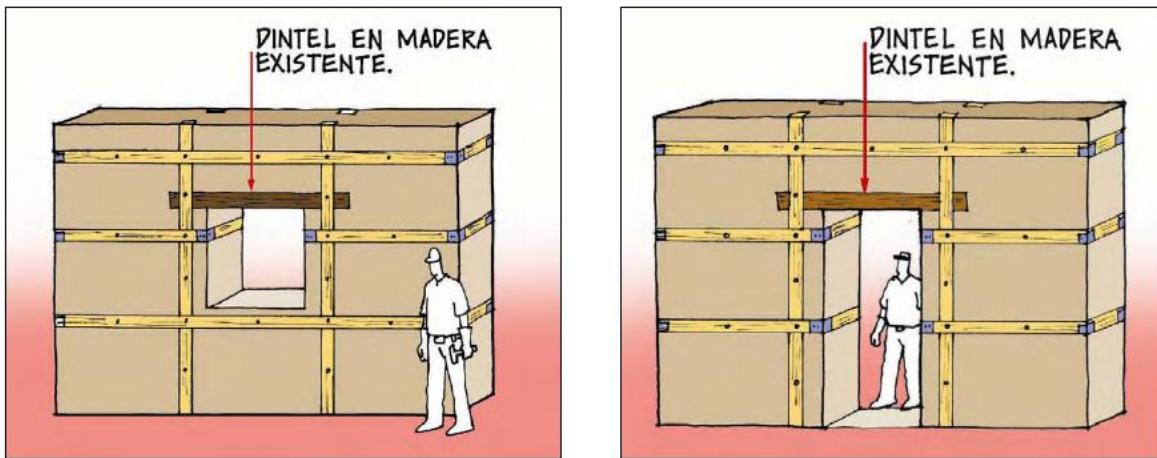


Figura 188 Disposición de fuerzo con relación a los dinteles. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

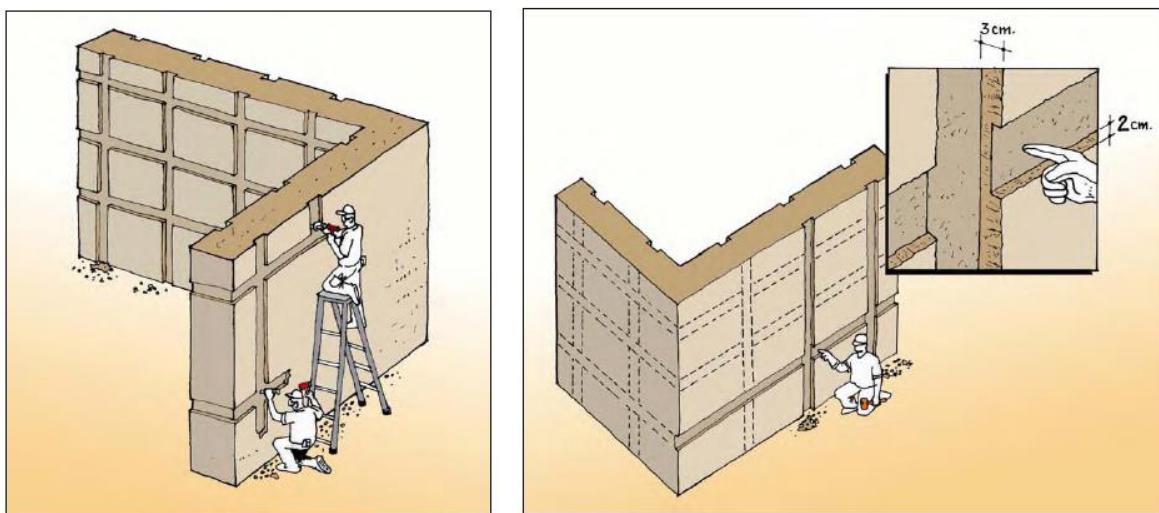


Figura 189 Dimensión de regatas en muros de tapia. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

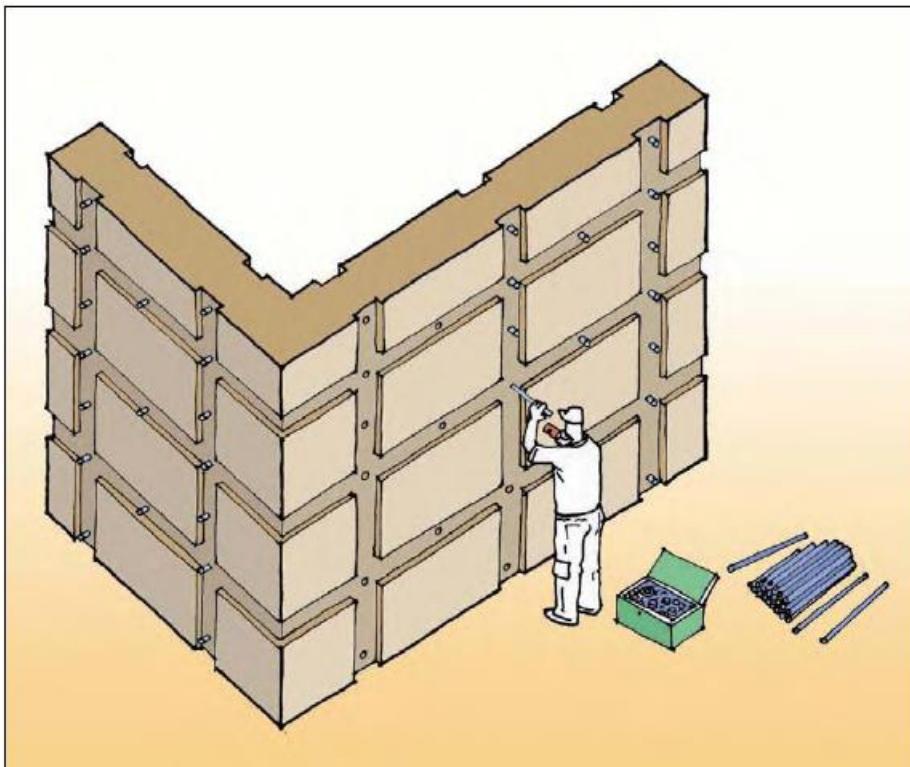


Figura 190 Instalación de pernos en las intersecciones de los refuerzos. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

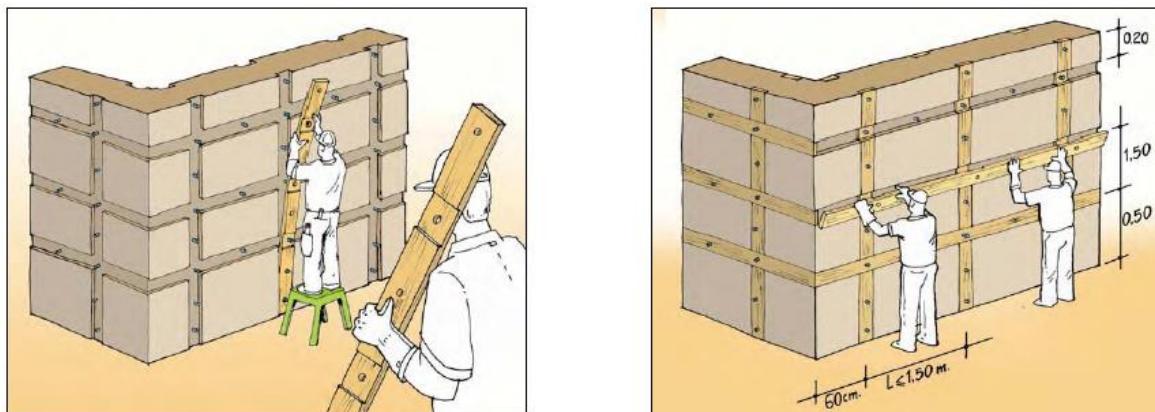


Figura 191 Instalacion de refuerzo de madera. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

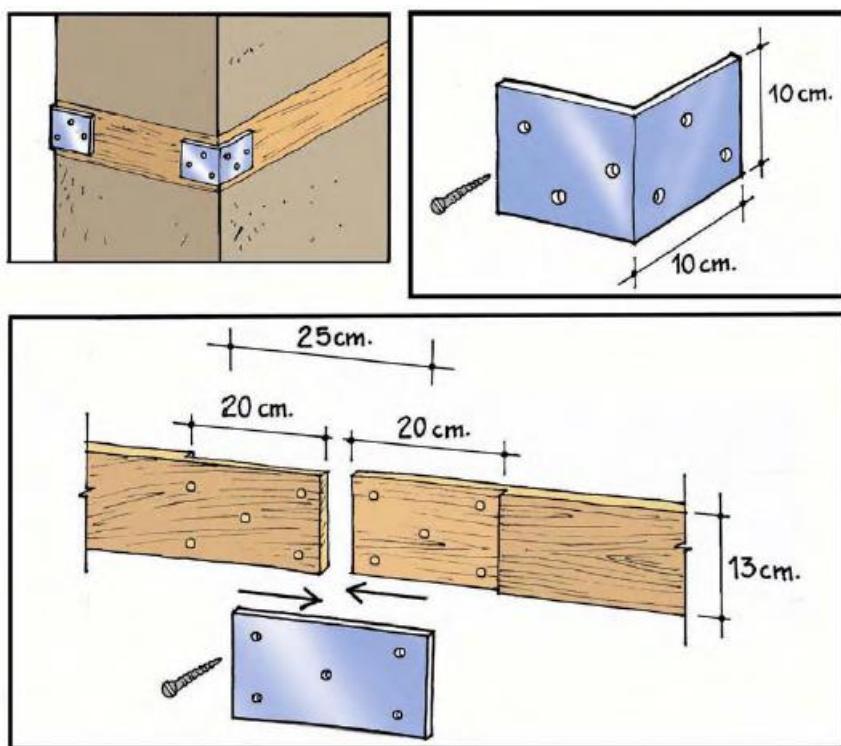


Figura 192 Disposición platinas en esquinas y uniones de refuerzos. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

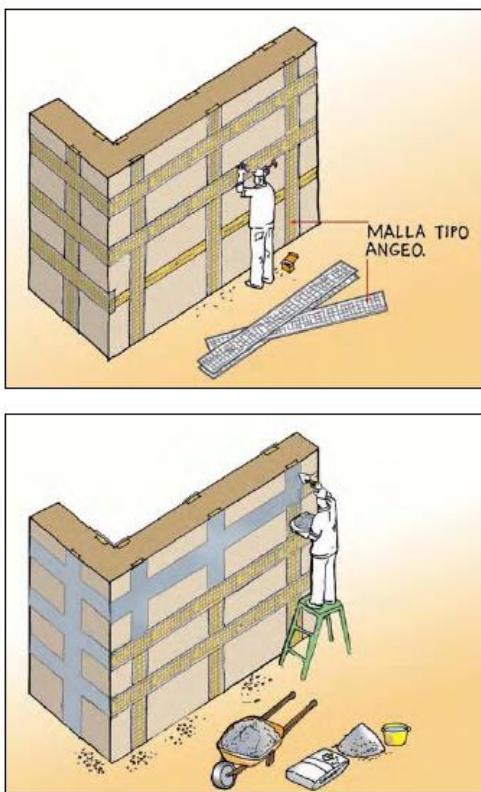


Figura 193 Instalación malla tipo Ageo. FUENTE: (Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica, 2004).

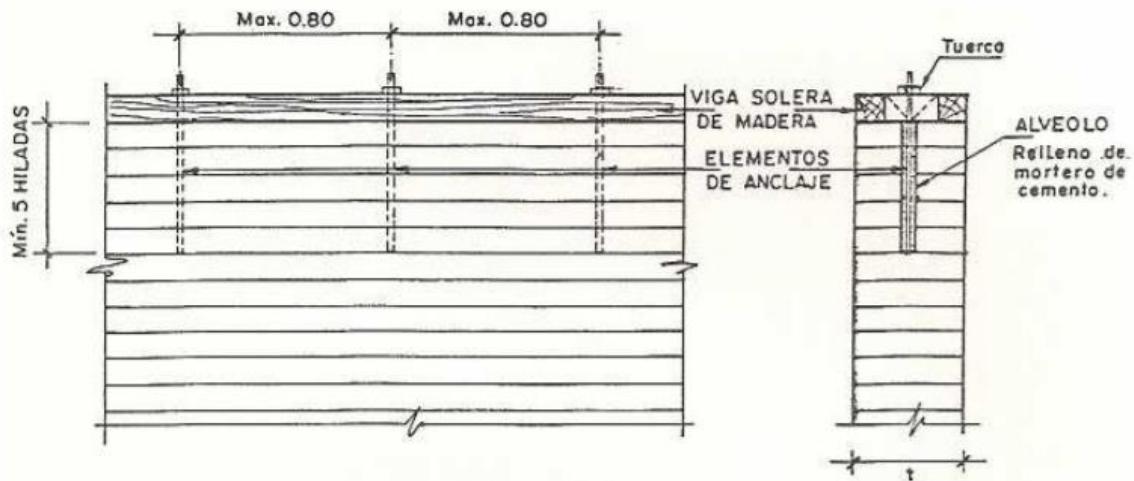


Figura 194 Anclajes viga corona. FUENTE: (Giles Castillo, Scarponi, & Galindez, 2010)



CASA DE  
JOSE ANTONIO  
Calle 18 No 23 - 67  
Centro de Pasto

"Conservación de lo saberes constructivos"  
Restauración y rehabilitación arquitectónica de la Casa  
de José Antonio Zarama



Figura 195 Afiche 45 año de la Sociedad Colombiana de Arquitectos - Regional Nariño, Casa de José Antonio, diseño del autor.

### 13.5 Mapa

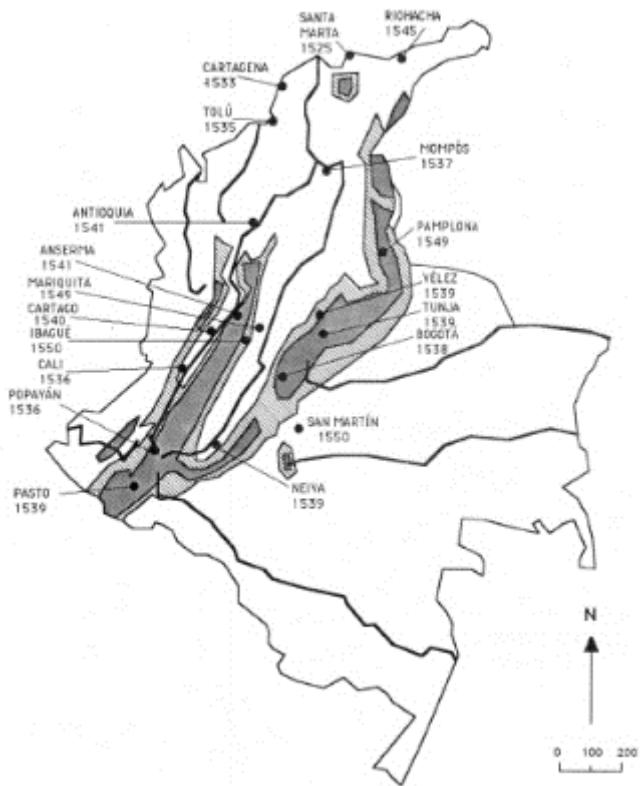


Figura 196 Mapa: Principales fundaciones 1525-1550. Principio de la conquista. FUENTE: Base de datos "Historia Municipal". Fundación de Estudios Históricos Misión Colombia. (Bernard & Zambrano, 1993).

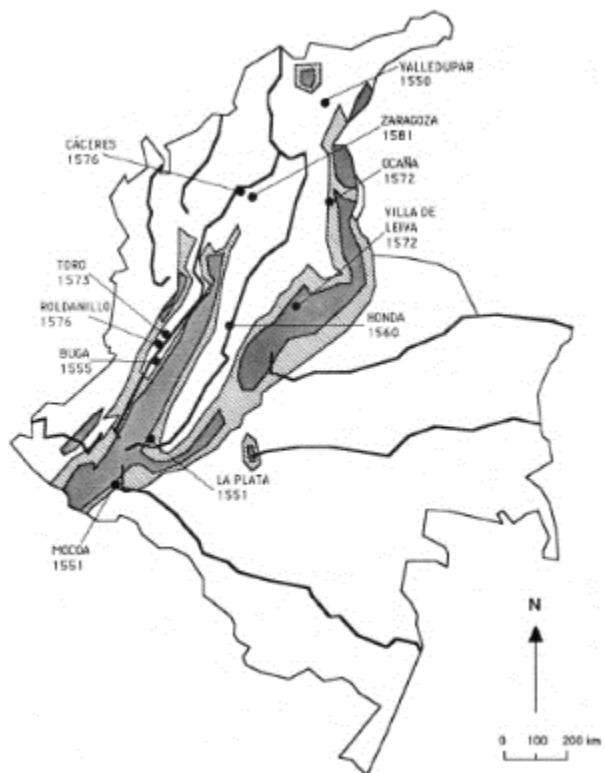


Figura 197 Mapa: Fundaciones 1550-1600. Fin de la conquista / Principio de la colonia. FUENTE: Base de datos "Historia Municipal". Fundación de Estudios Históricos Misión Colombia. (Bernard & Zambrano, 1993).



Figura 198 Mapa comunidades españolas. Izquierda, Castilla. Centro, Extremadura. Derecha, Andalucía. FUENTE: (Wikipedia, 2018).

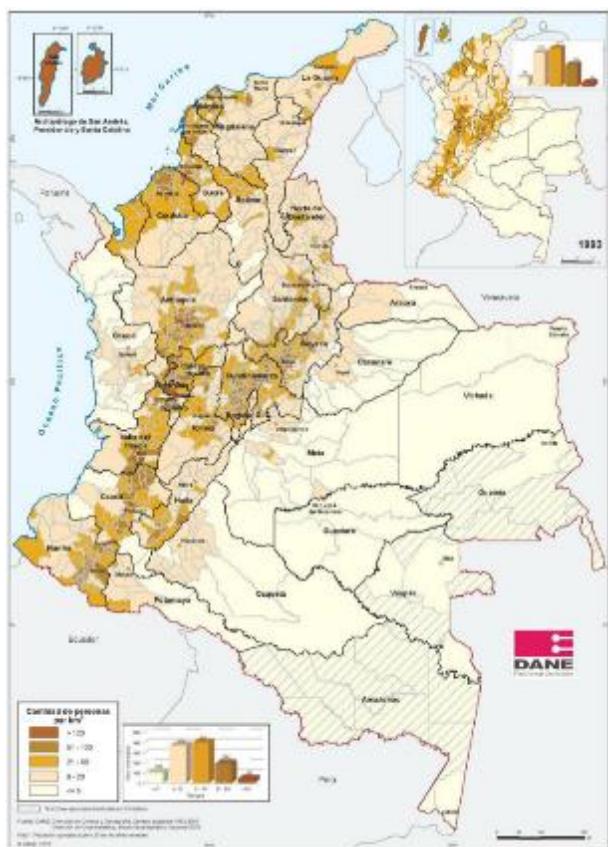


Figura 199 Densidad en población por cabecera, en Colombia, 1993 y 2005 FUENTE: DANE.

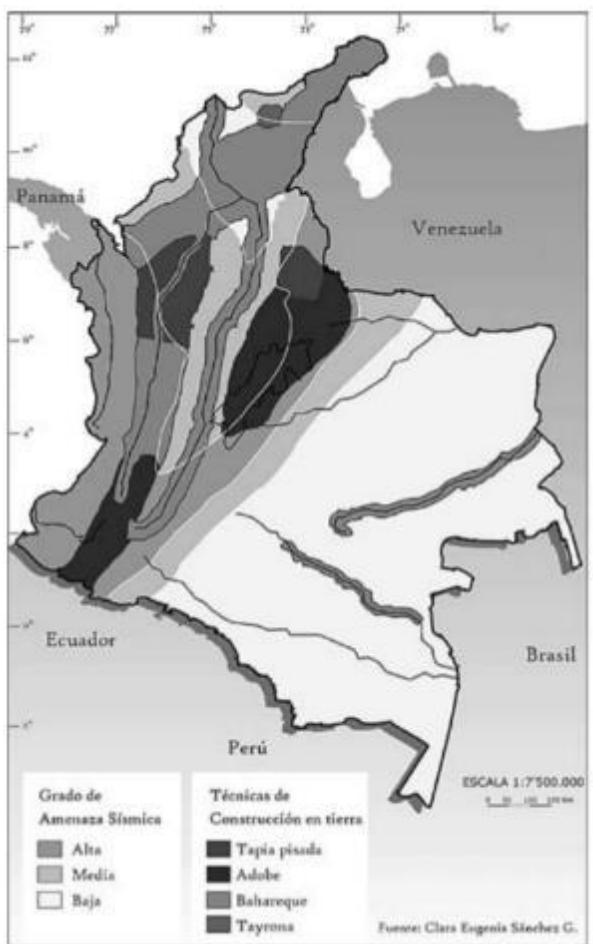
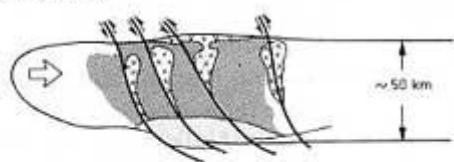


Figura 200 Ubicación de las construcciones en tierra con relación a la amenaza sísmica. (Sanchez Gama, 2007).

