

**Trabajo Profesional Integrado**

**Identificación de Lesiones Patológicas de la Construcción, del Mecanismo de Falla Estructural y Recomendaciones de Reforzamiento de la Casa de la Cultura la Palma-Cundinamarca**

Luis F. Correa, Eliana A. González, Ana M. Horta y Maria C. Niño

Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Santo Tomas

Especialización en Patología de la Construcción

Arq. Walter M. Barreto

18 de junio del 2020

## Tabla de Contenido

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Tabla de Contenido .....                      | 2  |
| Lista de Figuras .....                        | 5  |
| Lista de Tablas .....                         | 7  |
| Lista de Anexos.....                          | 8  |
| Resumen.....                                  | 9  |
| Presentación de Estudio .....                 | 1  |
| Introducción .....                            | 1  |
| Justificación.....                            | 3  |
| Objetivos .....                               | 5  |
| Objetivo General .....                        | 5  |
| Objetivos Específicos.....                    | 5  |
| Marco Referencial.....                        | 5  |
| Marco Conceptual .....                        | 5  |
| Marco Teórico .....                           | 8  |
| Marco Legal .....                             | 10 |
| Alcance y Limitaciones del Proyecto.....      | 10 |
| Metodología .....                             | 11 |
| Descripción de la Selección del Paciente..... | 11 |
| Normativa Actual que lo Rige.....             | 11 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Importancia del Paciente .....                                     | 12 |
| Preparación y Planteamiento del Estudio .....                      | 12 |
| Inspección Preliminar del Paciente .....                           | 14 |
| Permisos y Autorizaciones para Abordar Estudio al Paciente .....   | 14 |
| Definición del Equipo de Trabajo que Realizara la Exploración..... | 14 |
| Definición de los Medios Para Realizar el Estudio.....             | 15 |
| Historia Clínica .....                                             | 15 |
| Fecha de Realización del Estudio .....                             | 15 |
| Aplicación Patológica .....                                        | 15 |
| Ficha Técnica de la Construcción Civil Actual.....                 | 17 |
| Datos Específicos de las Lesiones.....                             | 18 |
| Clasificación y Origen de las Lesiones .....                       | 18 |
| Localización y Levantamiento de Lesiones .....                     | 19 |
| Ensayos Realizados.....                                            | 19 |
| Ensayos Destructivos .....                                         | 19 |
| Estudio de Suelos .....                                            | 20 |
| Líneas de Refracción Sísmica .....                                 | 20 |
| Exploración Geotécnica del Suelo .....                             | 24 |
| Apiques de Cimentación .....                                       | 25 |
| Regatas .....                                                      | 26 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Estado Actual de Vulnerabilidad Sísmica de la Estructura..... | 27 |
| Diagnóstico .....                                             | 28 |
| Concreto y Metal.....                                         | 28 |
| Mampostería y Tejas .....                                     | 28 |
| Madera.....                                                   | 29 |
| Análisis del Mecanismo de Falla de la Estructura .....        | 29 |
| Análisis de Sucesos .....                                     | 29 |
| Mecanismo de Falla .....                                      | 32 |
| Caso Ideal.....                                               | 35 |
| Caso Crítico.....                                             | 36 |
| Propuesta de Intervención .....                               | 38 |
| Presupuesto .....                                             | 39 |
| Análisis de Costos .....                                      | 41 |
| Programación .....                                            | 42 |
| Conclusiones .....                                            | 43 |
| Recomendaciones.....                                          | 46 |
| Bibliografía .....                                            | 47 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Ficha Técnica Datos Del Paciente. Fuente: Elaboración Propia. ....                                           | 17 |
| Figura 2 Modelo 2d – Capa de Velocidades. Fuente: Elaboración con Software SeismicAq de<br>subsuelo 3d. ....          | 20 |
| Figura 3 Modelo 2d – Capa de Velocidades. Fuente: Elaboración con Software SeismicAq de<br>subsuelo 3d. ....          | 20 |
| Figura 4 Clasificación de los Perfiles de Suelo. Fuente: (NSR-10, 2010).....                                          | 22 |
| Figura 5 Registro Toma de Línea de Refracción Sísmica. Fuente: Elaboración Propia.....                                | 23 |
| Figura 6 Perforación Geotécnica de Tipo Manual. Fuente: Elaboración Propia. ....                                      | 24 |
| Figura 7 Apique de Exploración. Cimentación Actual Existente. Fuente: Tibocor Ltda. ....                              | 25 |
| Figura 8 Regatas de Exploración. Fuente: Elaboración Propia. ....                                                     | 26 |
| Figura 9 Sistema de Armadura de Cubierta. Fuente: (Corradine, 2008) .....                                             | 31 |
| Figura 10 Sección Transversal Cubierta Existente-Dimensiones. Fuente: Elaboración Propia<br>AutoCAD.....              | 32 |
| Figura 11 Sección Transversal Cubierta Existente-Piezas. Fuente: Elaboración Propia AutoCAD.<br>.....                 | 32 |
| Figura 12 Cubierta Original. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of<br>the Structure.....        | 33 |
| Figura 13 Dimensiones Principales. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro<br>Design of the Structure. .... | 33 |
| Figura 14 Numeración de Nudos. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design<br>of the Structure. ....     | 34 |