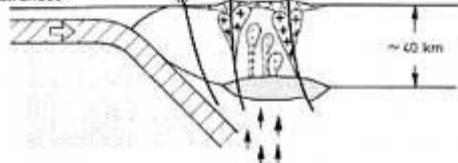
Karbon - Trias  
passiver Kontinentalrand



- [V V V] Rhyolithe-Ignimbrite
- [S S S] S Typ-Plutonismus
- [S S S] Sedimente
- (Oval) Zone der Anatexis

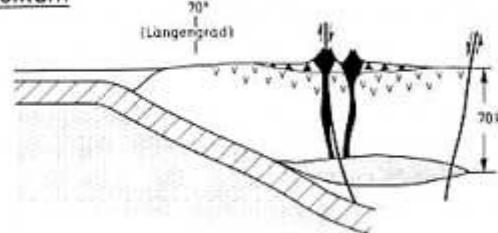
Jura - Kreide

Ausbildung eines aktiven  
Kontinentalrandes



- [R A R] Intermediärer basischer Vulkanismus
- [S S S] J-Typ-Plutonismus (sauer)
- [T T] J-Typ-Plutonismus (basisch)
- (Oval) Zone der Anatexis
- ↑↑ Aufsteigende Lösungen und Gase

Känozoikum



- Andesit-Formation
- ▲▲ Stratovulkane
- [V V V] Rhyolith-Formation
- (Oval) Zone der Anatexis
- ~40-70 km Mächtigkeit der Kruste
- Ozeanische Kruste
- /\ Subduktionszone

Entwicklung der Subduktionszone in den zentralen Anden.  
Aus: W. Zeil (1986), S. 126.

Figura 201 Desarrollo de la zona de subducción de la placa de Nazca y suramericana, Zona de los Andes. FUENTE: (Zeil, 1986, 126).

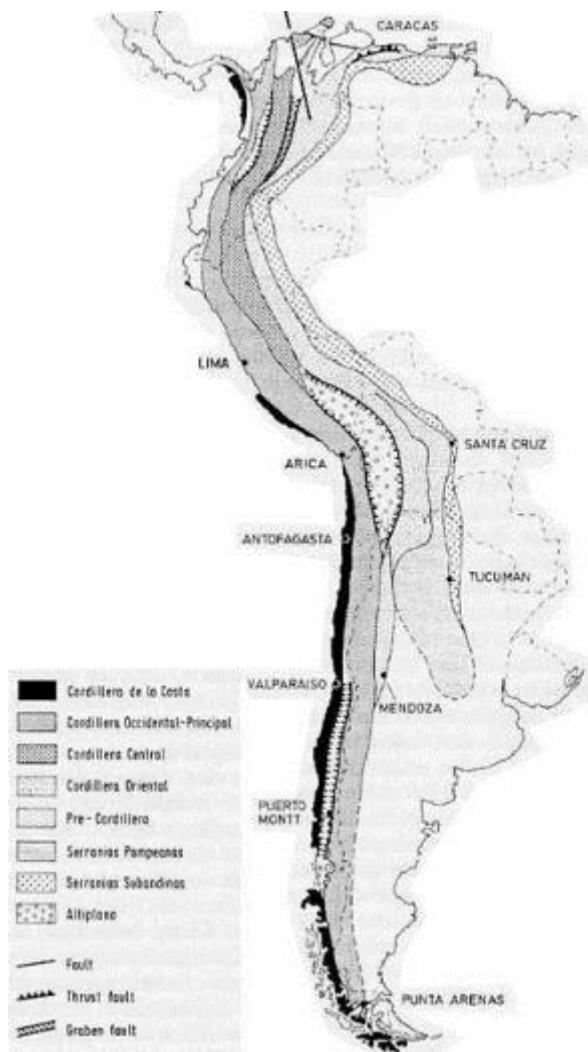


Figura 202 Cordilleras de los Andes, Sur- Occidente de América. FUENTE: (Zeil, 1986, 69).

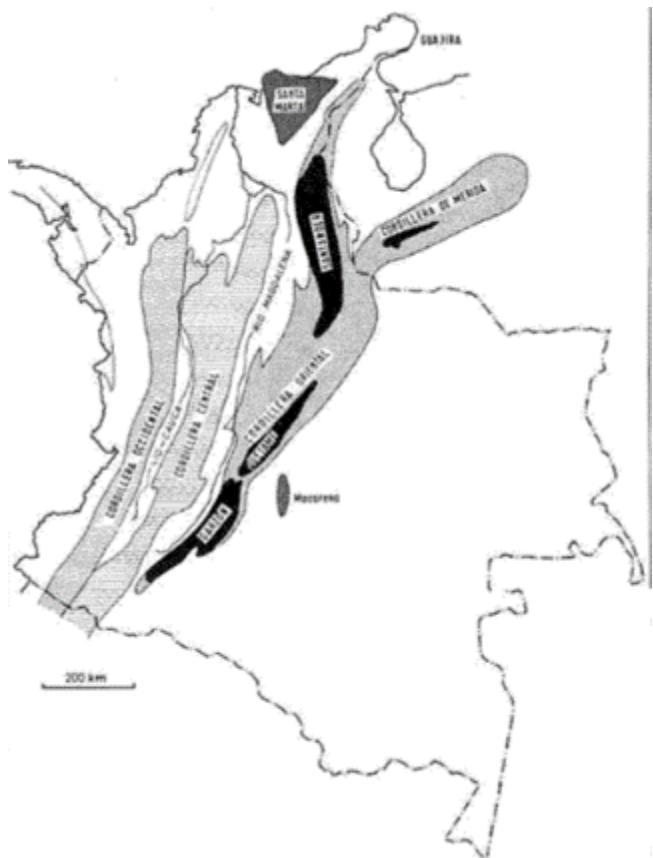


Figura 203 Cordillera Occidental, central y oriental de Colombia. FUENTE: (Zeil, 1986, 82)

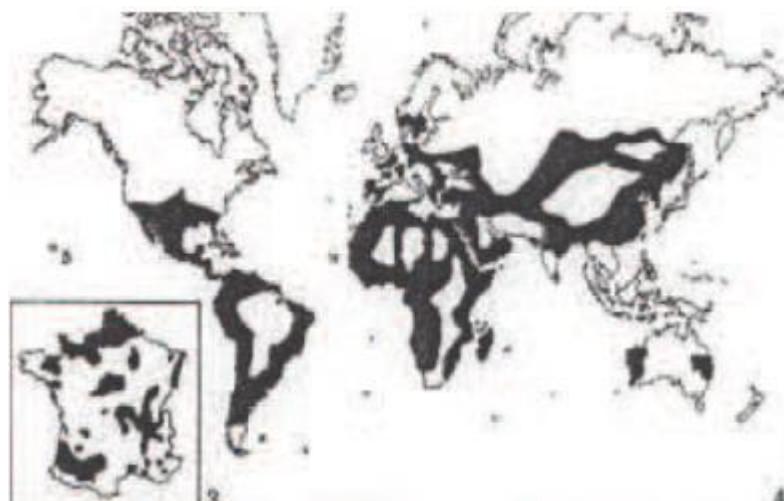


Figura 204 Distribución construcciones de tierra por el mundo. FUENTE: (Yuste, 2010, 40).

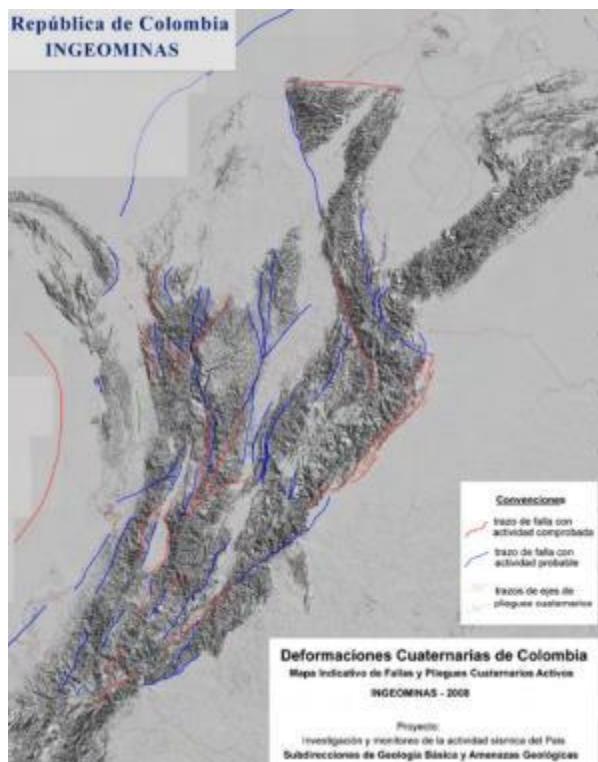


Figura 205 Mapa indicativo de fallas y pliegues cuaternarias activos en Colombia. FUENTE: INGEOMINAS.

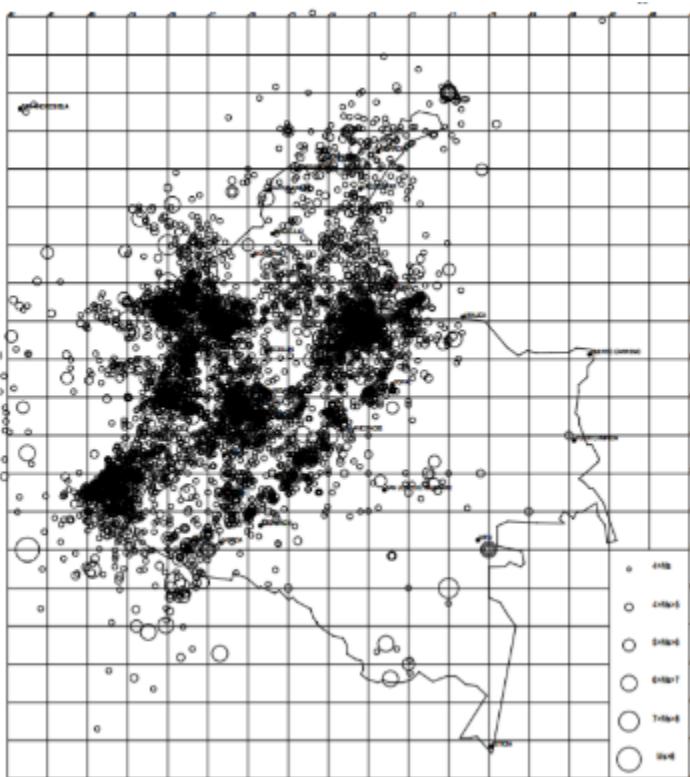


Figura 206 Localización epicentral de los sismos con  $M_s \geq 3$  (1541-2009). FUENTE: (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

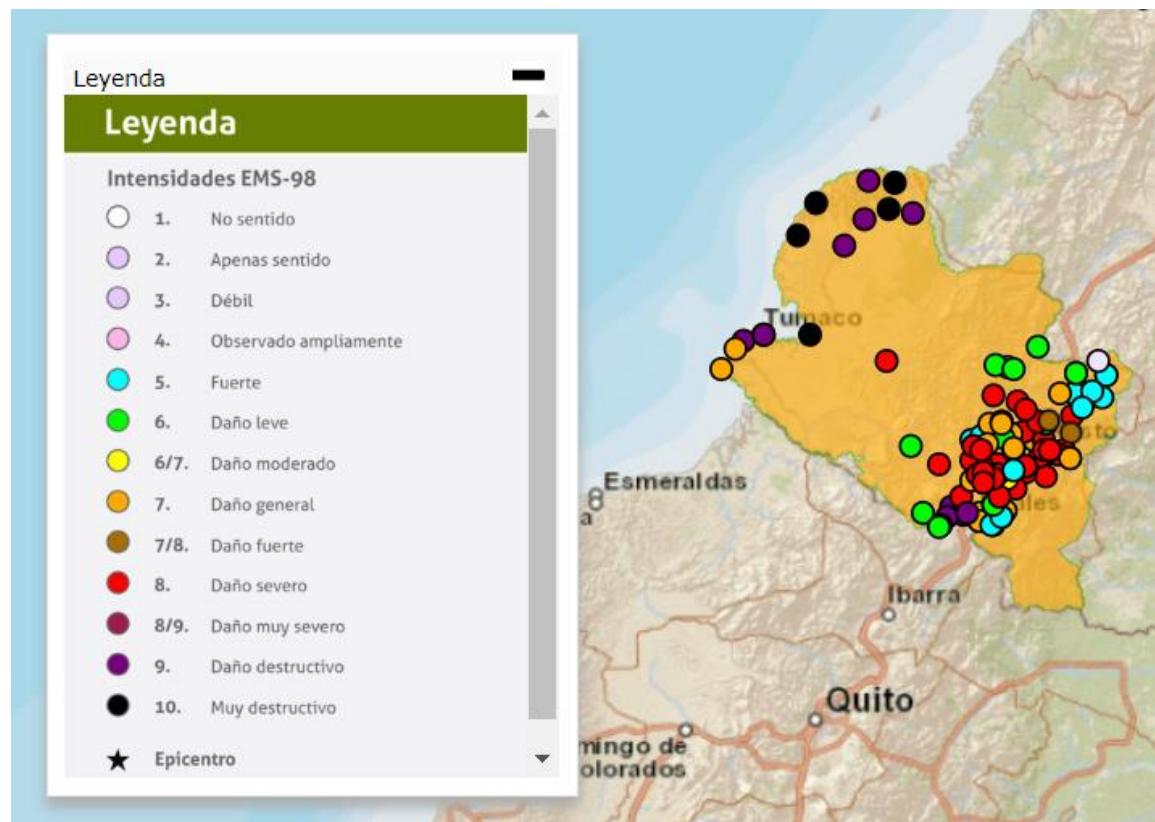


Figura 207 Registro histórico de sismos en el departamento de Nariño, Colombia. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009).

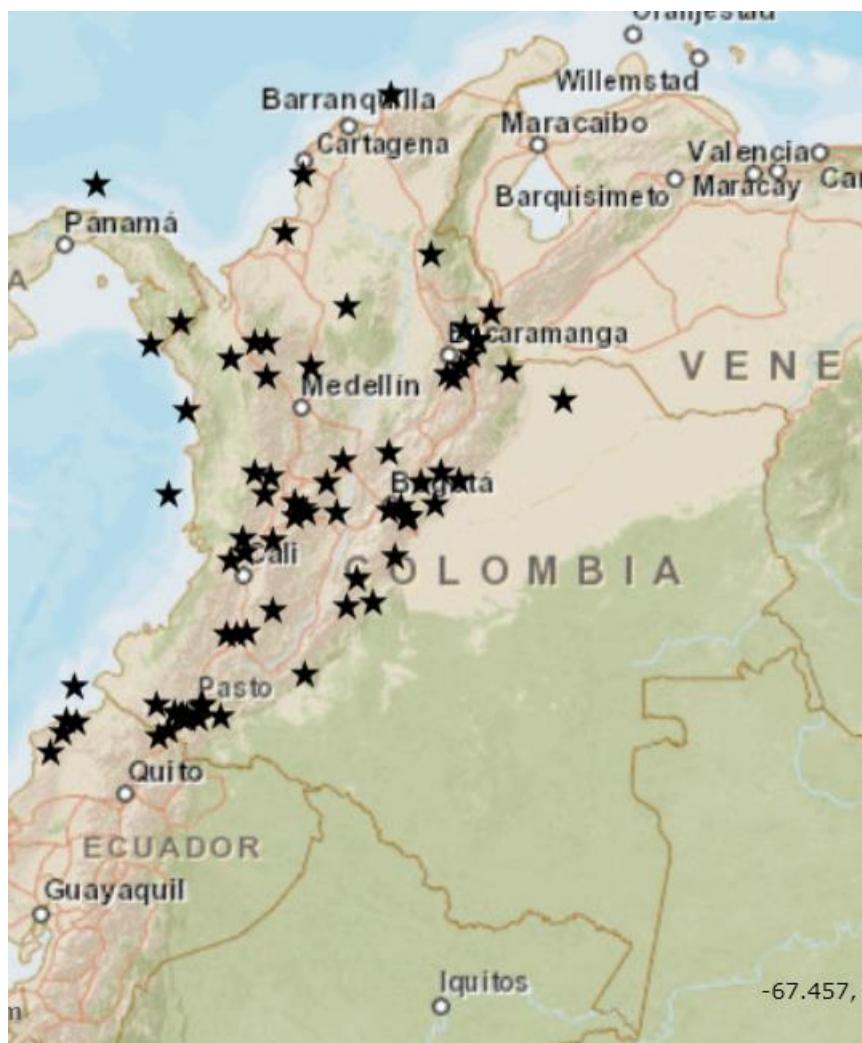


Figura 208 Registro histórico de sismos en Colombia. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009).

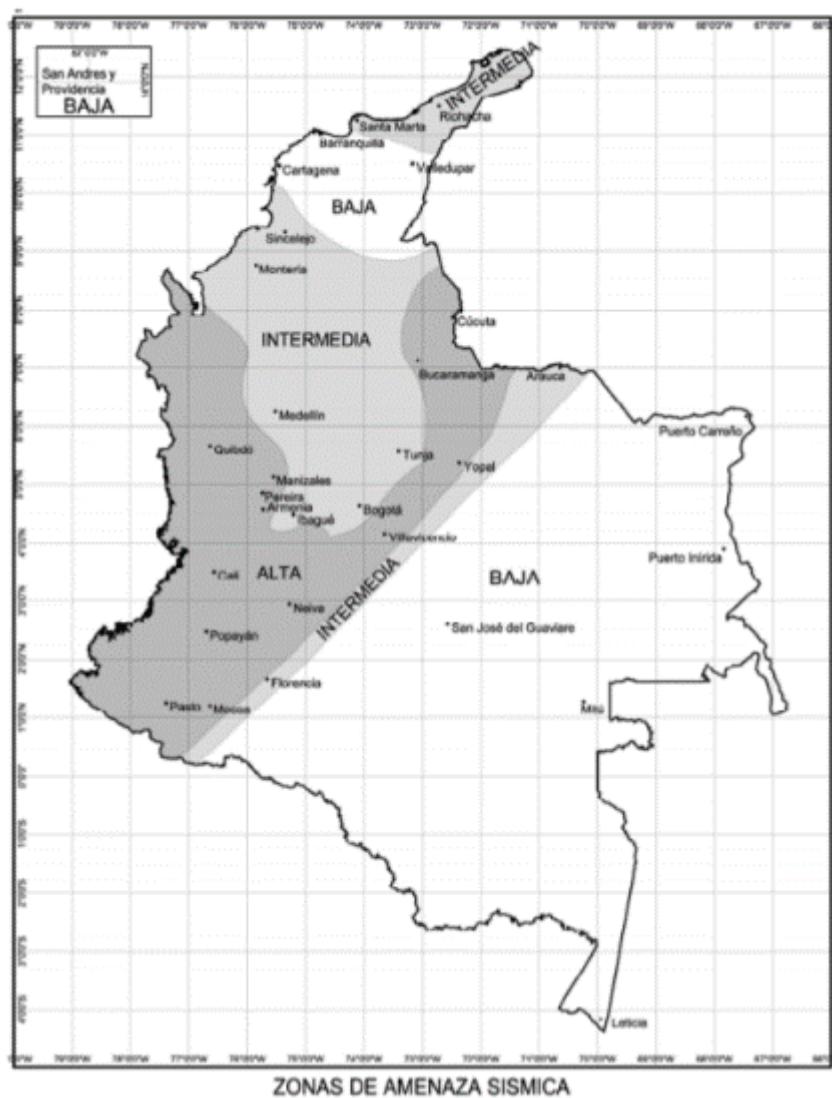


Figura 209 Zonificación de amenaza sísmica de Colombia. FUENTE: Figura A.2.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

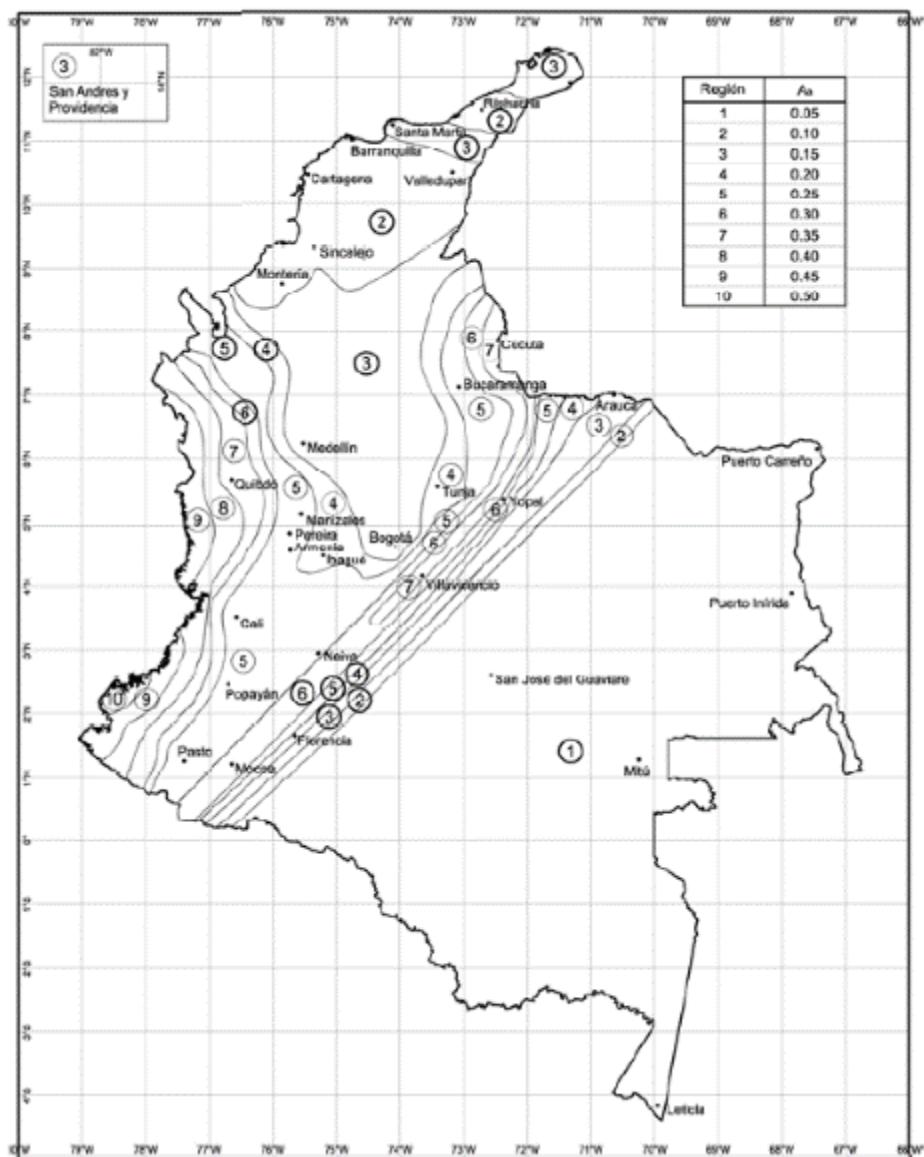


Figura 210 Valores  $A_a$  (Aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ). FUENTE: Figura A.2.3-2 (*Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010*).