Figura 15 Numeración de Elementos. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro

Design of the Structure. .... 34

Figura 16 Cargas Sobreimpuestas. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design

of the Structure. .... 34

Figura 17 Cargas Vivas. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of

the Structure..... 35

Figura 18 Deformaciones Verticales por Carga Muerta – Escala 10 mm/m. Fuente: Elaboración

propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure..... 35

Figura 19 Esquema Cercha Ideal. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design

of the Structure. .... 36

Figura 20 Deformaciones Verticales por Carga Muerta - Escala 20 mm/m. Fuente: Elaboración

propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure..... 37

Figura 21 Esquema Cercha Caso Critico. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro

Design of the Structure. .... 37

Figura 22 Sección Transversal Cubierta Existente-Piezas. Fuente: Elaboración Propia AutoCAD.

..... 38

### **Lista de Tablas**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Tipología de las Lesiones y Agentes Causantes .....              | 9  |
| Tabla 2 Caso Ideal Mecanismo de Falla .....                              | 35 |
| Tabla 3 Caso Critico - Mecanismo de Falla.....                           | 36 |
| Tabla 4 Cargas de Cubierta.....                                          | 39 |
| Tabla 5 Costo Arquitecto con Experiencia en Inmuebles Patrimoniales..... | 39 |
| Tabla 6 Costos Profesionales .....                                       | 40 |
| Tabla 7 Presupuesto General .....                                        | 41 |

### Lista de Anexos

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo A Carta de Autorización estudio patológica a Casa de la Cultura La Palma como parte de<br>requisito educativo..... | 14 |
| Anexo B Ficha Levantamiento Patológico Concreto y Metal, .....                                                           | 18 |
| Anexo C Ficha Levantamiento Patológico Mampostería Adobe .....                                                           | 18 |
| Anexo D Ficha Levantamiento Patológico Madera.....                                                                       | 18 |
| Anexo E Plano Localización de Lesiones.....                                                                              | 19 |
| Anexo F Registro Fotográfico de Ensayos Destructivos .....                                                               | 19 |
| Anexo G Análisis Conceptual de Vulnerabilidad.....                                                                       | 27 |
| Anexo H Programación Propuesta de Intervención Casa de La Cultura La Palma Cundinamarca<br>.....                         | 42 |

## **Resumen**

La Casa de la Cultura de La Palma Cundinamarca en calidad de construcción patrimonial es abordada con un tratamiento de tipo geriátrico fundamentado en la edad de construcción y el estado actual de su estructura. Este proyecto consta de tres etapas de estudio. La primera es la Historia Clínica en donde se planea recolectar la mayor cantidad de información técnica posible que permita develar el concepto arquitectónico original y funcionamiento estructural del inmueble y con esto las alteraciones ocurridas en su planta física a través del tiempo, esta etapa se complementara con una inspección detallada en donde se logren identificar las lesiones sufridas sobre sus materiales y el posible origen de esta. En la segunda etapa se emitirá un diagnostico fundamentado en los hallazgos de la etapa uno, con la intención de calificar la capacidad de respuesta y el estado de vulnerabilidad del paciente, en su condición actual, ante la presencia de un sismo. Y, finalmente en la tercera etapa se concluirán las razones técnicas que se cree llevaron a la estructura al colapso parcial desencadenando una serie de sucesos sin posterior atención hasta lograr el deterioro de la edificación. En esta etapa también se plantearán una serie de recomendaciones en pro de recuperar su planta física, si fuera posible, contemplando los costos sugeridos de la consultoría para tal actividad.