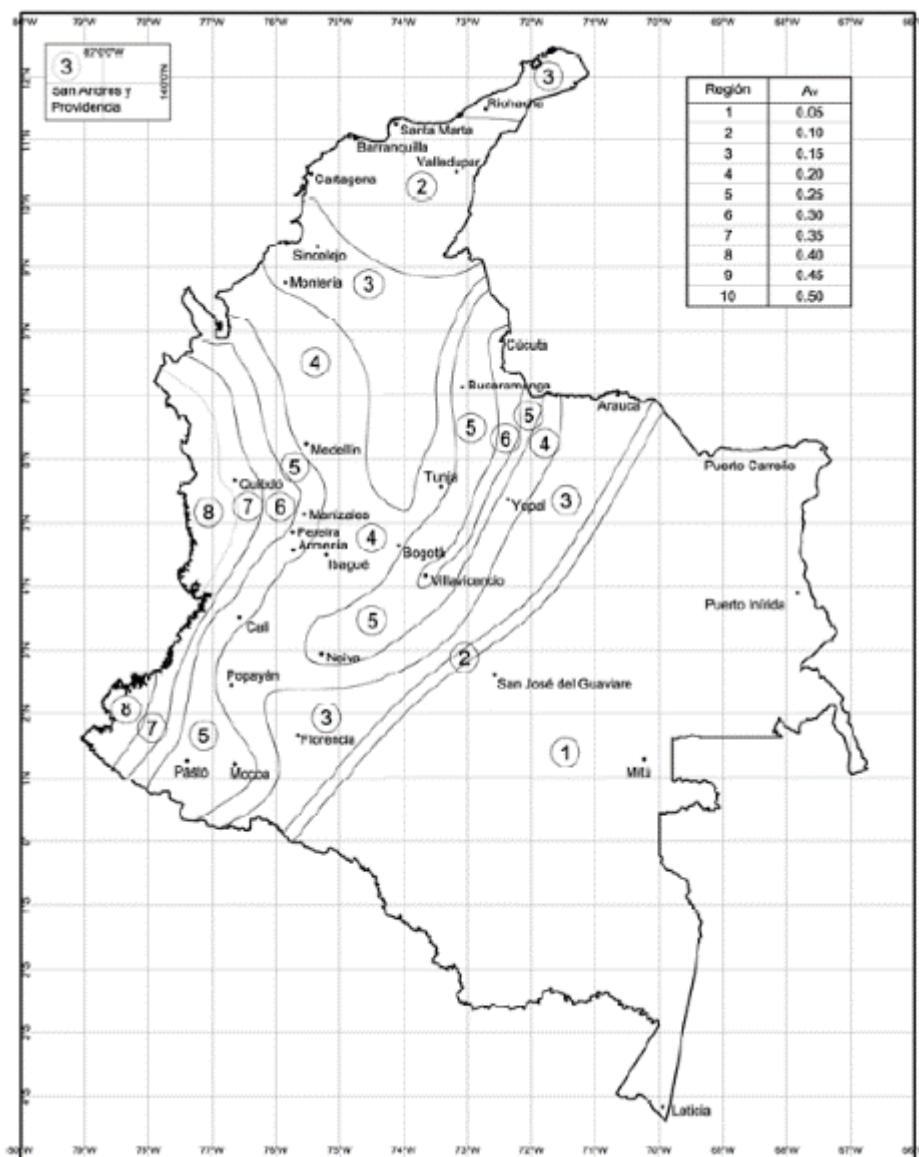


Figura 211 Valores  $A_v$  (Aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios expresada como fracción de la aceleración de la gravedad,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ). FUENTE: Figura A.2.3-3 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

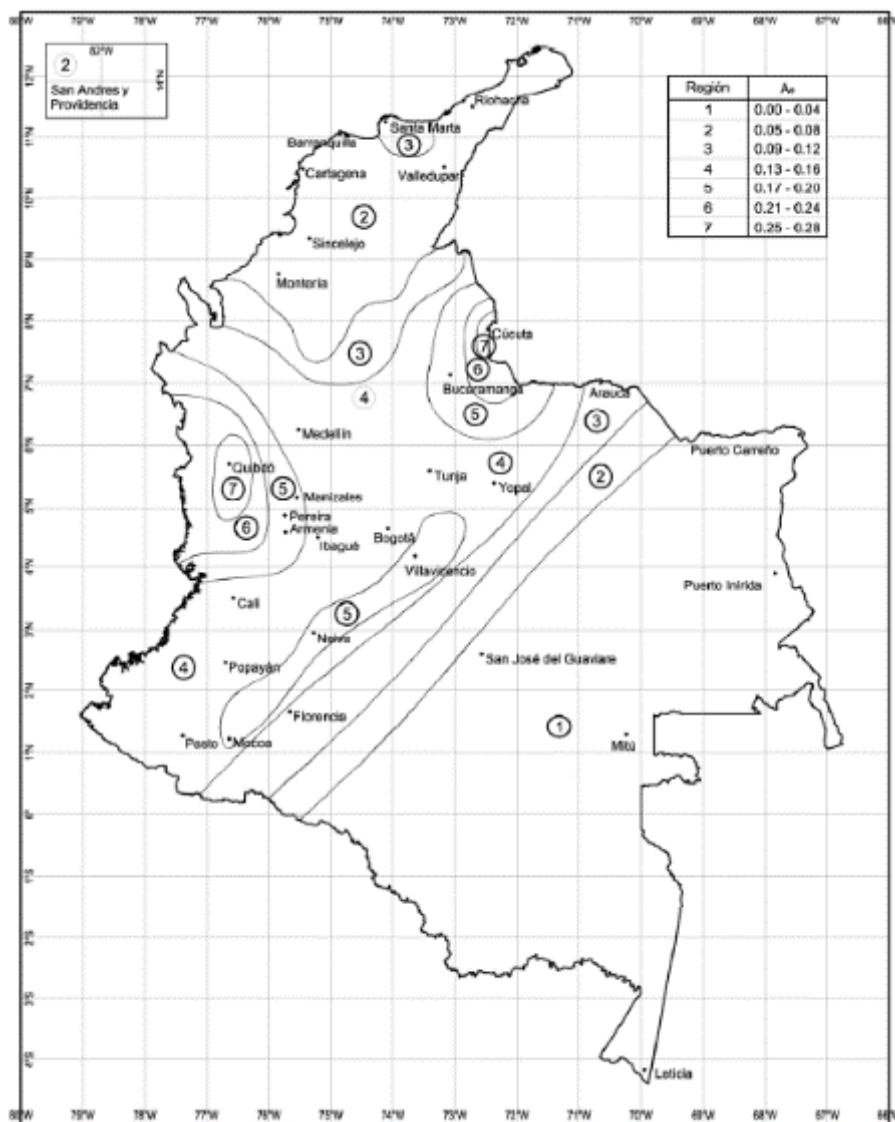


Figura 212 Valores Ae. FUENTE: Figura A.10.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente).



Figura 213 Izquierda, Localización de Colombia - Centro, localización de Pasto en Colombia - Derecha, localización de Pasto en Nariño.  
FUENTE: (Wikipedia, 2018).



Figura 214 Plan especial de manejo y protección (PEMP) del centro histórico, bienes de interés cultural nacional (BICN), y de inmuebles aislados de interés cultural (BIC), del municipio de Pasto, Casa Zarama. FUENTE: Alcaldía de Pasto.

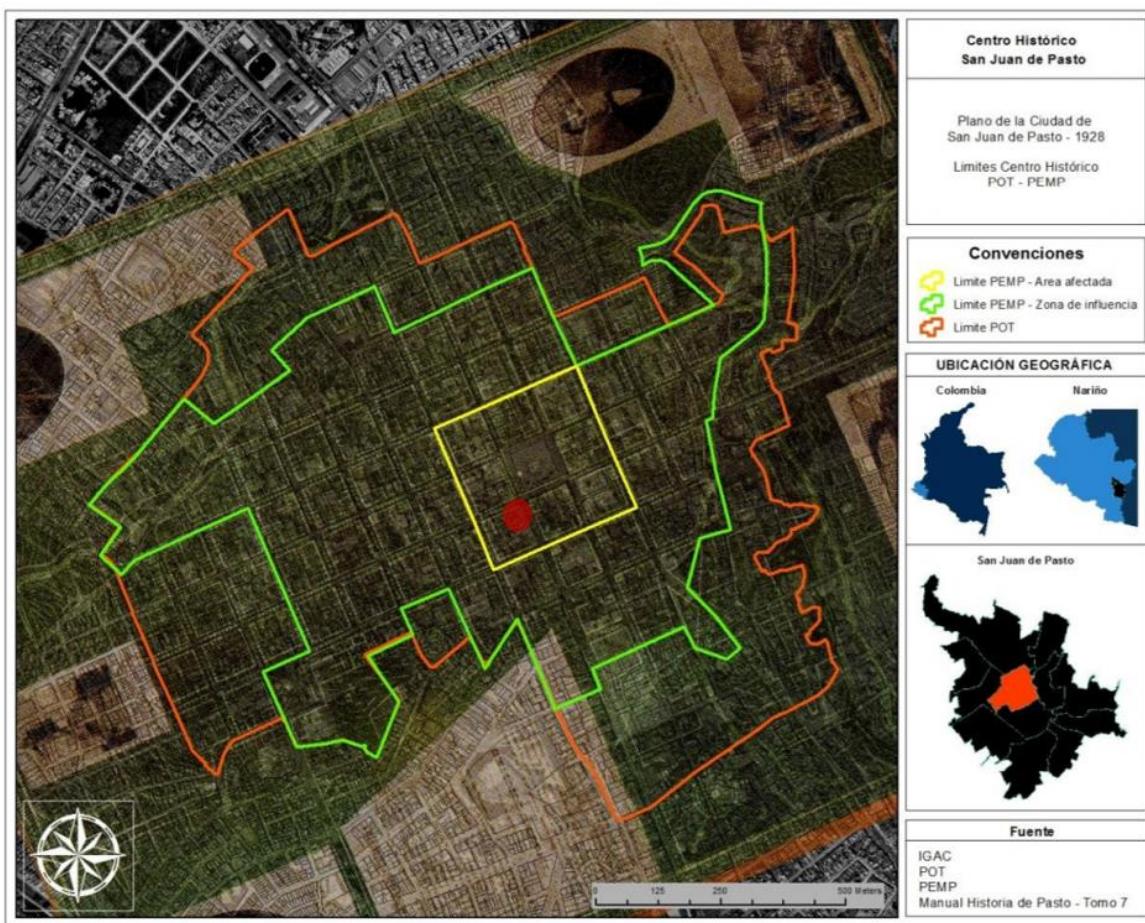


Figura 215 Ubicación Casa Zarama, POT - PEMP. FUENTE: (Alcaldía de Pasto, 2013).

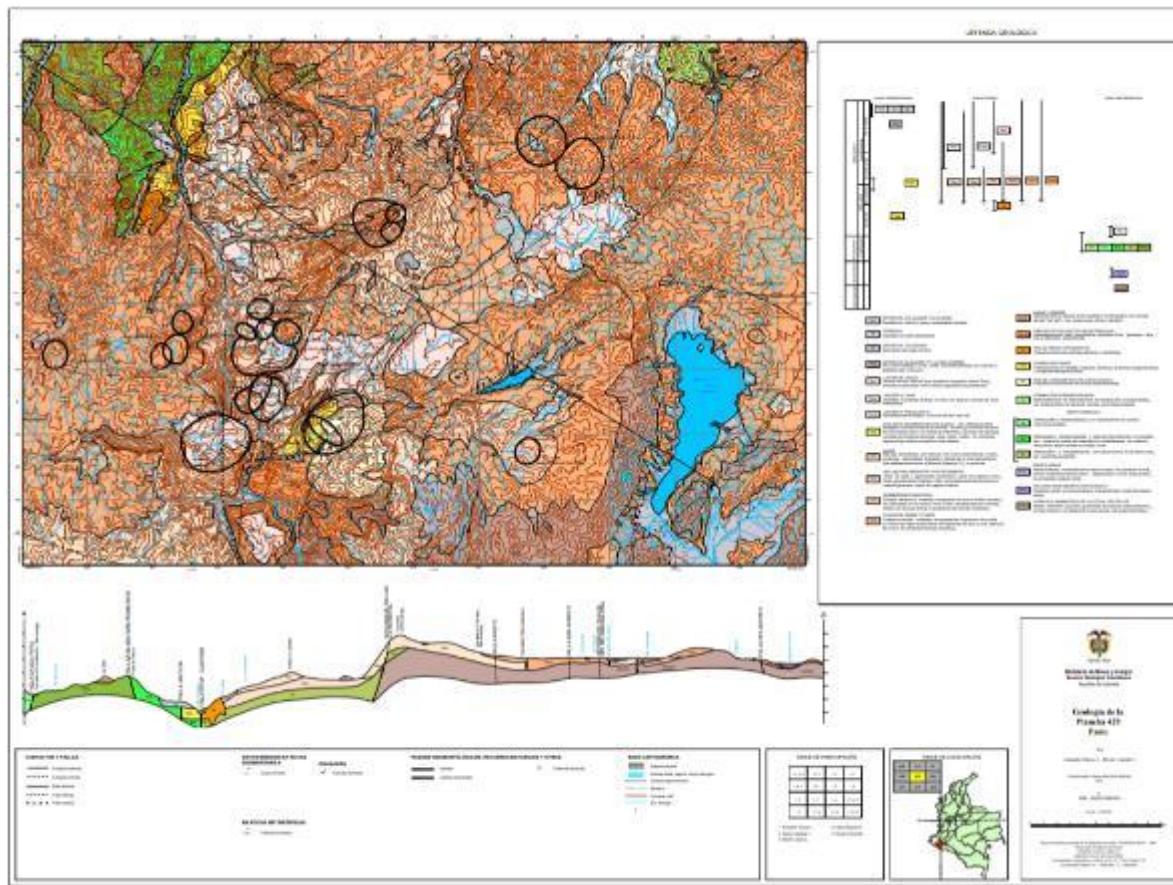


Figura 216 Mapa geológico de Pasto, Plancha 429 FUENTE: INGEOMINAS.

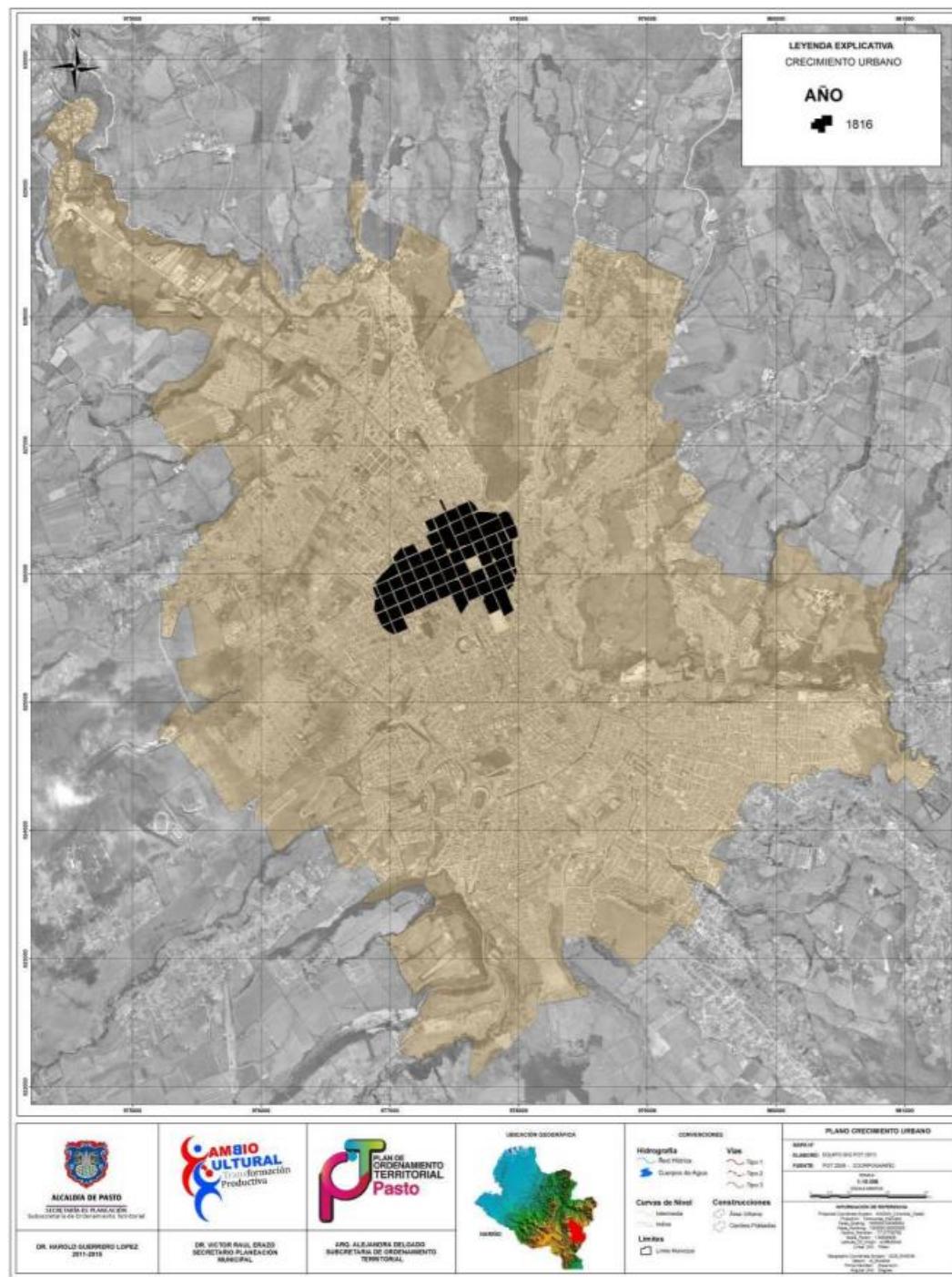


Figura 217 Plano crecimiento urbano en Pasto, en negro población en 1816. FUENTE: (Alcaldía de Pasto, 2013).

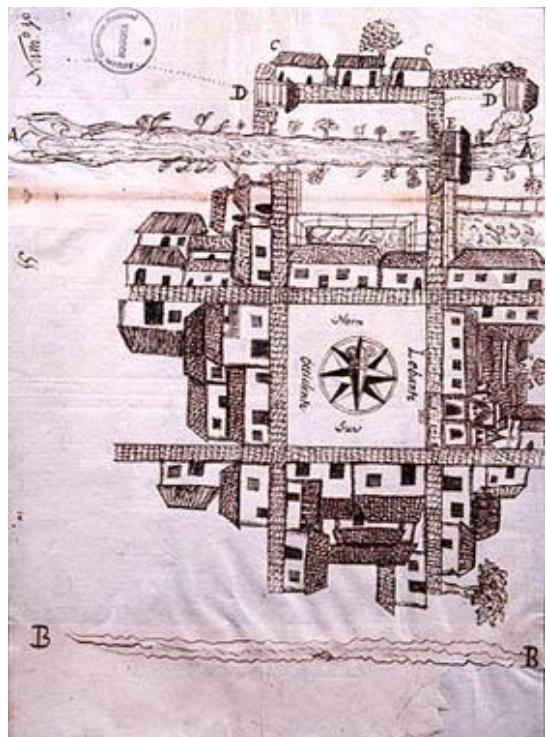


Figura 218 Plano de la parroquia de Güepsa, Santander, Nor-oriente de Colombia, 1803. FUENTE: (Archivo General de la Nación).



Figura 219 Ubicación Casa Zarama en lamina del plano de la ciudad de Pasto. FUENTE: (Varios Autores, 1924).



Figura 220 Ubicación Casa Zarama en el plano de la ciudad de Pasto elaborado por Higinio Muñoz en 1864. FUENTE: (Fonseca González, 2009).



Figura 221 Ubicación Casa Zarama en el plano de tuberías para Pasto, 1919. FUENTE: (Fonseca González, 2009).



Figura 222 Ubicación Casa Zarama en plano direccional de Pasto, 1928. FUENTE: (Fonseca González, 2009).

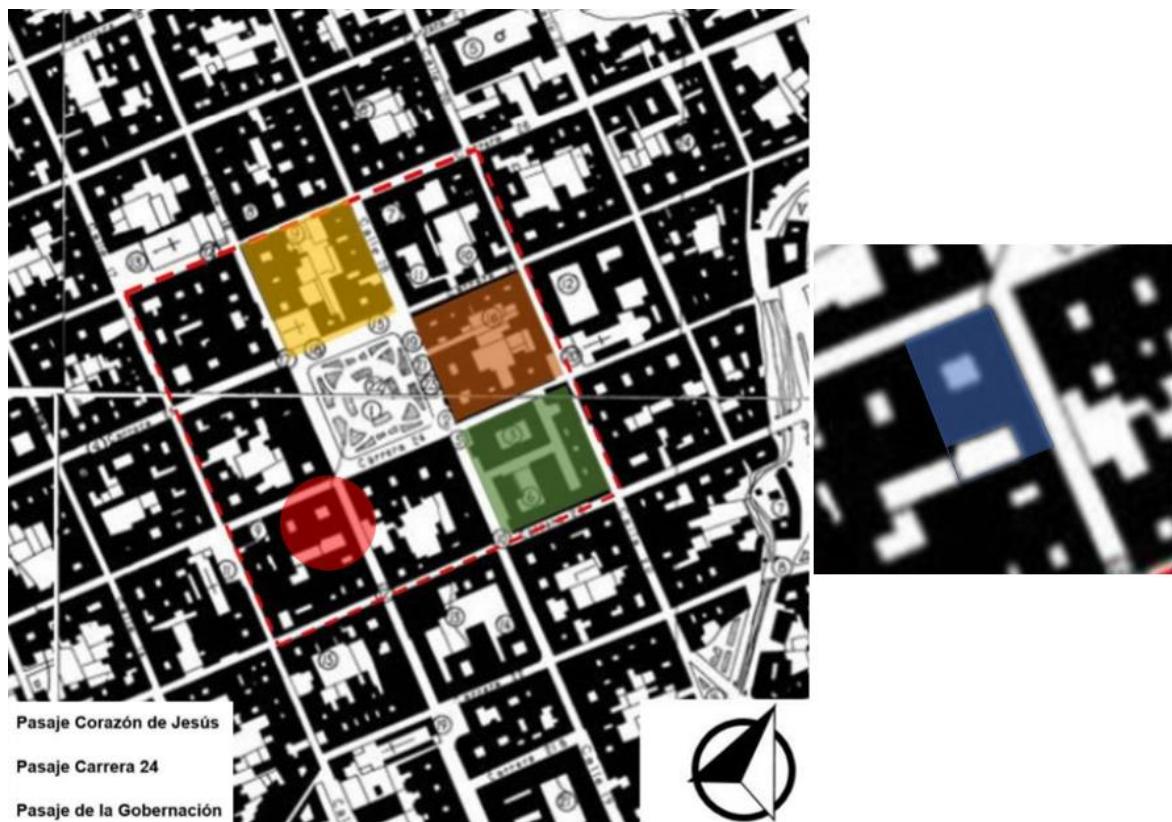


Figura 223 Ubicación Casa Zarama en plano centro de Pasto. Se observa configuración de la cubierta de la Casa Zarama y actual Casa Juan Antonio. FUENTE: (Jojoa Zamora, 2015).

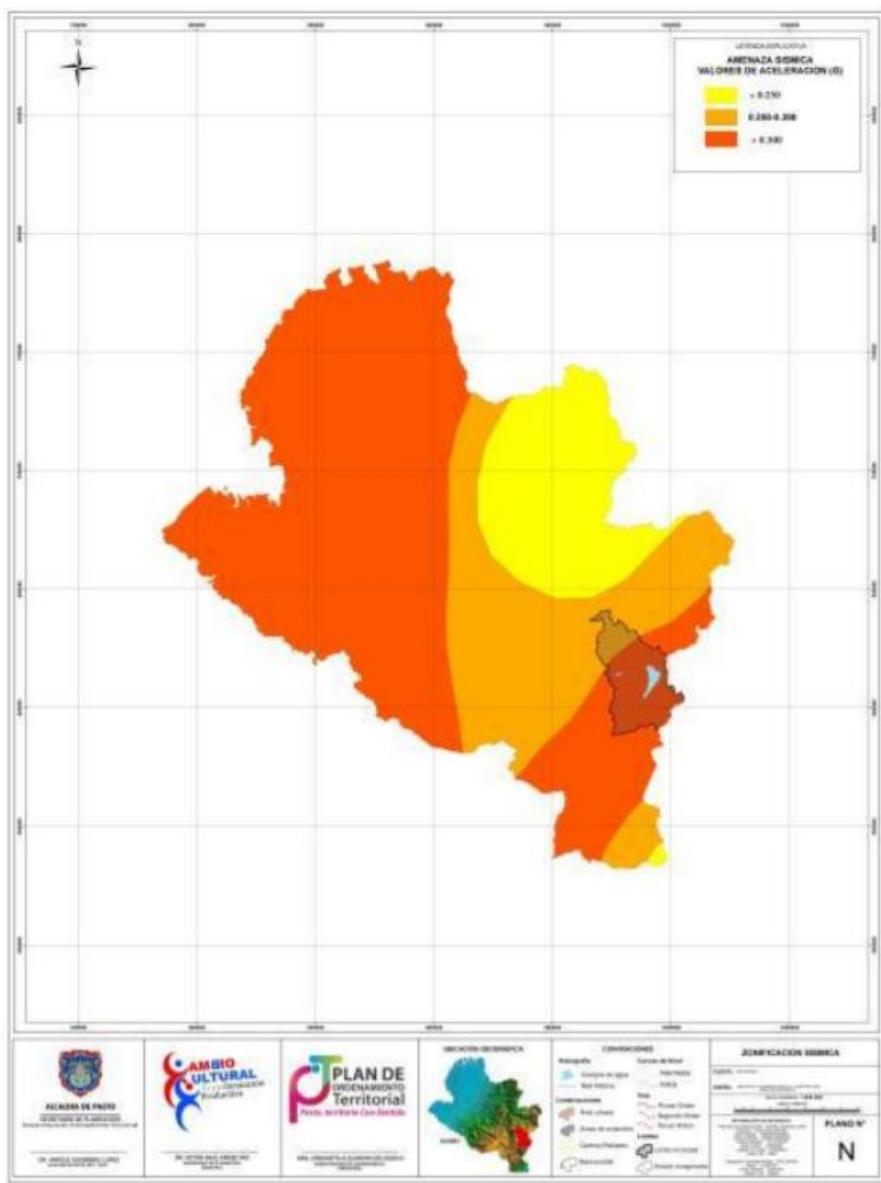


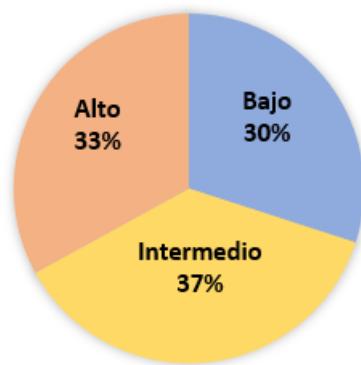
Figura 224 Zonificación de amenaza sísmica en el departamento de Nariño. FUENTE: INGEOMINAS, 1996.



Figura 225 Sistema de geo codificación de la ciudad de Pasto. Vía principal No Vía generadora – Distancia en metros a la vía generadora (Grupo de Investigación GRIAS- KDD, 2016).

### 13.6 Gráficas

## RIESGO SISMICO EN EL PATRIMONIO COLONIAL

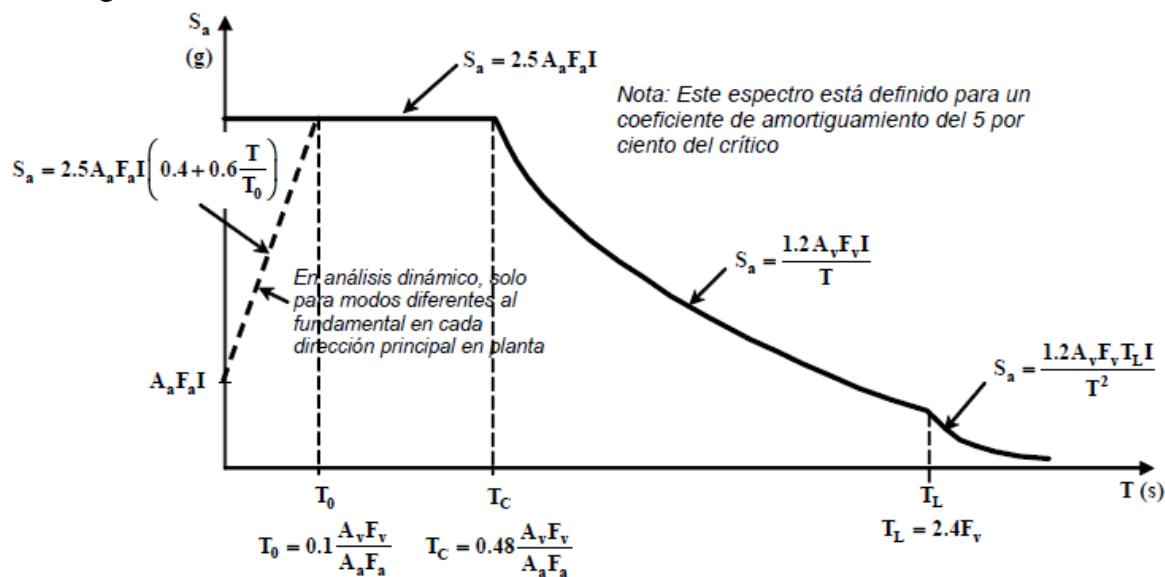


Gráfica 5 Riesgo sísmico en el patrimonio colonial (Acero Matallana, 2012).

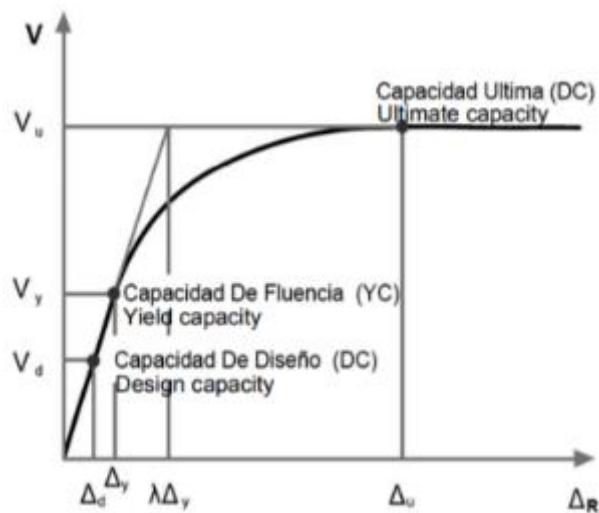


Gráfica 6 Histograma sísmico de la ciudad de Pasto. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009).

### 13.7 Figura



Gráfica 7 Espectro elástico de aceleraciones de diseño en fracción de la gravedad. FUENTE: Figura A.2.6.-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).



Gráfica 8 Curva de capacidad, Desplazamiento máximo ( $R$ ) Vs Cortante Basal ( $V$ ). FUENTE: (Maldonado Rondon, Jasbon Carvajal, & Chio Cho, 2010).

### 13.8 Plano

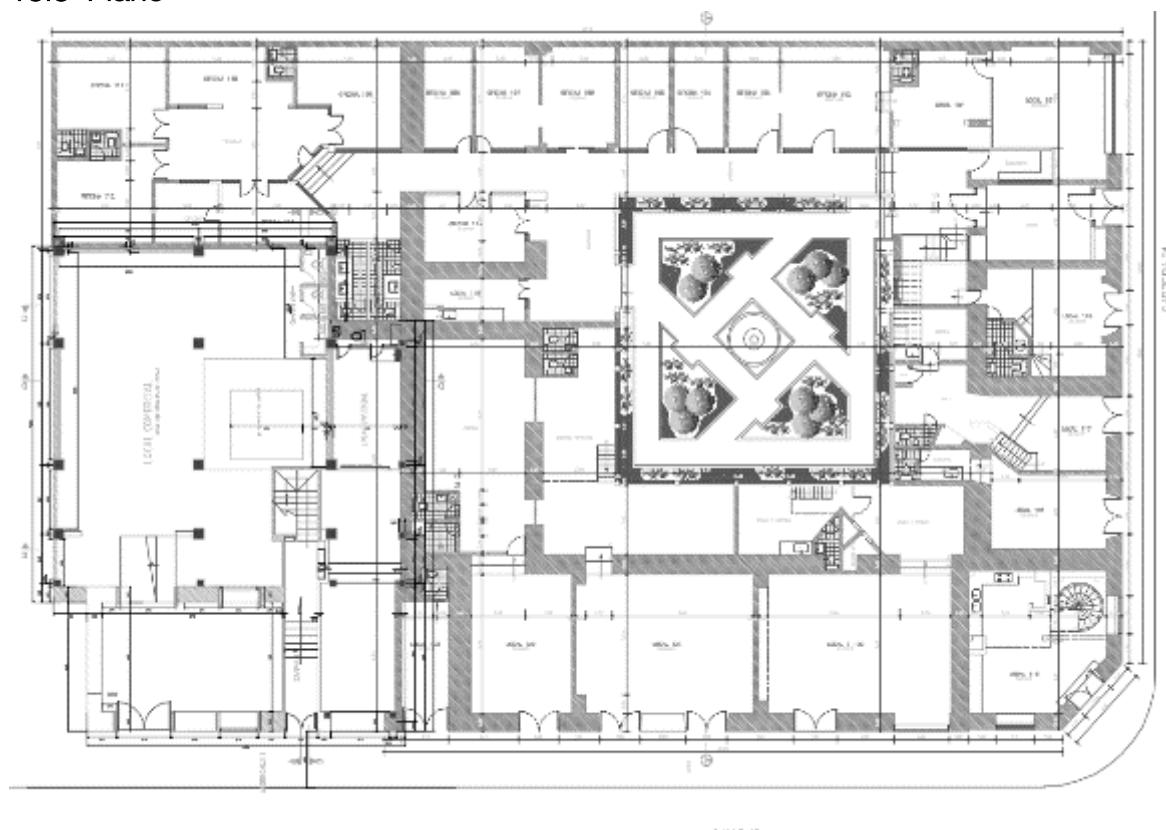


Figura 226 Primera Planta, Casa Zarama y Casa José Antonio en la actualidad. FUENTE: (Planos Casa Zarama: Ing. Leonor / Planos Casa José Antonio: Arq. Mauricio Conto).

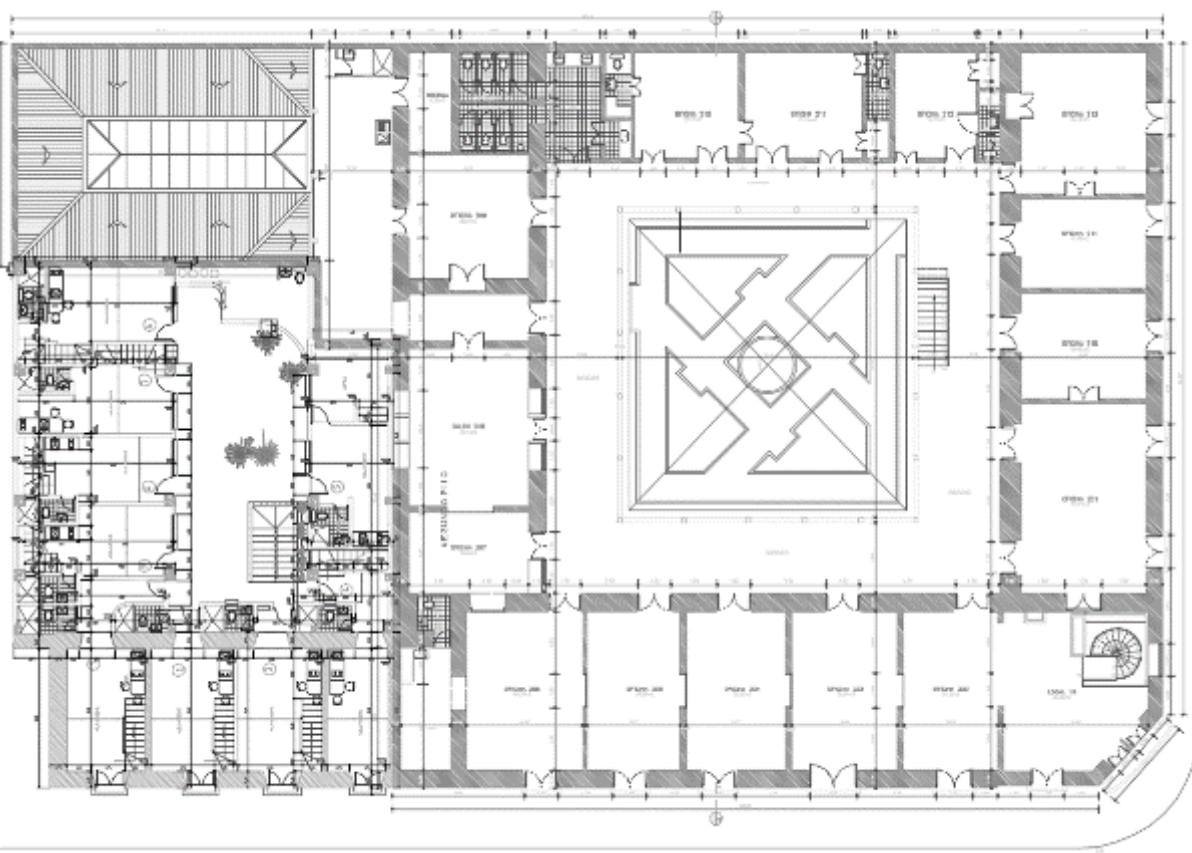


Figura 227 Segunda Planta, Casa Zarama y Casa José Antonio en la actualidad. FUENTE: (Planos Casa Zarama: Ing. Leonor / Planos Casa José Antonio: Arq. Mauricio Conto).

ESBELTEZ MUROS PRIMERA PLANTA

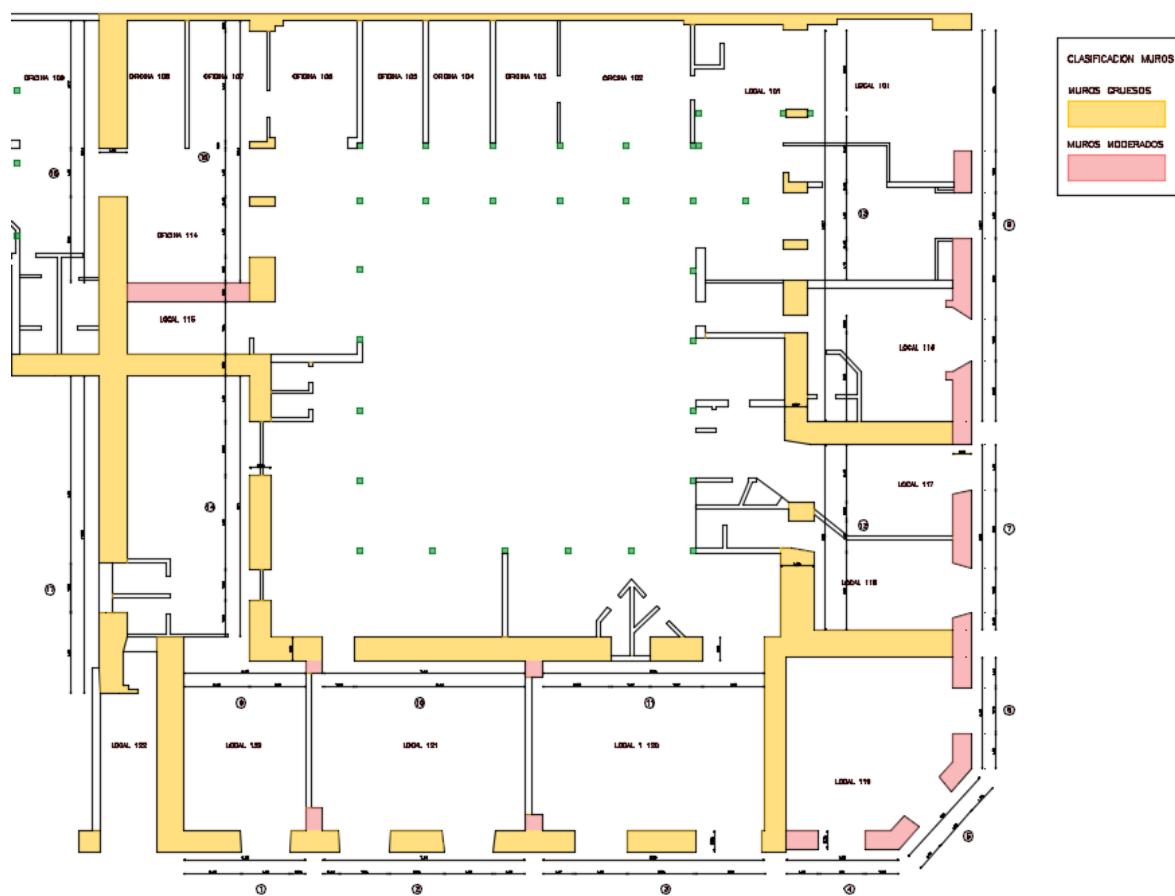


Figura 228 Esbeltez de muros, Primera planta, Casa Zarama. Amarillo: Muros gruesos / Rojo: Muros moderados.