Aunque la propuesta de recuperación del inmueble en su totalidad constituye una labor titánica, con este proyecto se pretende dejar al descubierto la mayor cantidad de aspectos decisivos para tal ejecución.

## **Presentación de Estudio**

### **Introducción**

La patología de la construcción nos permite identificar, entender, estudiar, analizar las lesiones presentadas en una construcción con la finalidad de encontrar la causa y tomar acciones correctivas que solucionen de forma eficiente y definitiva la afectación presentada.

Dentro el proceso patológico, existen tres etapas de estudio que dan forma y sentido a la resolución de las lesiones, presentadas en una construcción; historia clínica, diagnóstico, intervención y mantenimiento.

Parte del proceso educativo correspondiente a la especialización en patología de la construcción es la aplicación y práctica de los conocimientos adquiridos, por tanto, en este trabajo, presentamos el paciente, La Casa de La Cultura del Municipio de La Palma-Cundinamarca dispuesto para su estudio patológico.

El Municipio de La Palma está ubicado al nororiente de Bogotá, con una distancia de 150 kilómetros, por carretera. Esta localidad se encuentra a 1.462 metros sobre el nivel del mar, y tiene una temperatura media de 21 °C, La Palma tiene una extensión de 19.067,34 Hectáreas, distribuidas en la zona rural (en 19.001,08 Has) y zona urbana (66.26 Has).

Al norte limita con Caparrapí y Yacopí, al Oriente con Topaipí y El Peñón, al sur con y al Occidente con Caparrapí.

La casa de la cultura del Municipio de La Palma es una construcción compuesta de dos niveles y 1.516 m<sup>2</sup> construidos, está ubicada en la calle 4 # 3-34, en el centro del municipio.

En la investigación histórica no se encontraron datos registrados de la fecha exacta de su construcción, por su arquitectura de tipo Colonial y los materiales empleados para su construcción se puede determinar que fue construida a finales del siglo XIX.

Las construcciones realizadas a finales del siglo XIX en Colombia se caracterizan por un gran patio central a cielo abierto, alcobas y recamaras en torno al patio principal, muros en adobe, elementos estructurales en madera, puertas y ventanas con madera tallada, sistemas constructivos provenientes de la época de la Colonia realizadas por maestros y obreros Españoles, con la Nueva República, arquitectura Republicana, estas construcciones fueron actualizadas con influencia de arquitectura de Francia e Inglaterra, características encontradas en la Casa de la Cultura del Municipio de la Palma.

La casa de la cultura del Municipio de La Palma fue constituida como tal el 5 de septiembre de 1984, en ese momento se designó como presidente de la casa de la cultura a la abogada Beatriz Lizarazu de Anzola, de la Universidad Javeriana la cual siempre trabajo en pro de la comunidad Palmera liderando con su lema “Por Una Palma Mejor”, a este proyecto se unieron prestantes personas Palmeras para que nuevas generaciones desarrollaran sus talentos artísticos y culturales en mejores condiciones locativas fomentando el impulso de las aptitudes intelectuales de los habitantes.

La casa de la cultura en el año 2000 fue declarada como bien de interés cultural de carácter municipal. En febrero de 2013 la sociedad de la casa de la cultura fue disuelta y se entregó en bien a la alcaldía como donación a gratuidad del pueblo.

En la actualidad la Casa de la Cultura del Municipio de La Palma se encuentra fuera de servicio al público, ya que debido a la limitada disposición de recursos y la falta de estudios y

diseños han impedido que se pueda realizar una intervención técnica acorde con las necesidades de la estructura y las condiciones reales del escenario cultural.

La falta de mantenimiento e intervenciones constructivas inadecuadas posteriores a su construcción han obtenido como resultado el deterioro del predio, encontrándose afectaciones de tipo patológico severo las cuales serán el objeto de estudio en este TPI, Trabajo Profesional Integrado.

### **Justificación**

Históricamente desde el año 1984 la Casa de la Cultura de La Palma ha sido escenario de diferentes actos culturales, educativos, artísticos, los cuales la población Palmera y personas de los municipios vecinos han disfrutado dando uso de este espacio, participado activamente en el desarrollo de capacidades artísticas en los niños, jóvenes, adolescentes, personas de la tercera edad, fomentando así el trabajo en equipo en la comunidad generando empoderamiento y crecimiento en la calidad de vida de sus habitantes.