ESBELTEZ MUROS SEGUNDA PLANTA

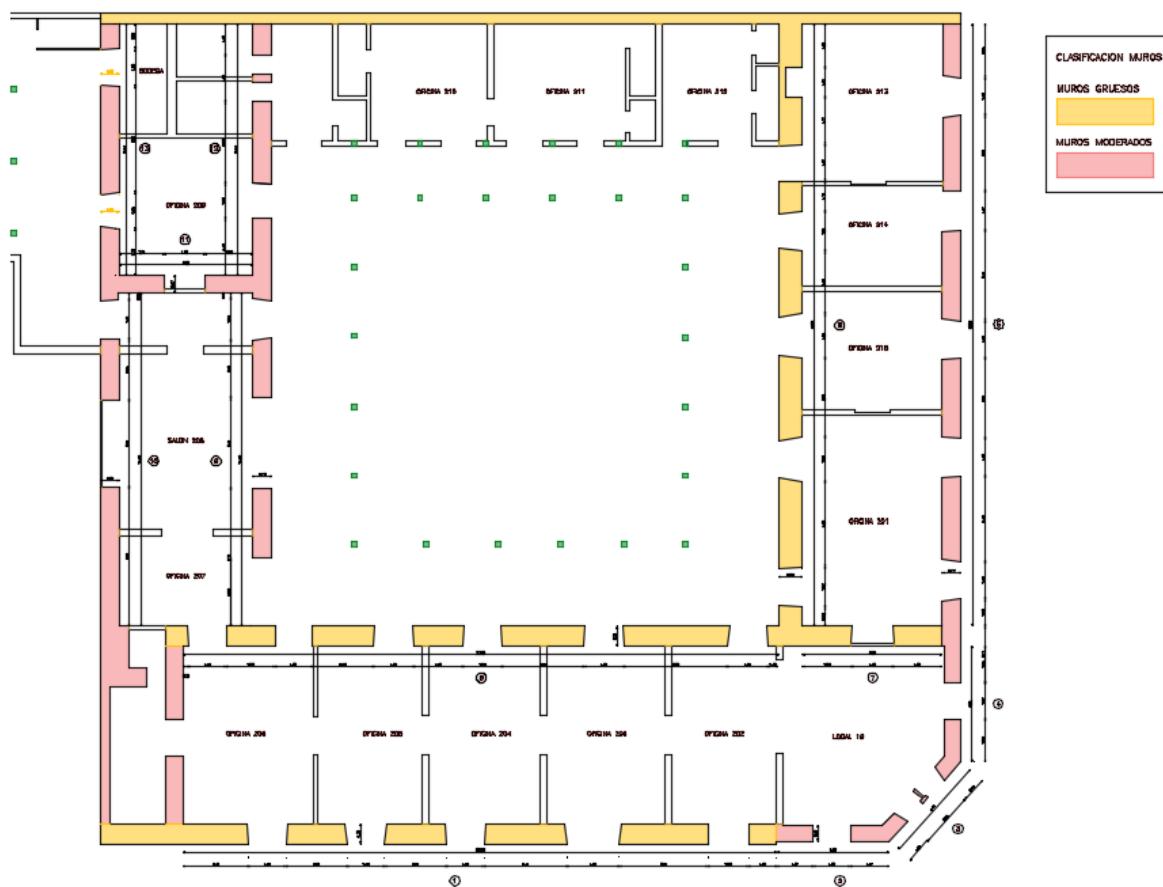


Figura 229 Ebeltez de muros, Segunda planta. Casa Zarama. Amarillo: Muros gruesos / Rojo: Muros moderados.

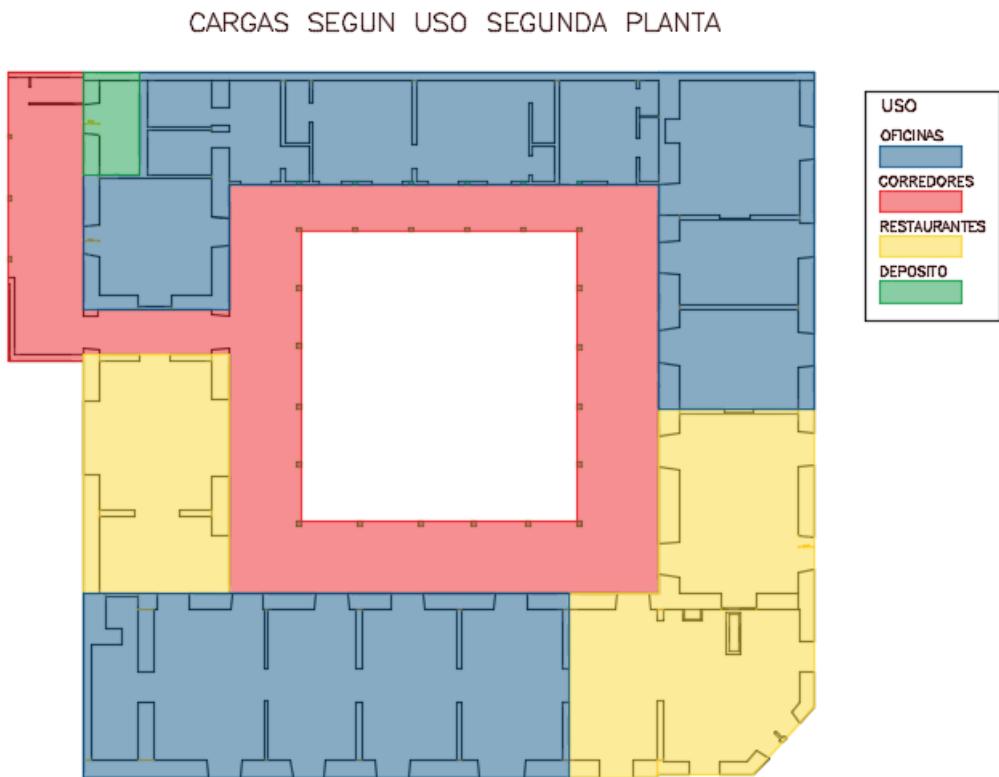


Figura 230 Sectorización según uso. Segunda Planta, Casa Zarama.

### 13.9 ANGLE

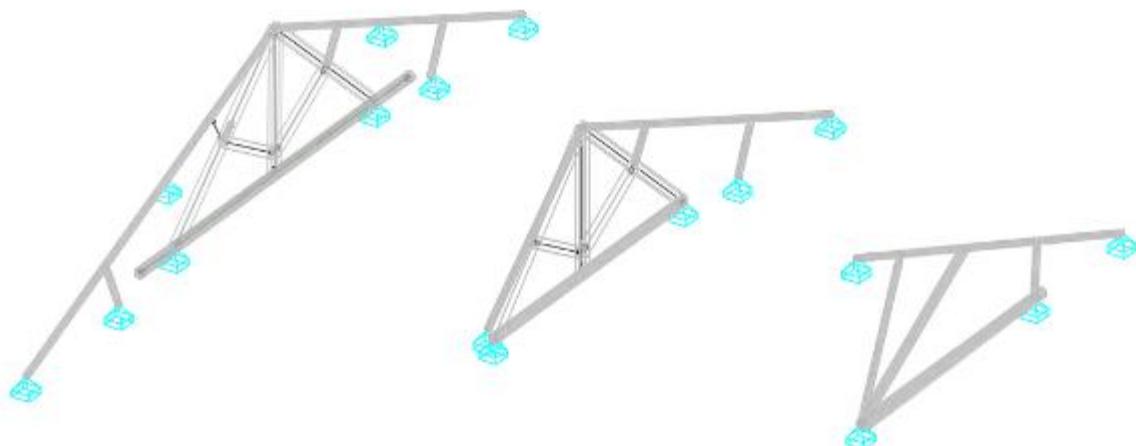


Figura 231 Modelo de las distintas armaduras de cubiertas de la Casa Zarama.

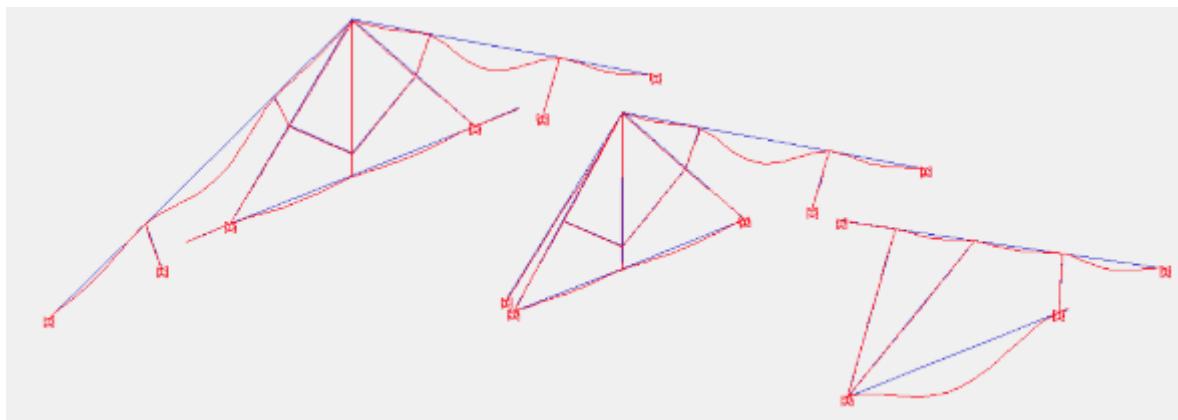


Figura 232 Deformada de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.

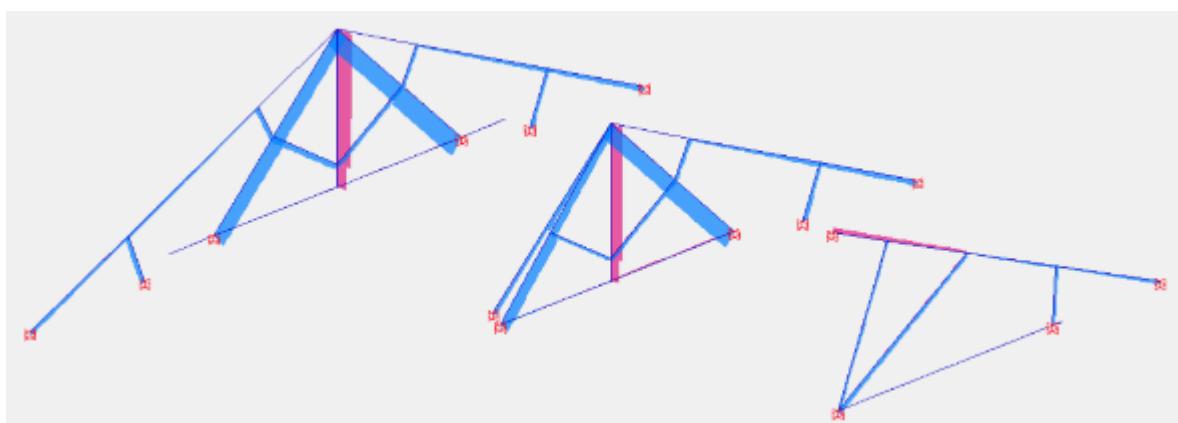


Figura 233 Diagrama esfuerzos axiales, de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.

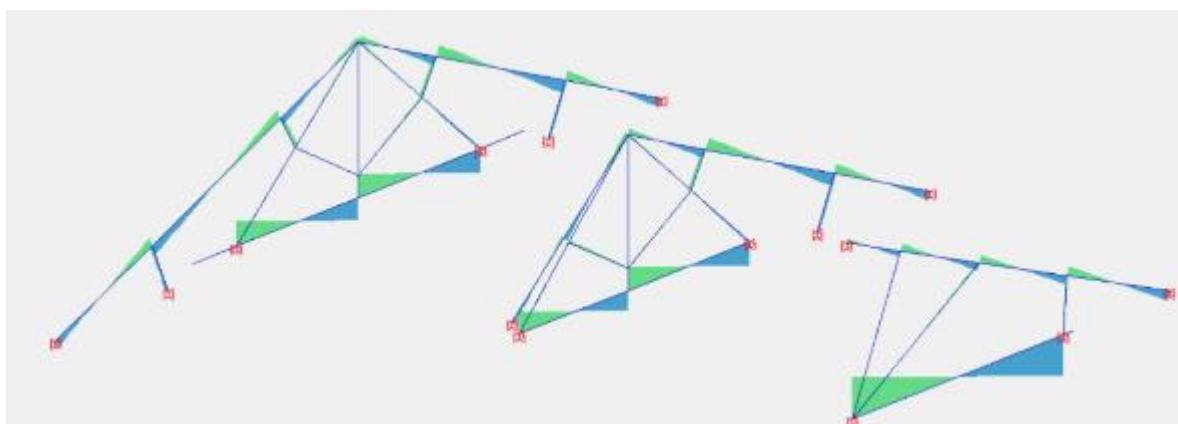


Figura 234 Diagrama de esfuerzos cortantes  $V_y$ , de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.

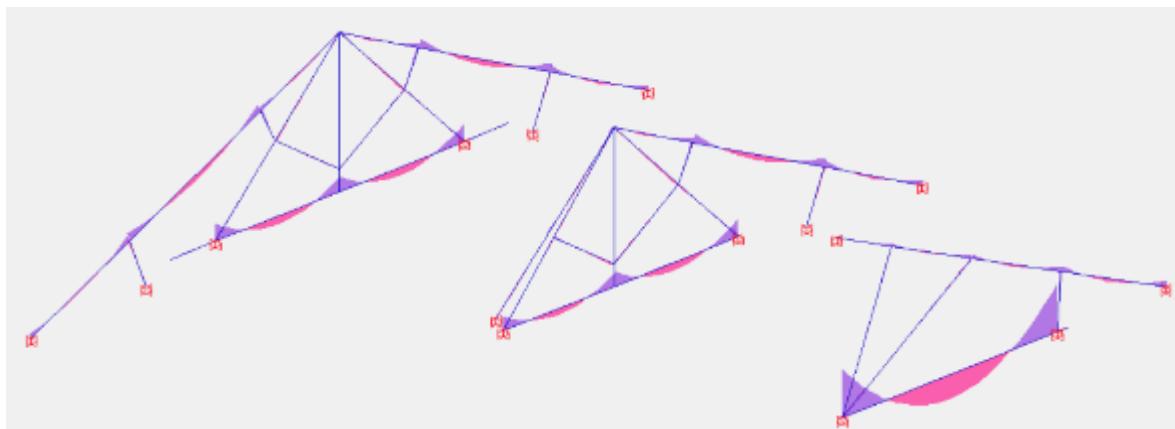


Figura 235 Diagrama de momentos  $M_z$ , de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.

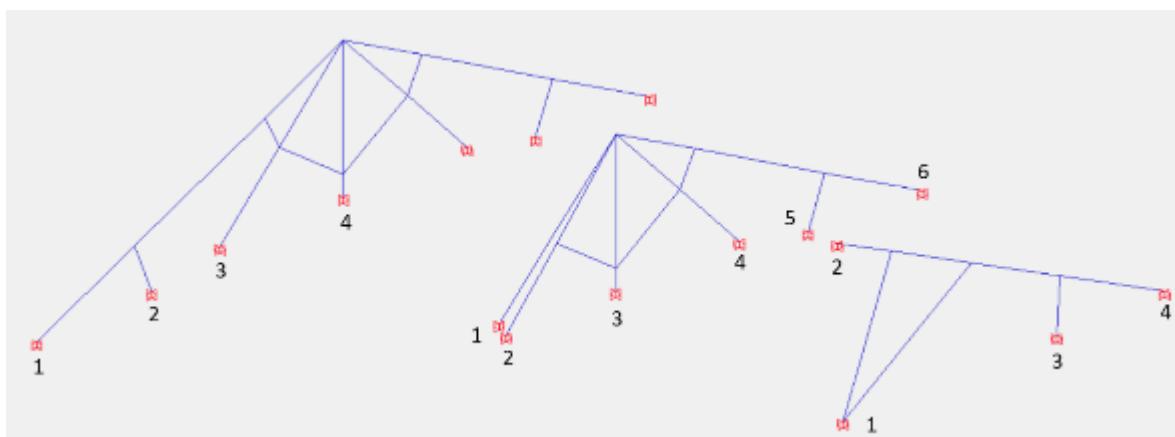


Figura 236 Reacciones de las distintas armaduras de cubierta de la Casa Zarama.

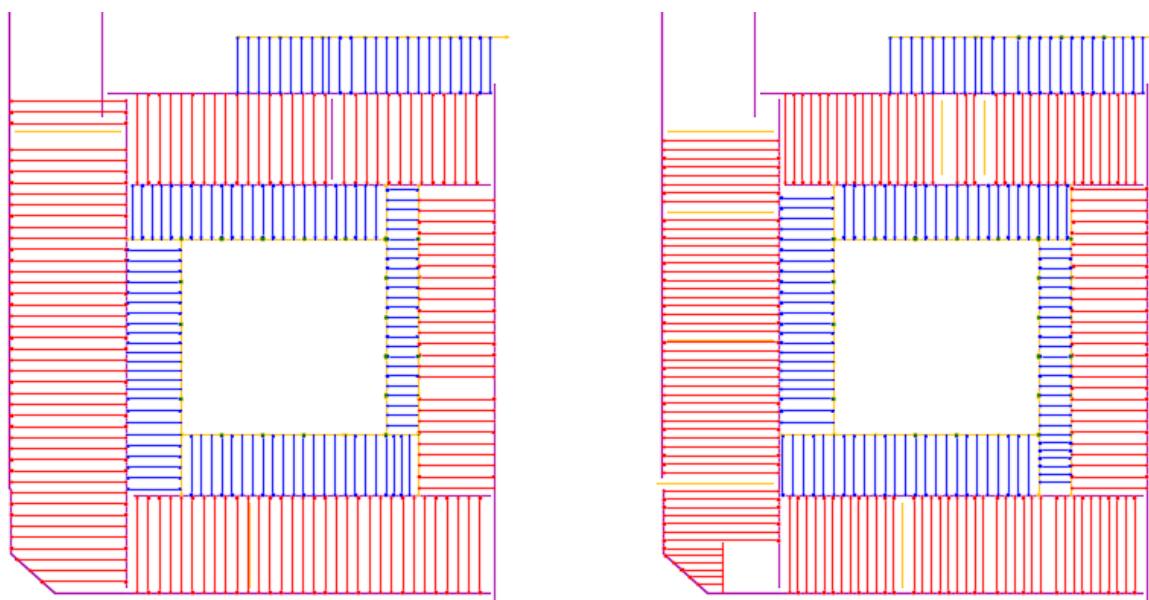


Figura 237 Ejes de la estructura de la Casa Zarama.

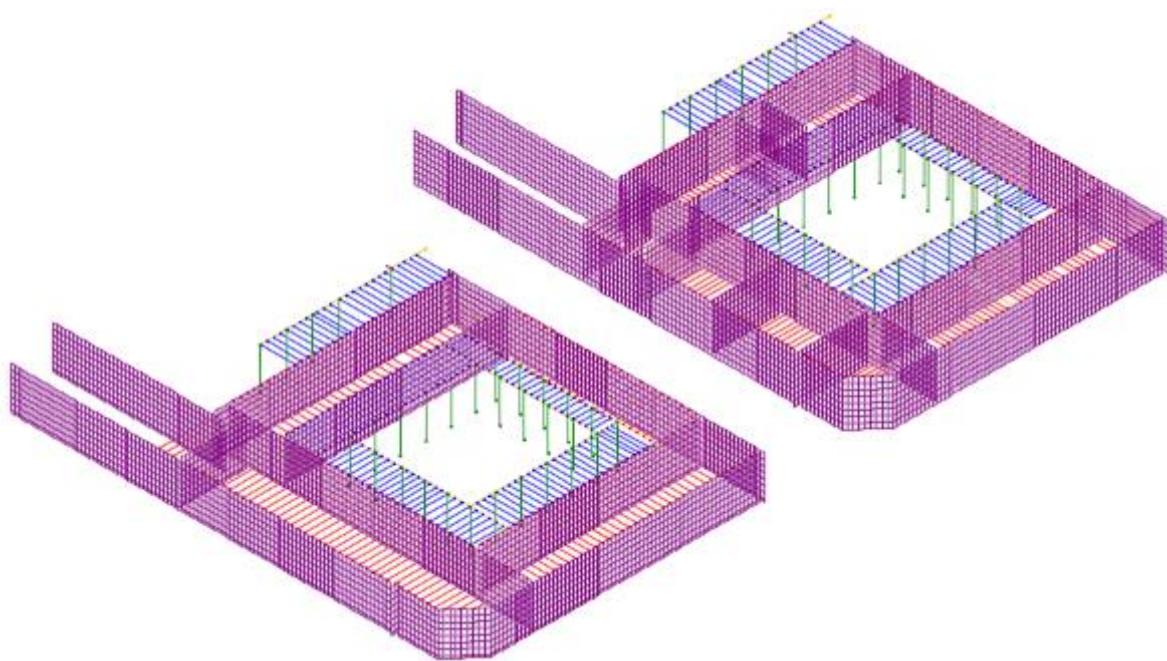


Figura 238 Modelo en malla para muros de tapia.