Lamentablemente en la actualidad este lugar de encuentro cultural no está en funcionamiento debido a que sus locaciones están totalmente deterioradas por el paso del tiempo, falta de mantenimiento, recursos, y agentes externos a sus habitantes, por lo cual es necesario contar con una alternativa para reactivar el buen uso de este centro cultural y devolver el funcionamiento de las instalaciones en calidad óptima, permitiendo dar respuesta a las necesidades culturales de la comunidad Palmera.

Dentro del Plan de Desarrollo municipal *“La Palma Responsabilidad de Todos”*, en el eje de cultura, en su programa *“cultura y desarrollo la palma a la vanguardia cundinamarquesa”*, ha recibido apoyo del convenio interadministrativo 766-2018 suscrito entre

el ICCU y la administración Municipal, a fin de articular esfuerzos entre el Departamento y el Municipio con el ánimo de mejorar el acceso de la población a un escenario que permita el desarrollo de las capacidades y disfrute de espacios culturales en la generación de potencialidades y buen disfrute del tiempo libre a definido como meta restaurar la casa de la cultura del municipio de La Palma. En este sentido mantener el 15% de la población cundinamarquesa vinculada a la vida cultural. (Tovar, 2016)

La Ingeniería Civil y su especialización en Patología de la Construcción, realiza su aporte cumpliendo con uno de los pilares de esta importante profesión y es la de trabajar con la comunidad en pro del mejoramiento, construcción y adecuación de espacios que permitan el disfrute y una mejor calidad de vida de las personas.

Los profesionales de la construcción están en capacidad de realizar aportes significativos a la comunidad de La Palma aplicando toda su experiencia y conocimientos dirigido al mejoramiento, rehabilitación, reparación, construcción, de la Casa de la Cultura La Palma retornando al municipio la funcionalidad y uso idóneo de su planta física, conservando sus cualidades arquitectónicas como patrimonio histórico y realizando las actualizaciones necesarias a normas vigentes de la construcción y así garantizar un desempeño constructivo óptimo y durable en el tiempo.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Identificación de las distintas lesiones patológicas de la construcción y del análisis de un mecanismo de falla probable que permita determinar el reforzamiento de la edificación que aún está en pie o sugerir su completa demolición.

### ***Objetivos Específicos***

- Presentar unas fichas patológicas con la información relevante y clara de las lesiones encontradas en todo el inmueble.
- Por medio de un análisis simplificado, utilizando un modelo de cerchas planas y un análisis de cargas preciso para determinar el mecanismo de falla que generó -el colapso parcial.
- Sugerir si es probable el reforzamiento de la estructura que aún está en pie o su demolición total.
- Entregar los costos sugeridos de la consultoría de reforzamiento o rehabilitación (en caso de ser probable) para generar una idea de consecución de recursos.

## **Marco Referencial**

### ***Marco Conceptual***

**Patología de la Construcción.** “Según el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez: describe como el estudio de las fallas y problemas degenerativos que se van presentando en las construcciones de acuerdo con la transformación de los materiales con el transcurso del tiempo”. (Rodríguez 2004) Pg. 19

**Tipología de las Lesiones.** Según lo expuesto en el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez:

**Dictamen.** Según el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez: “describe según los hechos del problema y análisis realizado posteriormente se emite un diagnóstico referente a las causas generadas y/o factores que produjeron alteraciones en el mismo”. (Rodríguez, 2004) Pg.4

**Decisión.** Según el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez: “describe como resultado del diagnóstico resolver o solucionar la causa mencionada presentada en el dictamen para llegar a la conclusión, en cuanto al tratamiento a realizar para la corrección más adecuada y asertiva posible”. (Rodríguez, 2004) Pg.4

**Reparación.** “Se derivará esta acción, principalmente en la sección estructural cuando la resistencia de dicha sección se vea afectada o comprometida para soportar las solicitaciones que tengan encomendadas, pero que mantengan las condiciones básicas de su diseño inicial. En consecuencia, aquí se conserva la sección o sistema original, añadiéndose el material o componente suplementario que se requiera para reestablecer sus funciones de seguridad”. (Rodríguez, 2004) Pg.5

**Ejecución.** Según el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez: “establece que, de acuerdo con medidas adoptadas para ejecutar ciertas obras, como método de corrección en causas y fallos de patología, y considerando lo anteriormente descrito puede prever de realizar y estar en situaciones de riesgo en determinados componentes de una construcción, zona de este e inclusive la totalidad de este”. (Rodríguez, 2004) Pg.5

**Comprobación.** Según el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez: “establece que, al culminar, y subsanar los fallos de las patologías presentadas, se debe hacer complementario un seguimiento de progreso respecto al trabajo

realizado en cuanto a las reparaciones efectuadas y como resultado que el método o tratamiento a dado resultados efectivos y eficientes”. (Rodríguez, 2004) Pg.5

**Grietas y Fisuras.** Según el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez: “describe grietas y fisuras en obras de hormigón desde el origen relacionado a medidas preventivas y correctivas bajo la coordinación de José Toirac Corral como aberturas que aparecen en el concreto o elemento superficial a causa de tensiones superiores a su capacidad resistente”. (Rodríguez, 2004) Pg.5

**Estructuras en Madera.** “Son aquellas estructuras específicas dependiendo de las propiedades mecánicas que componen determinados tipos de maderas y este tipo de estructura debe aguantar todos los esfuerzos a la que es sometida sin romperse o agrietarse. Es un tipo de material utilizado desde la época de las colonias como se mantiene actualmente para edificaciones modernas. Existe una amplia clasificación de madera especial para utilización en estas estructuras. Por lo tanto, se debe considerar las lesiones que ocurren en este tipo de elemento como: deformaciones mecánicas, problemas funcionales por humedades, o presencia de agentes bióticos en la misma”. (Rodríguez, 2004) Pg.13

**Estructuras Metálicas.** “Son estructuras en su mayoría sus partes de materiales de metal o acero, empleada en diversos tipos de construcciones de manera industrial e idónea por su tipo de versatilidad en la forma que se presenta y considerando su costo de producción en muchos casos siendo más económico que otro tipo de estructura. Por lo tanto, se debe considerar las lesiones que ocurren en este tipo de elemento como: deformaciones mecánicas, problemas funcionales, ataques de oxidaciones”. (Rodríguez, 2004) Pg.13

**Estructuras en Concreto.** Son estructuras sometidas para soportar cargas y esfuerzos de una edificación o construcción con un propósito determinado. Por lo tanto, se debe considerar las

lesiones que ocurren en este tipo de elemento como deformaciones mecánicas, problemas funcionales, flexibilidad, sobrecargas, variaciones dimensionales, malos procedimientos constructivos generando humedades, agrietamientos y hasta considerar un incorrecto diseño. (Rodríguez, 2004) Pg.13

**Adobe.** El adobe como un material puesto en práctica, con medidas y métodos de aplicación durante la época de la colonia por los españoles, con el cual se construyen diversos tipos de elementos constructivos como paredes, muro, arcos, entre otros. El adobe es un material compuesto de arcilla y arena que mezclada con paja y secado al sol moldeándolo en forma de ladrillo consolida a ser un material más resistente.

**Agua Como Agente de Lesión.** Según el Manual de Patología de la Edificación bajo la coordinación de Ventura Rodríguez: “describe el agua como el componente más abundante del medio ambiente y se presenta en formas sólida, líquida y gaseosa logrando intercambiar cambios en función de sus características de presión y temperatura lo puede lograr modificar su volumen y densidad transformándola en un componente sencillamente penetrante en distintos materiales”. (Rodríguez, 2004) Pg.13

### ***Marco Teórico***

La tabla 1 muestra la clasificación de lesiones, su sintomatología y agente causante, en las construcciones:

**Tabla 1**  
*Tipología de las Lesiones y Agentes Causantes*

| <b>Tipología de la Lesión</b> | <b>Sintomatología</b>                                                                                             | <b>Agente Patológico</b>                                                                                                                                    |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Físicas                       | Humedad<br>Erosión Física<br>Meteorización<br>Suciedad                                                            | Presencia de Agua<br>Condiciones Atmosféricas<br>Excremento de Animales                                                                                     |
| Mecánicas                     | Deformaciones<br>Agrietamientos<br>Fisuraciones<br>Desprendimiento<br>Erosión Mecánica                            | Cargas y Sobrecargas<br>Incremento Esbeltez<br>Fallo de Sustentación<br>Dilataciones<br>Retracciones<br>Mala Ejecución<br>Acción del Viento<br>Uso Continuo |
| Químicas                      | Disgregación o Disolución<br>Oxidación<br>Eflorescencias<br>Exposición-combustión<br>Deformación<br>Meteorización | Contaminantes Ambientales<br>Presencia de Agua<br>Disolución de Sales<br>Presencia de Llama<br>Temperatura<br>Proceso Involutivo                            |
| Electromecánicas              | Corrosión                                                                                                         | Presencia de Agua<br>Mala Ejecución                                                                                                                         |
| Biológicas                    | Pudrición Parda<br>Pudrición Blanca<br>Disgregación                                                               | Presencia de Hongos<br>Presencia de Xilófagos                                                                                                               |