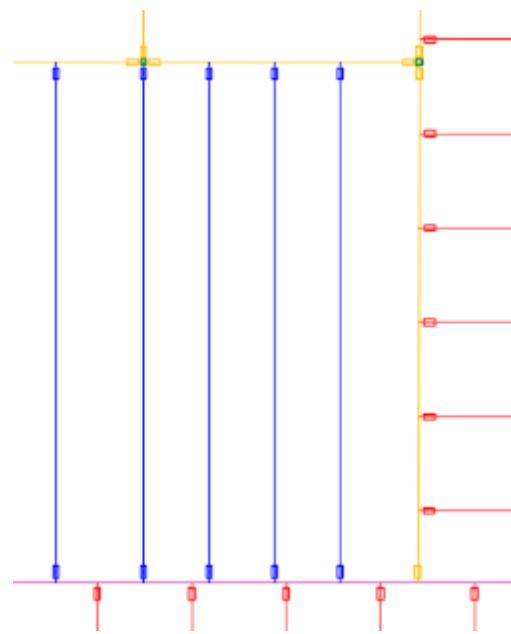


Figura 239 Relajaciones en momentos Z de vigas y pilares. 0.4 apoyo elementos madera, 0.9 empotramiento tapia primera planta, 0.6 empotramiento tapia segunda planta.

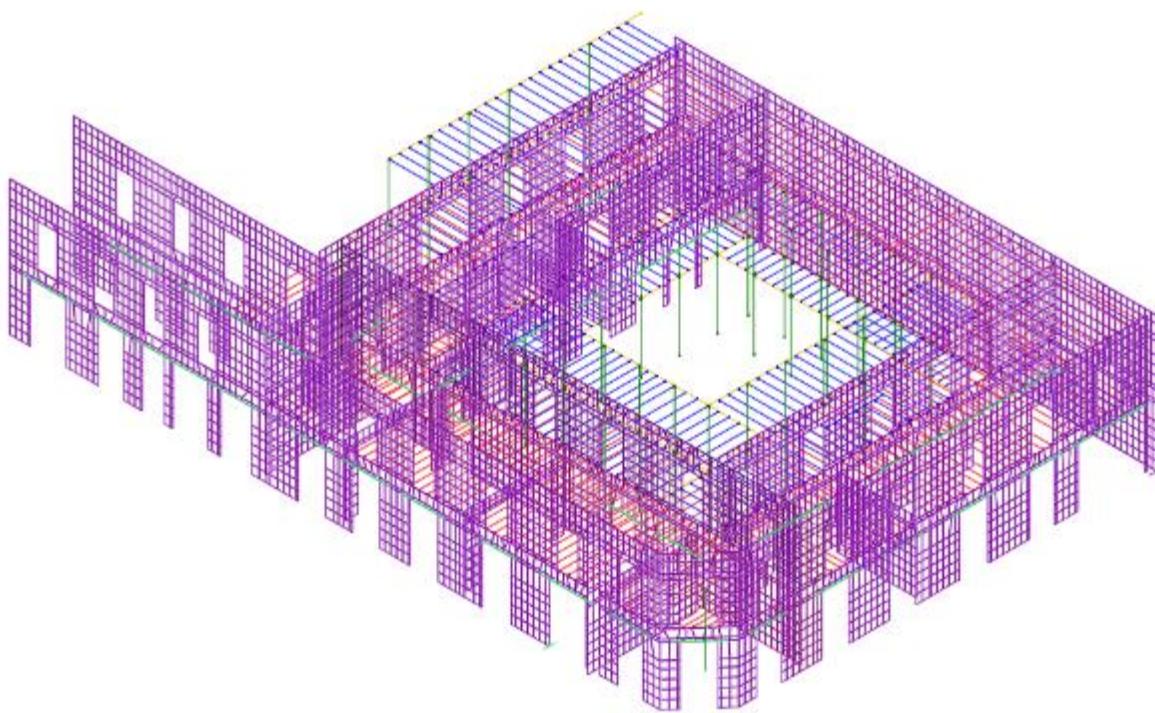


Figura 240 Mallado de la estructura de la Casa Zarama (Muros de tapia: Morado / Vigas canes: Azul / Viga rolliza: Rojo/ Viga de carga: Naranja / Pilares: Verde oscuro / Dinteles: Verde claro).

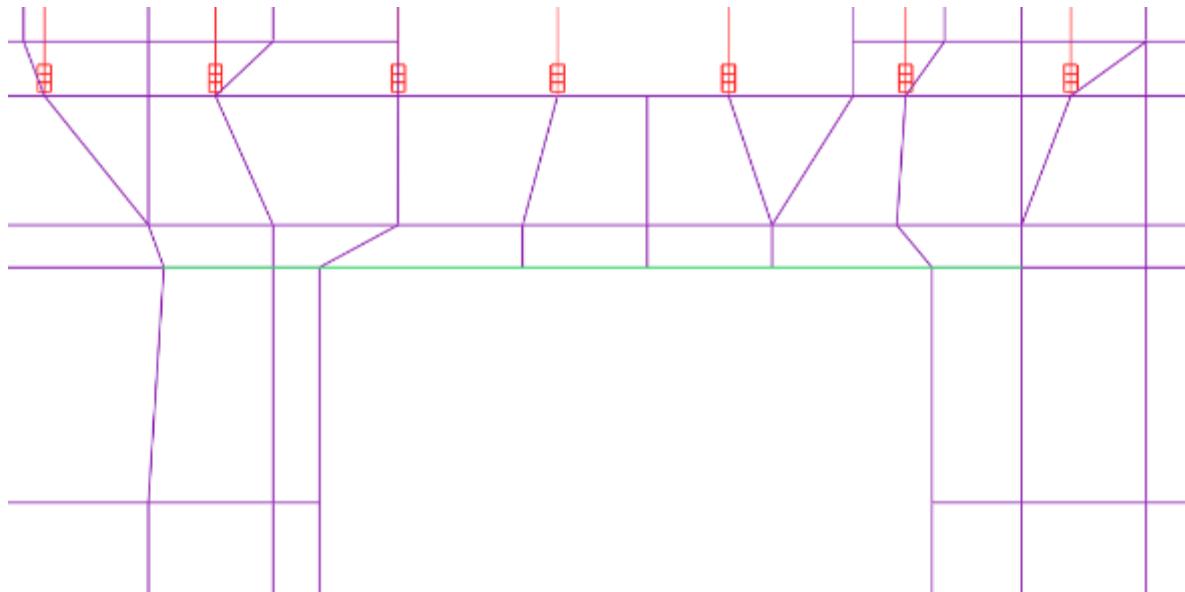


Figura 241 Convergencia de los elementos del mallado en nudos.

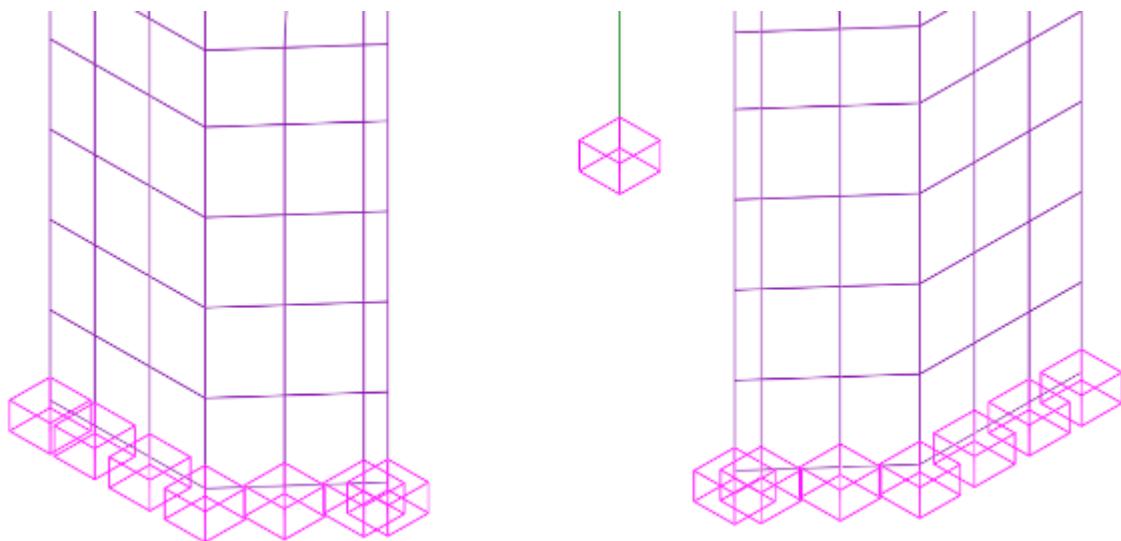


Figura 242 Asignación de apoyos empotrados, en cada nudo de los elementos estructurales a nivel del suelo ( $M \neq 0$ ).



Figura 243 Modelamiento de los muros de tapia, con sólidos en dos capas de la Casa Zarama (Primer piso, sección interna del muro: Rojo / sección externa: Naranja / Segundo piso, sección interna del muro: Verde / sección externa: Morado).

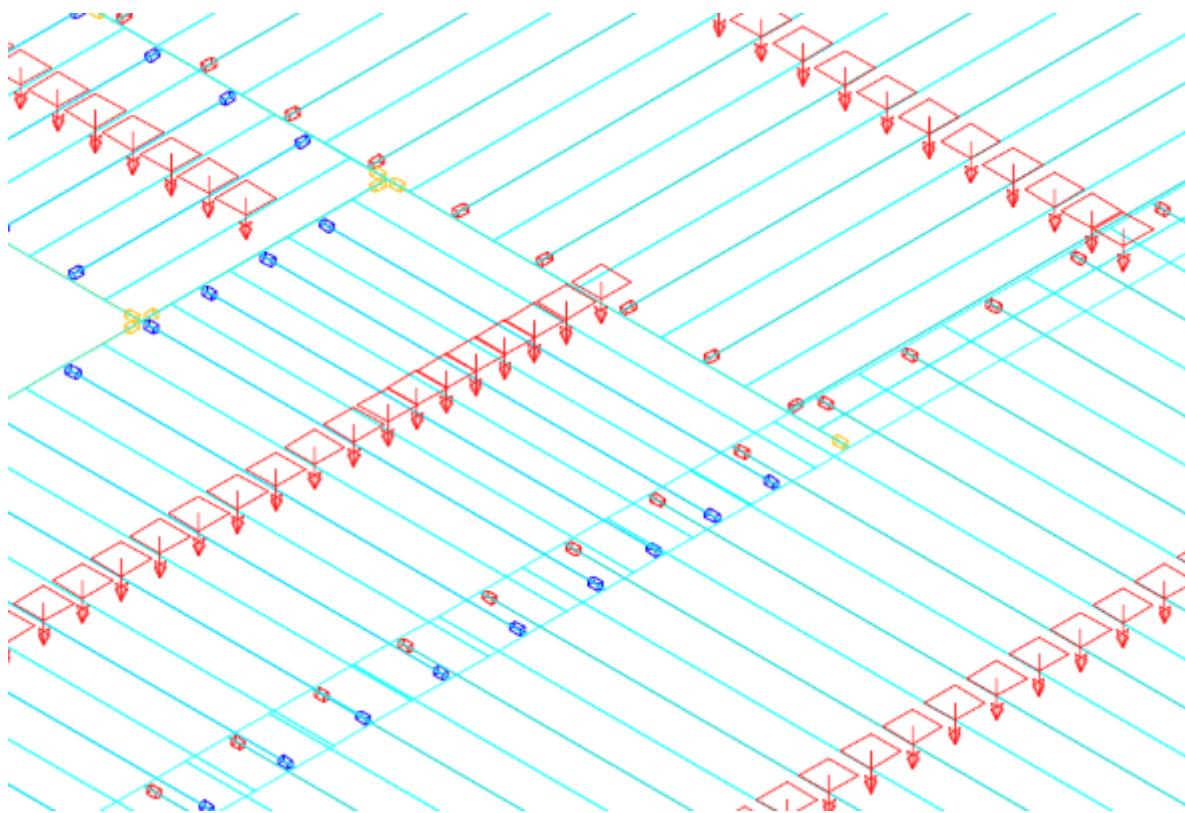


Figura 244 Asignación de cargas, en la superficie aferente en dos direcciones para la distribución de cargas a los elementos estructurales  
(Superficie ferente: Cian / Carga superficial : Rojo).

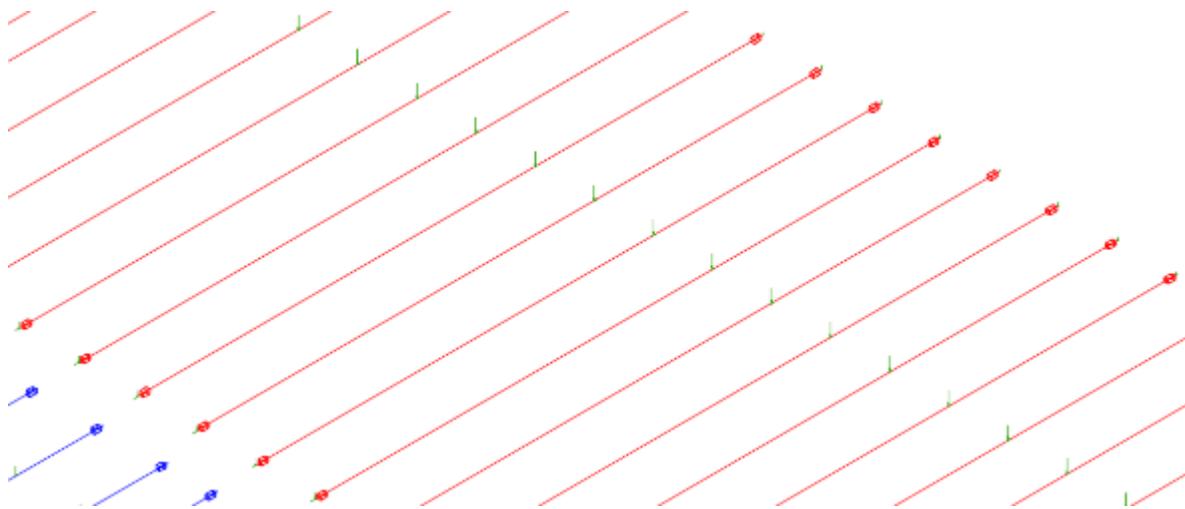


Figura 245 Asignación de esfuerzos transmitidos por la cubierta a los tirantes, vigas y canecillos (Cargas puntuales: Verdes).

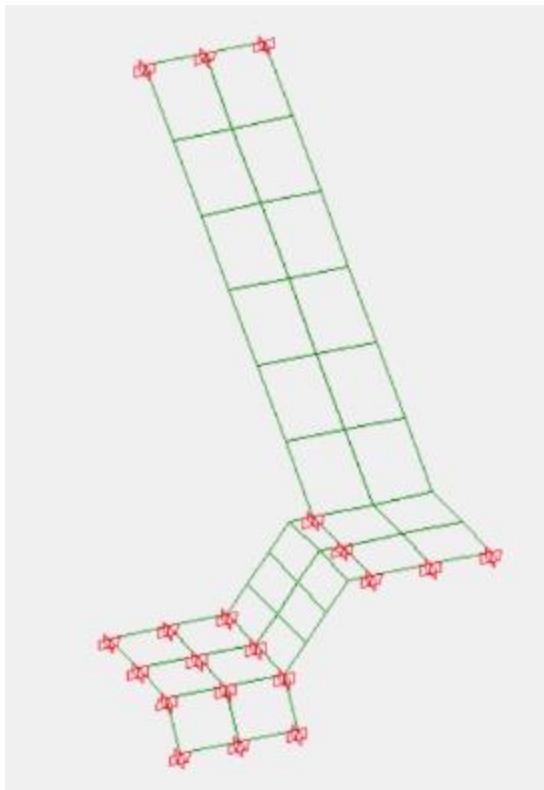


Figura 246 Modelo de escalera principal con elemento tipo láminas de la Casa Zarama en ANGLE.

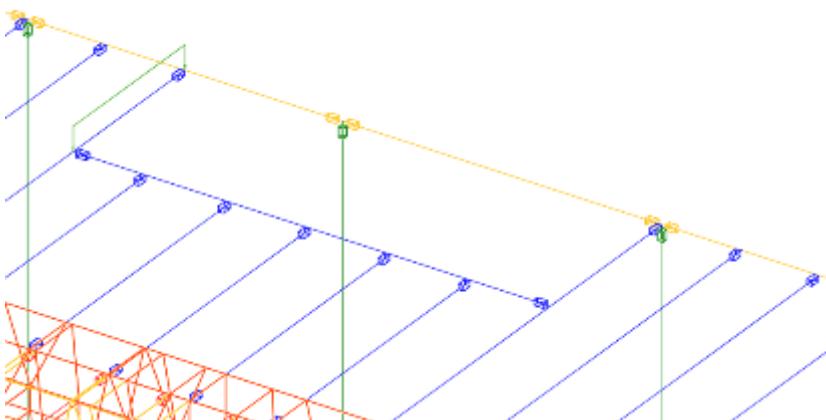


Figura 247 Carga linealmente distribuida sobre viga de apoyo de la escalera.

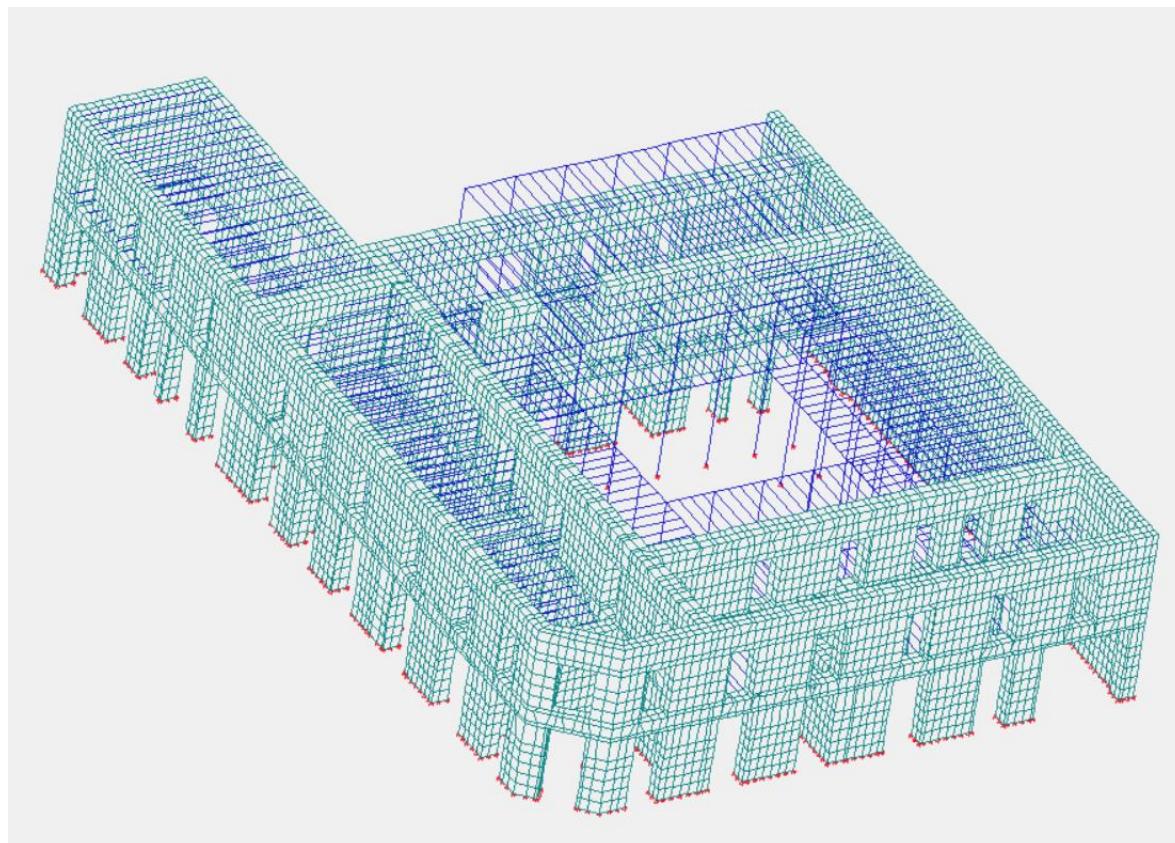


Figura 248 Modelo estructural de la Casa Zarama en ANGLE.

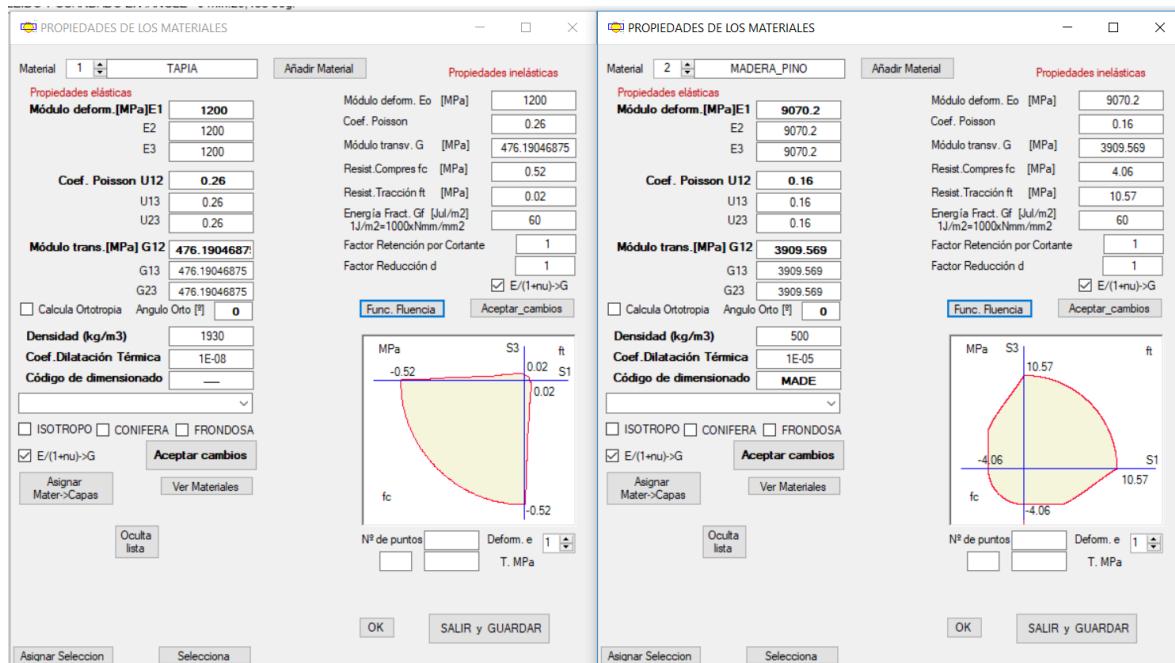


Figura 249 Definición propiedades mecánica de los materiales en ANGLE.

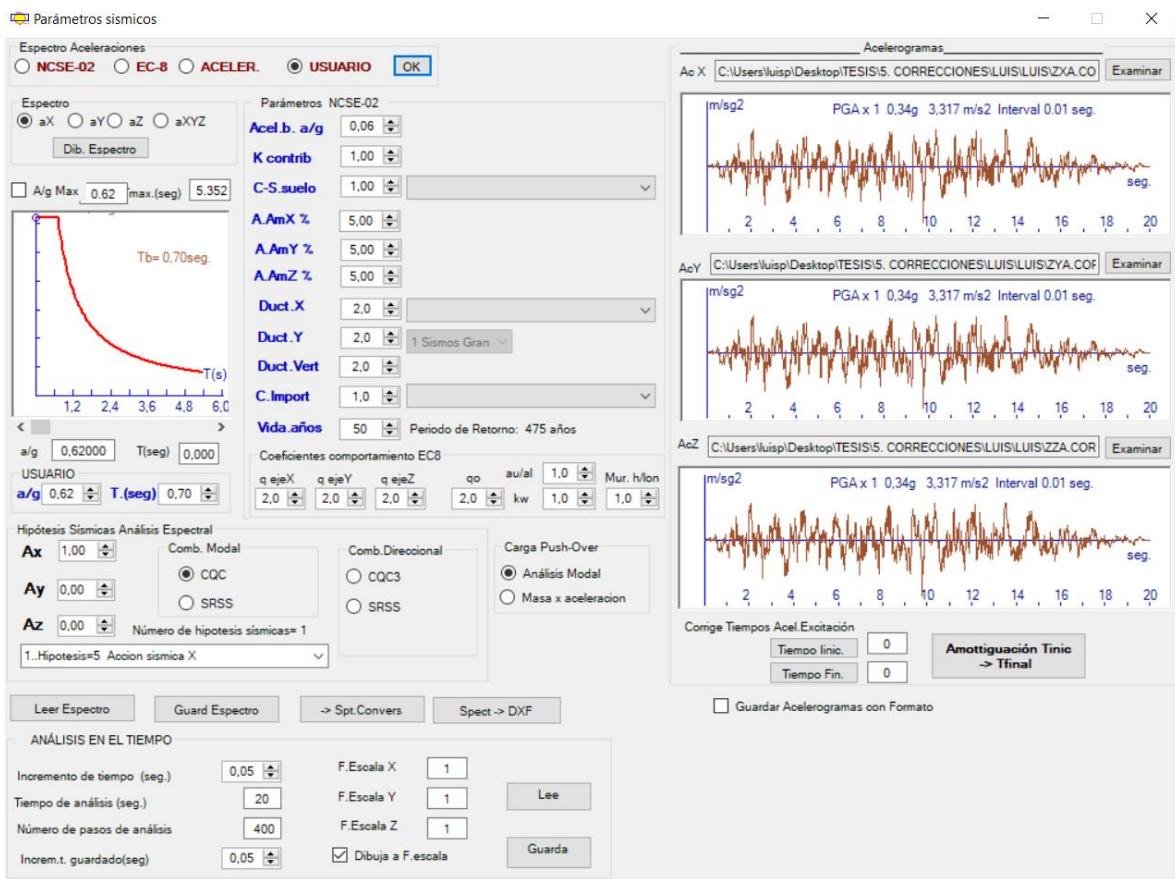


Figura 250 Definición de los parámetros sísmicos en ANGLE.

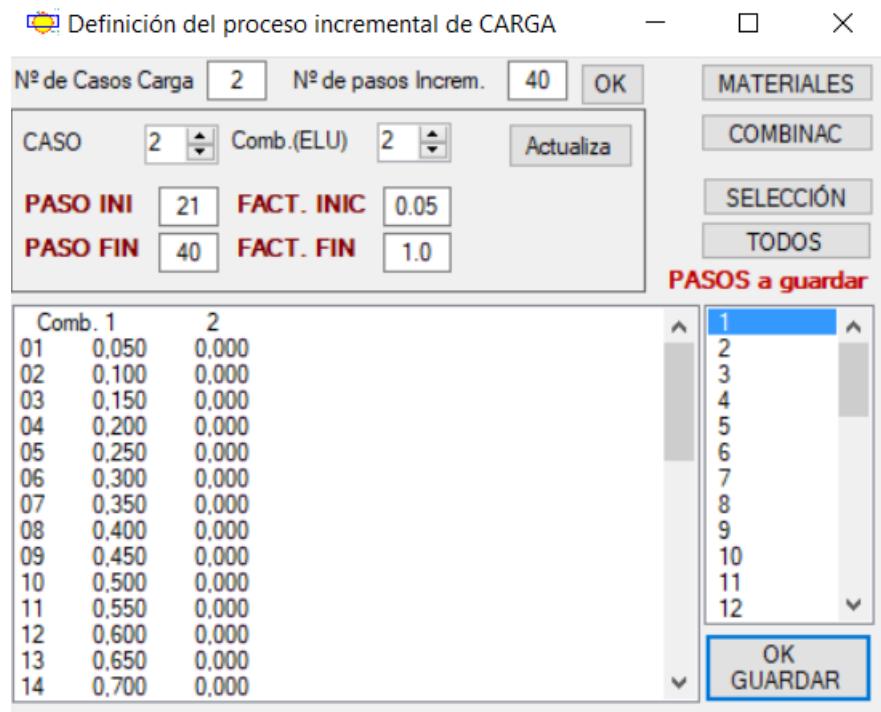


Figura 251 Definición de pasos de carga en ANGLE.

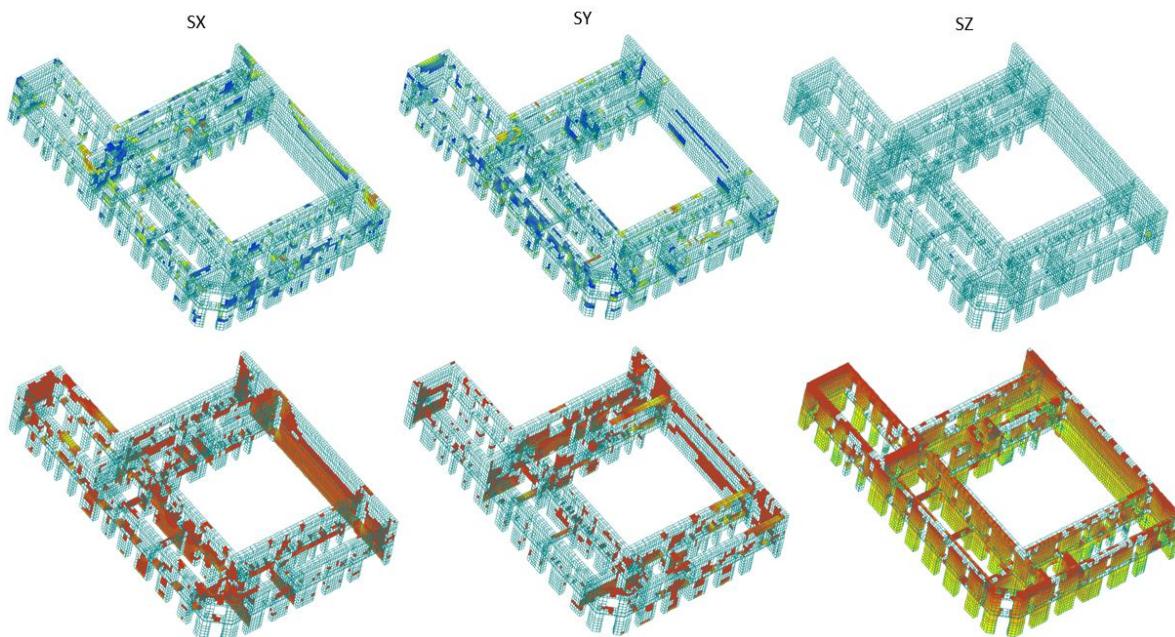


Figura 252 Esfuerzos a tensión 0-0.02 MPa (Arriba) Esfuerzos a compresión 0-0.52 MPa (Abajo), paso 20, ANGLE.

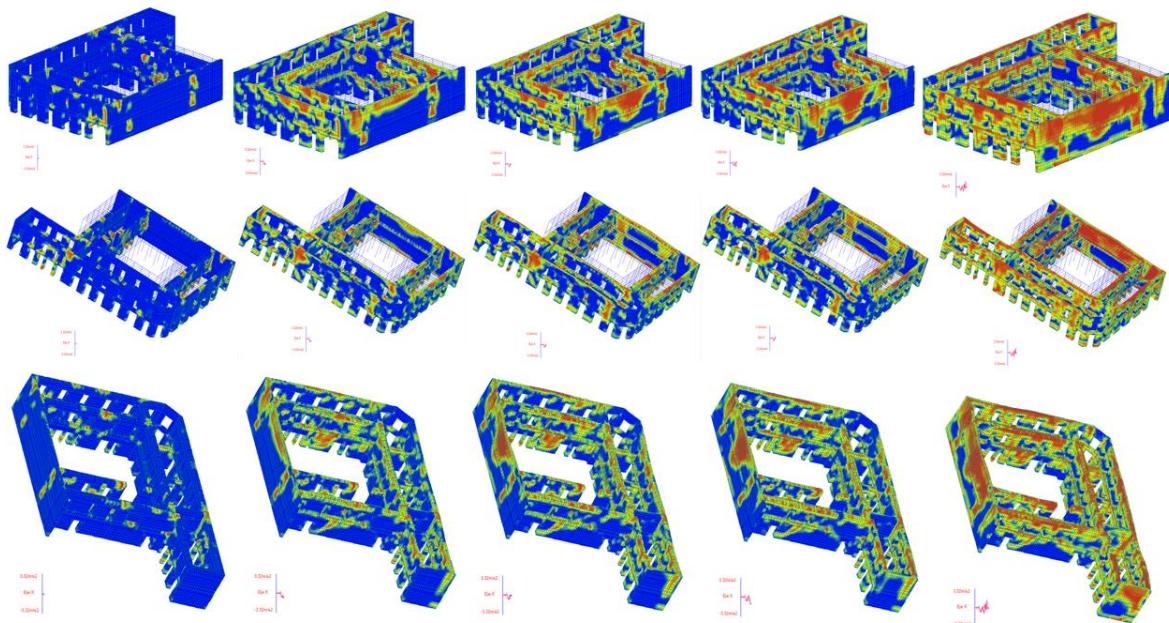


Figura 253 Daño de la estructura en función del tiempo, 0 - 0.8 - 0.9 - 1.1 - 1.5 segundo, ANGLE.

### 13.10 Tablas

País	Norma/Reglamento	ORG	REF	EST		Adobe	BTC	Tapial	Notas
Brasil	NBR 8491, 1986.	ABNT	7		X				BTC estabilizado con cemento específica, métodos de ensayo.
	NBR 8492, 1986.		8						Procedimiento fabricación BTC con prensa manual/hidráulica
	NBR 10832, 1989		9						
	NBR 10833, 1989		10						
	NBR 10834, 1994		11						
	NBR 10835, 1994		12						
	NBR 10836, 1994		13						Especificaciones y métodos de ensayo de bloques de suelo-cemento
	NBR 12023, 1992		14						
	NBR 12024, 1992		15						
	NBR 12025, 1990		16						
Colombia	NTC 5324, 2004	ICONTEC	20	X		X			Estabilizado con cemento
EEUU	NMAC 14.7.4, 2004	CID	21		X	X			Reglam. Estatal de Nuevo México.
	ASTM E2392 M-20	ASTM	22		X	X			
España	UNE 41410:2008	AENOR	23			X			Primera norma Europea
Francia	XP P13-901, 2001	AFNOR	24			X			Norma experimental
India	IS 21310 : 1988	BIS	25	X					Paredes de suelo-cemento
	IS 1725 : 1982.	BIS	26	X		X			
	IS 13827 : 1993	BIS	27		X	X			Directrices resistencia a terremotos
Italia	Ley n° 378, 2004		28						
	L.R. 2/08 2. 2006		29		X	X	X		Leyes para la conservación del patrimonio de tierra
Kenya	KS 02-1070: 1999.	KEBS	30	X		X			
Nigeria	ANS 369:1997.	SON	31	X		X			
Nueva Zelanda	NZS 4297, 1998.	SNZ	32						
	NZS 4298, 1998.		33		X	X	X		
	NZS 4299, 1999.		34						
Perú	NTP E 0.80, 2000	SENCICO	35		X				
	NTP 331.201, 1979	INDECOP	36						
	NTP 331.202, 1979.		37	X	X				
	NTP 331.203, 1979.		38						
Regional África	ARS 670, 1996	ARSO	39						
	ARS 671, 1996		40						
	ARS 672, 1996		41						
	ARS 673, 1996		42						
	ARS 674, 1996		43						
	ARS 675, 1996		44						
	ARS 676, 1996		45						
	ARS 677, 1996		46						
	ARS 678, 1996		47						
	ARS 679, 1996		48						
	ARS 680, 1996		49						
	ARS 681, 1996		50						
	ARS 682, 1996		51						
	ARS 683, 1996		52						
Sri Lanka	SLS 1382-1:2009	SLSI	53	X		X			Bloques de suelo comprimido estabilizados
	SLS 1382-2:2009		54						
	SLS 1382-3:2009		55						
Túnez	NT 21.33:1996	INNORPI	56						En francés
	NT 21.35:1996		57			X			En francés
Turquía	T5 537, 1985.	TSE	58	X					
	T5 2514, 1985.		59		X				
	T5 2515, 1985.		60						
Zimbabwe	SAZS 724, 2001.	SAZ	61			X			

Abreviaturas: ORG (Organismo); REF (Referencia, ver en bibliografía el número); EST (Estabilización, si solo contempla el uso de tierra estabilizada).

Tabla 33 Listado de normas y reglamentos. FUENTE: (Las normativas de construcción con tierra en el mundo, 2011, 162).

PAÍS	NORMA/REGLAMENTO	TECNICA	NOTAS
Australia	HB 195, 2002	Tapial	Manual construcción con tierra
Brasil	NBR 13553, 1996	Tapial	Tapia con cemento
EEUU	NMAC, 14.7.4, 2004	Tapial	Reglamento estatal de nuevo méxico
EEUU	ASTM E2392, M10	Tapial	Guía estándar de construcción
España	MOPT, 1992	Tapial	Bases diseño y construcción
India	IS 2120, 1980	Tapial	Paredes de suelo-cemento
India	IS 1827, 1993	Tapial	Resistencia a terremotos
Italia	Ley 378, 2004	Tapial	Conservación del patrimonio en tierra
Italia	L.R 2/06 2, 2006	Tapial	Conservación del patrimonio en tierra
N.Zelanda	NZS 4297, 1998	Tapial	Diseños de ingeniería para la construcción
N.Zelanda	NZS 4298, 1998	Tapial	Materiales y mano de obra
N.Zelanda	NZS 4299, 1999	Tapial	Sin diseño específico
Zimbague	SAZS 724, 2001	Tapial	Guía estándar de construcción

Tabla 34 Tabla con los países y normativas que tratan la técnica del tapial. FUENTE: (Orio Perez & Rodriguez Vidal, 2016).

Universidad	Parámetros	Clasificación	
		SC-SM	Arena Limo - Arcillosa
U.F.P.S.O. (*)	El llano	SC	Arena Limo - Arcillosa
	La piñuela	SC	Arena Arcillosa
	El ramal	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	La costas	SM-SC	Arena Limo - Arcillosa
	Muestra de Trabajo	SM-SC	Arena Limo - Arcillosa
U.F.P.S. (**)	Muestra de Trabajo	—	—
ANDES (***)	Tapia Clínica Sta. Bárbara	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	Tapia casa Fernández	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	Tapia casa Venados	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
U.I.S. (****)	Barichara	ML	Limo de Baja Plasticidad
	San Gil	ML	Limo de Baja Plasticidad
	Piedecuesta	SM	Arena Limo

Tabla 35 Clasificación de suelos utilizados para la construcción de edificaciones en tierra realizada por diferentes universidades colombianas. FUENTE: (Afanador García, Carrascal Delgado, & Bayona Chinchilla, 2013).

Parameter	Reference value	Lower value	Upper value
Young's modulus (N/mm <sup>2</sup> )*	$E_{0,ref} = 4207$	$0.5E_{0,ref} = 2104$	$2E_{0,ref} = 8414$
Poisson's ratio (-)	$\nu_{ref} = 0.27$	$\nu_{low} = 0.1$	$\nu_{upp} = 0.4$
Compressive strength**	$f_{c,ref}$	$0.8f_{c,ref}$	$1.2f_{c,ref}$
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{t,ref} = 0.37$	$0.5f_{t,ref} = 0.19$	$2f_{t,ref} = 0.74$
Tensile fracture energy (N/mm)	$G_{f,ref}^I = 0.109$	$0.2G_{f,ref}^I = 0.022$	$5G_{f,ref}^I = 0.545$
Cohesion (N/mm <sup>2</sup> )	$c_{ref} = 0.561$	$0.5c_{ref} = 0.281$	$2c_{ref} = 1.122$
Friction angle	$\tan(\phi_{ref}) = \tan(37^\circ)$	$\tan(\phi_{low}) = \tan(20^\circ)$	$\tan(\phi_{upp}) = \tan(50^\circ)$
Interface tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{t,ref}^i = 249$	$0.5f_{t,ref}^i = 125$	$2f_{t,ref}^i = 498$
Layer thickness (mm)	$t_{lay,ref} = 84$	$0.5t_{lay,ref} = 4.2$	$1.5t_{lay,ref} = 12.6$

\* the value of the Young's modulus was changed in the multilinear relationship by considering only the first point ( $0.3f_c$ ), being the rest of the curve translated.

\*\* the value of the compressive strength value was changed by applying a scale factor to the multilinear relationship, while keeping the reference value of the Young's modulus.

Tabla 36 Parámetros para la caracterización mecánica de la tapia. FUENTE: (Miccoli, Olivera, Silva, Muller, & Schueremans, 2015).

UBICACIÓN	CASA GUERRERO	CASA A. ALCALDIA	CASA CALLE 17 CRA 26
Resistencia a la compresión Ton/m <sup>2</sup>	<b>76,38</b>	41,45	39,59
% de arcillas y limos	0,03	0,01	0,026
% de materiales de contextura fina	64	<b>94,10</b>	46,13
% de materiales de contextura media	30,10	42,31	88,44
% de materiales de contextura gruesa	5,87	9,75	65,38
Contenido de humedad %	14,38	13,88	4,19
Límite líquido (% de humedad)	32,98	36,93	14,32
Límite plástico (% de humedad)	27,69	26,97	35,14
Densidad seca máxima gr/cm <sup>3</sup>	1,24	1,45	34,55
Humedad óptima %	49,81	22,8	1,47
El coeficiente de uniformidad es	1,44	9,254	21,7
El coeficiente de curvatura es	1,852	0,591	3,10
Clasificación	SP	SW	0,634

Tabla 37 Comparación de las propiedades mecánicas de la tierra en diferentes edificaciones del centro histórico de Pasto. FUENTE: (Campo Pantoja & Suarez, 2017).

AUTORES	TÉCNICA	VALORES					
		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	COMPRESIÓN DIAGONAL	MÓDULO DE RUPTURA	MÓDULO DE ELASTICIDAD O YOUNG	MÓDULO DE POISSON
		Kgf/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
DE OLARTE	Adobe	12					
	Tapial	13,4 15,8	2,41				6%
CRATERRE	Adobe	20,3(seca) y 5(húmeda)					
	Tapial	20,3(seca) y 5(húmeda)	5 - 10,19(seca)				5 y 10m
MC HENRY	Adobe	18,28(Tapial) y 30,86(Clayton)			3,51		
	Tapial	31,63(Tapial) y 59,74(Clayton)					
MINKE	ambos	5 - 50.				60 - 70	
NORTON	Adobe	15 - 20 o más					
GETTY	Adobe					< 7030,69	
N. MÉXICO USA NMAC14.7.4	Adobe	≥ 21,4			≥ 3,56		
	Tapial	> 21,4					
N. ZELANDA NZS4298	Adobe	> 13,25			> 2,54		
BULLETIN 5	Tapial	≥ 20,39					
OIA 1970	Adobe	≥ 17,33					
CYTED	Adobe	≥ 12,23					

Tabla 38 Propiedades mecánicas del adobe y tapial, según distintos autores. FUENTE: (Gaete Cruz, 2010).

material	densidad	resistencia a compresión
adobe *fuente: (4)	1.200-1.500 kg/m <sup>3</sup>	0,53-1,72 N/mm <sup>2</sup>
cob (5)	1.615 kg/m <sup>3</sup>	1 N/mm <sup>2</sup>
btc bloque de tierra comprimida (6)	1.700-2.000 kg/m <sup>3</sup>	1-5 N/mm <sup>2</sup>
btc estabilizado bioterre (7)	1.787,5 kg/m <sup>3</sup>	10,8 N/mm <sup>2</sup>
tapial (2,4,8)	1.900-2.200	3-4 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 39 Resistencia a compresión simple. FUENTE: (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2011).

material	densidad	emisiones por kg	emisiones por m <sup>3</sup>
tapial (sin estabilizar)	2.200 kg/m <sup>3</sup>	0,004 kg CO <sub>2</sub> /Kg	9,7 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
adobe	1.200 kg/m <sup>3</sup>	0,06 kg CO <sub>2</sub> /Kg	74 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
hormigón en masa in situ	2.360 kg/m <sup>3</sup>	0,14 kg CO <sub>2</sub> /Kg	320 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
hormigón prefabricado, 2% de acero	2.500 kg/m <sup>3</sup>	0,18 kg CO <sub>2</sub> /Kg	455 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
pared de ladrillo macizo	1.600 kg/m <sup>3</sup>	0,19 kg CO <sub>2</sub> /Kg	301 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
pared de ladrillo hueco	670 kg/m <sup>3</sup>	0,14 kg CO <sub>2</sub> /Kg	95 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

Tabla 40 Emisiones CO<sub>2</sub> de los distintos materiales. FUENTE: (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2011).

Origen	Riesgos	Efectos
<b>NATURAL (Geológica y geomorfológica, meteorológica y climatológica)</b>	Terremotos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deslizamientos de tierra.</li> <li>Desplomes</li> <li>Inundaciones</li> <li>Incendio</li> <li>Daños en estructuras</li> </ul>
	Subsistencia	
	Deslizamientos de tierra	
	Volcanes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños por fuerzas físicas y por flujos piroclásticos</li> <li>Lluvia de cenizas, colapso de estructuras...</li> <li>Nubes de gases tóxicos, nubes ardientes...</li> <li>Afectación al edificio y posible colapso de los equipos técnicos</li> <li>Daños movimientos y deformaciones del terreno y coladas de lava</li> <li>Incendios</li> </ul>
	Maremotos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños en la estructura e instalaciones del edificio</li> </ul>
	Huracanes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundaciones de agua y lodo y otros elementos</li> <li>Biodeterioro en colecciones</li> <li>Dificultad de circulación. Colapso de equipos informáticos</li> <li>Daños y destrucción de elementos como puentes, bienes arqueológicos y culturales...</li> </ul>
	Inundaciones	
	Tornados	
	Nieve/hielo/lluvia	
	Incendios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños en la estructura del edificio</li> <li>Pérdida total o parcial de bienes culturales</li> <li>Destrucción total o parcial de documentos</li> <li>Dificultad de circulación</li> <li>Destrucción de equipos informáticos</li> <li>Afección a paisajes culturales</li> </ul>
<b>ANTRÓPICO: accidental y provocado</b>	Negligencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cortocircuitos</li> <li>Sobrecarga en la red</li> <li>Incendios</li> <li>Desplome de sistemas de almacenaje</li> <li>Filtraciones</li> <li>Pequeñas inundaciones</li> <li>Daños en colecciones</li> <li>Crecimiento de vegetación</li> </ul>
	Errores técnicos	
	Falta de mantenimiento	
	Averías	
	Bélicos	
	Sabotajes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Destrucción intencional del bien cultural o de los equipos</li> <li>Daños en la estructura del edificio</li> <li>Daños selectivos en colecciones</li> <li>Daños indiscriminados en las colecciones</li> <li>Robo de bienes</li> </ul>
	Vandalismo	
	Terrorismo	
	Psicopáaticos	

Tabla 41 Riesgos de origen natural y antrópico. FUENTES: (Carrión Gutiérrez, 2015).

Tipo de daño	Descripción del EERI	Comentarios sobre cómo estos daños afectan los edificios históricos de adobe
A. Ninguno	Ausencia de daño, pero podría cambiar. Sólo riesgo incidental.	No hay daño ni evidencia de nuevas fisuras.
B. Ligero	Daños menores en elementos no estructurales. Podría tener que cerrarse el edificio temporalmente, pero probablemente podría abrirse en menos de una semana tras su limpieza <sup>a</sup> . Sólo riesgo incidental.	Las fisuras preexistentes se han abierto ligeramente. Podrían haber comenzado a desarrollarse nuevas micro-grietas en las esquinas de las puertas y ventanas o en la intersección de muros perpendiculares.
C. Moderado	Daño fundamentalmente no estructural, pero podría haber daños estructurales menores, no graves. El edificio probablemente se cerraría entre 2 a 12 semanas <sup>a</sup> .	Daño de fisuras en toda la edificación. Grietas en los lugares esperados (aberturas, intersecciones de muros, desplazamientos entre marcos y muros). Los desalineamientos en las grietas son pequeños. Ninguna de las secciones de muro es inestable.
D. Extenso	Abundantes daños estructurales y no estructurales. Será de esperarse un cierre de largo plazo, debido a la cantidad de trabajo o a la búsqueda de financiamiento para reparar la estructura. Podrían ser comunes la presencia de sectores bien definidos donde se ponga en riesgo la vida de los ocupantes.	Abundante daño por la presencia de fisuras en todo el edificio. Los desalineamientos en las grietas son grandes en muchos sitios. Los segmentos entre grietas de los muros son inestables. El apoyo vertical para los pórticos de entresuelo y techo es débil.
E. Completo	Colapso total o daño cuya reparación no es económicamente viable. Se presentan riesgos de vida de los ocupantes en cada construcción que caiga dentro de esta categoría.	Daños muy generalizados. Colapso total o parcial de gran parte de la estructura. Debido a la pérdida de varios muros por colapso, la reparación del edificio requiere la reconstrucción de muchos de los mismos.

<sup>a</sup> La duración del cierre es difícil de definir, pues depende fundamentalmente del tamaño de la edificación y del proceso que se emplee para efectuar las reparaciones. La reparación de monumentos históricos deberá llevarse a cabo de forma mucho más planificada que la manera típica en que se reparan los edificios modernos.

Tabla 42 Niveles de daño. FUENTE: (Leroy Tolles, E. Kimbro, & S. Ginell, 2002).

Wall reinforcement scheme	Type of building		Construction complexity			Cost			Seismic safety		
	New	Existing	Simple	Moderate	Complex	Low	Moderate	High	Low	Moderate	High
Internal cane reinforcement	X			X		X					X
External cane and rope mesh	X	X	X			X					X
External bamboo and internal wire mesh	X	X	X			X					X
Welded wire Mesh	X	X	X				X			X	
Polymer Mesh	X	X	X				X				X
Used car tire straps	X	X		X		X			X		
Polypropylene band	X	X		X		X					X
Integral masonry system	X				X			X			X

Tabla 43 Comparación entre diferentes sistemas de refuerzo sismorresistente en estructuras de tierra. FUENTE: (Blondet, Villa García, Brzev, & Rubinos, 2004).

**Tabla A.2.4-1**  
**Clasificación de los perfiles de suelo**

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_S \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_S \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_S \geq 360 \text{ m/s}$ $\bar{N} \geq 50, \text{o}$ $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_S \geq 180 \text{ m/s}$ $50 > \bar{N} \geq 15, \text{o}$ $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o perfil que contiene un espesor total $H$ mayor de 3 m de arcillas blandas	$180 \text{ m/s} > \bar{V}_S$ $IP > 20$ $W \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: <b>F<sub>1</sub></b> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. <b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( $H > 3 \text{ m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). <b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad ( $H > 7.5 \text{ m}$ con Índice de Plasticidad $IP > 75$ ) <b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( $H > 36 \text{ m}$ )	

Tabla 44 Clasificación de los perfiles de suelo. FUENTE: Tabla A.2.4-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

<b>PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO</b>	<b>909</b>
Arquitectura Militar	49
Arquitectura Habitacional	125
Arquitectura Religiosa	142
Arquitectura Institucional	118
Arquitectura para el Comercio	16
Arquitectura para la Industria	5
Arquitectura para el Transporte	433
Obras de Ingeniería	18
Conjuntos Arquitectónicos	3
<hr/>	
<b>PATRIMONIO URBANO</b>	<b>51</b>
Sectores Urbanos	42
Espacios Públicos	9
<hr/>	
<b>PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO</b>	<b>8</b>
Parques Arqueológicos	8
<hr/>	
<b>PATRIMONIO NATURAL</b>	<b>2</b>
Parques Naturales	2
<hr/>	
<b>PATRIMONIO MIXTO</b>	<b>2</b>
Paisajes Culturales	2

Tabla 45 Inventario de Patrimonio arquitectónico (Acero Matallana, 2012), Ministerio de cultura.

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla 46 Valores del coeficiente de importancia (I), según el uso de la edificación. FUENTE: Tabla A.2.5-1 1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

**Tabla A.3-1**  
**Sistema estructural de muros de carga (Nota 1)**

A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta	intermedia	Baja	uso permit	altura máx.	uso permit
1. Paneles de cortante de madera	muros ligeros de madera laminada	3.0	2.5	si	6 m	si	9 m	si	12 m
<b>2. Muros estructurales</b>									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	4.0	2.5	no se permite		si	50 m	si	sin límite
c. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	el mismo	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	50 m
d. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	el mismo	3.5	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	el mismo	2.5	2.5	si	30 m	si	50 m	si	sin límite
f. Muros de mampostería parcialmente reforzada de bloque de perforación vertical	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	si	12 m	si	18 m
g. Muros de mampostería confinada	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
h. Muros de mampostería de cavidad reforzada	el mismo	4.0	2.5	si	45 m	si	60 m	si	sin límite
i. Muros de mampostería no reforzada (no tiene capacidad de disipación de energía)	el mismo	1.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I (Nota 3)	2 pisos
<b>3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)</b>									
a. Pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	24 m	si	30 m	si	sin límite
b. Pórticos con diagonales de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
c. Pórticos de madera con diagonales	el mismo	2.0	2.5	si	12 m	si	15 m	si	18 m

Notas:

- El sistema de muros de carga es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo, en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.
- Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $\phi_a \cdot \phi_p$  y  $\phi_r$  para obtener  $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$  (Véase A.3.3.3).
- La mampostería no reforzada sólo se permite en las regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde  $A_a$  sea menor o igual a 0.05 cuando se trata de edificaciones del grupo de uso I, de uno y dos pisos.
- El valor de  $\Omega_0$  puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.

Tabla 47 Valores del coeficiente  $R$  de disipación de energía. FUENTE: Tabla A.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

Mayor valor entre $A_a$ y $A_v$	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Tabla 48 Nivel de amenaza sísmica según valores  $A_a$  y  $A_v$ . FUENTE: Tabla A.2.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

**Tabla A.2.3-2**  
**Valor de  $A_a$  y de  $A_v$  para las ciudades capitales de departamento**

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Tabla 49 Valores  $A_a$  y  $A_v$  para las ciudades capitales de departamento. FUENTE: Tabla A.2.3-2 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

Región N°	$A_e$
7	0.25 – 0.28
6	0.21 – 0.24
5	0.17 – 0.20
4	0.13 – 0.16
3	0.09 – 0.12
2	0.05 – 0.08
1	0.00 – 0.04

Nota: Las regiones representan rangos de valores. Debe consultarse el Apéndice A-4 para determinar el valor de  $A_e$  en cada municipio.

Tabla 50 Valores  $A_e$  según regiones de la figura A.10-3-1. FUENTE: Tabla A.10.3-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

Ciudad	$A_e$	Ciudad	$A_e$
Arauca	0.10	Neiva	0.20
Armenia	0.15	Pasto	0.15
Barranquilla	0.05	Pereira	0.20
Bogotá	0.13	Popayán	0.15
Bucaramanga	0.15	Puerto Carreño	0.04
Cali	0.15	Puerto Inírida	0.04
Cartagena	0.05	Quibdó	0.25
Cúcuta	0.25	Riohacha	0.07
Florencia	0.10	San Andrés, Isla	0.05
Ibagué	0.15	San José del Guaviare	0.04
Leticia	0.04	Santa Marta	0.10
Manizales	0.20	Sincelejo	0.07
Medellín	0.13	Tunja	0.15
Mitú	0.04	Valledupar	0.05
Mocoa	0.20	Villavicencio	0.20
Montería	0.07	Yopal	0.15

Tabla 51 Valores  $A_e$  para las ciudades capitales. FUENTE: Tabla A.10.3-2 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

**Tabla A.2.4-3**  
**Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro**

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
<b>D</b>	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
<b>E</b>	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
<b>F</b>	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Tabla 52 Valores  $F_a$ . FUENTE: Tabla A.2.4-3 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

**Tabla A.2.4-4**  
**Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de períodos intermedios del espectro**

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>D</b>	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
<b>E</b>	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
<b>F</b>	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Tabla 53 Valores  $F_v$ . FUENTE: Tabla A.2.4-4 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
$\phi_c$ o $\phi_e$	1.0	0.8	0.6

Tabla 54 Valores de  $\phi_c$  y  $\phi_e$ , según estado y calidad de la construcción existente. FUENTE: Tabla A.10.4-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

1	Museo Taminango	Decreto 2000 del 15 de octubre de 1971
2	Edificio de la Gobernación de Nariño	Resolución 0798 del 31 de julio de 1998, del Ministerio de Cultura
3	Conjunto La Milagrosa	Decreto 1631 del 12 de agosto de 1988
4	Teatro Imperial	Resolución del 31 de julio de 1998, del Ministerio de Cultura
5	Catedral de San Juan de Pasto	Resolución 1793 del 15 de diciembre de 2000, del Ministerio de Cultura
1	Templo de San Andrés	Decreto 531 de 2005
2	Convento y capilla de las Madres Conceptas	
3	Templo de San Juan Bautista	
4	Colegio Javeriano	
5	Templo Cristo Rey	
6	Templo San Agustín	
7	Convento de los Padres Capuchinos	
8	Universidad de Nariño	
9	Templo de la Merced	
10	Templo de San Sebastián ("La Panadería")	
11	Oratorio San Felipe Neri	
12	Templo de Santiago	

Tabla 55 Nivel 1. Conservacion integral, Pasto (República de Colombia - Ministerio de Cultura, 2012).

Tipo de Edificaciones	Factor de Uso (U)	Densidad
NT A.030 Hospedaje NT A.040 Educación NT A.050 Salud NT A.090 Servicios comunales NT A.100 Recreación y deportes NT A.110 Transporte y Comunicaciones	1,4	15%
NT A.060 Industria NT A.070 Comercio NT A.080 Oficinas	1,2	12%
Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta	1,0	8%

Tabla 56 Factor de uso y densidad según tipo de edificaciones. FUENTE: Tabla N°2 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento del Perú, 2017).

Ocupación o uso	Carga uniforme ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta	Carga uniforme ( $\text{kgf}/\text{m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta
Reunión	Balcones	5.0
	Corredores y escaleras	5.0
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0
	Gimnasios	5.0
	Vestíbulos	5.0
	Silletería móvil	5.0
	Áreas recreativas	5.0
	Plataformas	5.0
	Escenarios	7.5
Oficinas	Corredores y escaleras	3.0
	Oficinas	2.0
	Restaurantes	5.0
Educativos	Salones de clase	2.0
	Corredores y escaleras	5.0
	Bibliotecas	
	Salones de lectura	2.0
Fábricas	Estanterías	7.0
	Industrias livianas	5.0
	Industrias pesadas	10.0
Institucional	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0
	Cuartos privados	2.0
	Corredores y escaleras	5.0
Comercio	Minorista	5.0
	Mayorista	6.0
Residencial	Balcones	5.0
	Cuartos privados y sus corredores	1.8
	Escaleras	3.0
Almacenamiento	Liviano	6.0
	Pesado	12.0
Garajes	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0
Coliseos y Estadios	Graderías	5.0
	Escaleras	5.0

Tabla 57 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas. FUENTE: Tabla B.4.2.1-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

Tipo de cubierta	Carga uniforme ( $\text{kN/m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta	Carga uniforme ( $\text{kgf/m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de $15^\circ$ de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de $15^\circ$ o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Nota-1 — La carga viva de la cubierta no debe ser menor que el máximo valor de las cargas vivas usadas en el resto de la edificación, y cuando esta tenga uso mixto, tal carga debe ser la mayor de las cargas vivas correspondientes a los diferentes usos.

Tabla 58 Cargas vivas mínimas en cubiertas. FUENTE: Tabla B.4.2.1-2 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

Componente	Carga ( $\text{kN/m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta	Carga ( $\text{kgf/m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta
<b>Cielo raso</b>		
Canales suspendidas de acero	0.10	10
Ductos mecánicos	0.20	20
Entramado metálico suspendido afinado en cemento.	0.70	70
Entramado metálico suspendido afinado en yeso.	0.50	50
Fibras acústicas	0.10	10
Pañete en yeso o concreto	0.25	25
Pañete en entramado de madera	0.80	80
Tableros de yeso	0.0080 (por mm de espesor)	8 (por cm de espesor)
Sistema de suspensión de madera.	0.15	15

Tabla 59 Carga muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales - Cielo raso. FUENTE: Tabla B.3.4.1-1 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

Componente	Carga ( $\text{kN/m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta	Carga ( $\text{kgf/m}^2$ ) $\text{m}^2$ de área en planta
<b>Pisos y acabados</b>		
Acabado de piso en concreto	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Afinado (25 mm) sobre concreto de agregado pétreo	1.50	150
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero.	0.80	80
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 25 mm de mortero.	1.10	110
Baldosa sobre 25 mm de mortero	1.10	110
Bloque de asfalto (50 mm), sobre 12 mm de mortero	1.50	150
Bloque de madera (75 mm) sin relleno	0.50	50
Bloque de madera (75 mm) sobre 12 mm de mortero	0.80	80
Durmientes de madera, 20 mm	0.15	15
Madera densa, 25 mm	0.20	20
Mármol y mortero sobre concreto de agregado pétreo	1.60	160
Piso asfáltico o linóleo, 6 mm	0.05	5
Pizarra	0.030 (por mm de espesor)	30 (por cm de espesor)
Terrazzo (25 mm), concreto 50 mm	1.50	150
Terrazzo (40 mm) directamente sobre la losa	0.90	90
Terrazzo (25 mm) sobre afinado en concreto	1.50	150

Tabla 60 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales - pisos. FUENTE: Tabla B.3.4.1-3 (Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, 2010).

## Historia sísmica del municipio SAN JUAN DE PASO

No.	Fecha del sismo	Hora local	Latitud	Longitud	Autor epicentro	Área epicentral	Magnitud
1	1827/11/16	18:00	1.8	-75.52	SGC-UN	Altamira, Huila	7.1
2	1834/01/20	07:00	1.1	-76.93	SGC-UN	Santiago, Putumayo	6.7
3	1906/01/31	10:36	0.99	-79.35	ISC-GEM	Costa Pacífica, Pacífico	8.4
4	1923/12/14	05:31	0.87	-77.78	SGC-UN	Cumbal, Nariño	6.2
5	1925/06/07	18:41	4.02	-76.07	Engdahl, E., Villaseñor, A	Tuluá, Valle	6.8
6	1935/08/07	04:00	1.05	-77.3	SGC-UN	Tangua, Nariño	6.1
7	1935/10/26	20:15	1.07	-77.51	SGC-UN	Imués, Nariño	5.9
8	1936/01/09	23:30	1.1	-77.6	SGC-UN	Túquerres, Nariño	5.6
9	1936/07/17	12:30	1.17	-77.7	SGC-UN	Túquerres, Nariño	6.3
10	1938/02/04	21:23	4.68	-75.69	International Seismological Centre	Eje Cafetero, Colombia	7
11	1947/07/14	02:00	1.3	-77.23	SGC-UN	Pasto, Nariño	6
12	1953/12/22	23:45	1.09	-77.59	SGC-UN	Guaitilla, Nariño	5.8
13	1957/05/23	21:37	3.7	-76.75	ISC-GEM	Suroccidente Valle Del Cauca, Valle	6.1
14	1958/01/19	09:07	1.01	-79.49	ISC-GEM	Esmeraldas, Ecuador	7.6
15	1961/12/20	08:25	4.49	-75.5	International Seismological Centre	Eje Cafetero, Colombia	6.8
16	1962/07/30	15:18	5.17	-76.35	ISC-GEM	Eje Cafetero, Colombia	6.5
17	1967/02/09	10:24	2.93	-74.83	International Seismological Centre	Colombia, Huila	7
18	1967/07/29	05:24	6.747	-73.03	ISC-GEM	Betulia, Santander	6.8
19	1973/08/30	13:25	7.14	-72.76	ISC-GEM	Convención, Norte De Santander	6.3
20	1979/11/23	18:40	4.79	-76.19	Engdahl, E.R	Eje Cafetero, Colombia	7.2
21	1979/12/12	02:59	1.6	-79.36	Engdahl, E.R	Costa Pacífica, Pacífico	8.1
22	1994/06/06	15:47	2.85	-76.07	Red Sismológica Nacional de Colombia	Páez (Belalcázar), Cauca	6.8
23	1995/03/04	18:23	1.253	-77.257	Red Sismológica Nacional de Colombia	Pasto, Nariño	5
24	2004/11/15	04:06	4.81	-77.79	Red Sismológica Nacional de Colombia	Bajo Baudó, Chocó	7.2
25	2013/02/09	09:16	1.11	-77.56	Red Sismológica Nacional de Colombia	Guaitilla, Nariño	7
26	2014/10/20	14:33	0.76	-77.95	Red Sismológica Nacional de Colombia	Chiles, Nariño	5.8

Tabla 61 Sismos históricos en San Juan de Pasto. FUENTE: (Servicio Geológico Colombiano, 2009).