Fuente: Manual de Patología de la Edificación. (Rodríguez, 2004)

**Lesiones Físicas.** En este tipo de lesiones se presentan como consecuencia de un proceso marcado por leyes físicas. Las más importantes son provocadas por humedades, suciedad y por erosión física.

**Lesiones Mecánicas.** En este tipo de lesiones se presentan como el resultado de la actuación de procesos mecánicos, fuerzas externas o internas que puedan ser a su vez estructurales, constructivas o de utilización. En esta clasificación de lesiones nos encontramos con deformaciones, roturas, desprendimientos e incluso erosión.

**Lesiones Químicas.** En este tipo de lesiones se presentan como consecuencia de reacciones químicas que ocurren entre los materiales de los elementos constructivos y los

elementos atmosféricos, por productos contaminantes o por diferentes tipos de organismos vivos. En esta clasificación se encuentra eflorescencias, lesiones provocadas por oxidación, por corrosión o por organismos vivos, además de las ya mencionadas lesiones por erosión.

### ***Marco Legal***

La edificación objeto de análisis por ser una construcción de más de 100 años de antigüedad no la rigió en su momento ningún tipo de normativa urbanística o legal, pero con el desarrollo del municipio de la Palma y el paso de los años hasta nuestros días existen acuerdos que reglamentan la construcción como son la Zonificación de Uso del Suelo en el Acuerdo No. 013 de 2003 y por medio del cual se adopta el Esquema de Ordenamiento territorial Municipal, y a la norma sismo resistente NSR 10 (Ley 400 de 1997 y Decreto 926 del 19 de marzo de 2010) la cual establece los parámetros de seguridad para este tipo de construcciones. El Decreto 763 de 2009. Patrimonio cultural de la nación de naturaleza material; y la Evaluación e Intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada – AIS 600-EP-17, en estudio de la Comisión Asesora Permanente – Ley 400 de 1997.

Sin embargo, cabe destacar que La zona está declarada como de alto riesgo y su estructura interna no es la adecuada y no cumple con los nuevos reglamentos de la Norma Colombiana NTC 2050 y RETIE.

### **Alcance y Limitaciones del Proyecto**

El estudio patológico que tendrá objeto en la Casa de la Cultura de La Palma – Cundinamarca ubicada en el centro del Municipio en la dirección Calle 4 # 3 – 34 tiene como finalidad desarrollar actividades tales como visitas de inspección, recopilación de información técnica de la construcción, levantamiento de lesiones, identificación del origen de las mismas y

análisis del origen primario de la falla que llevo al inmueble al estado actual; Todo lo anterior con el fin de concluir si existe la posibilidad de rehabilitación de la estructura mediante técnicas adecuadas permitidas por el reglamento vigente, y que a su vez permita que esta conserve el concepto patrimonial.

## **Metodología**

### **Descripción de la Selección del Paciente**

Se decidió realizar la opción de la Casa Cultural de la Palma Cundinamarca como paciente porque es un caso interesante ya que presenta el estudio de conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas durante la especialización como son los suelos y estabilización de cimentaciones, construcciones en acero, construcciones en concreto, vulnerabilidad sísmica, humedades grietas y fisuras, historia clínica y metodología para la intervención, peritaje de edificaciones y obras civiles, entre otras.

Al realizar el estudio patológico de la Casa de la Cultura La Palma según su historia clínica se pudieron considerar presentes los grupos de lesiones (físicas, mecánicas, químicas, electromecánicas y biológicas) lo que nos permite colocar en práctica los conocimientos obtenidos en el transcurrir del proceso de aprendizaje.

Cabe destacar que al realizar este trabajo investigativo permite brindar un servicio a una comunidad que se ve afectada por una problemática evidente y es de una buena manera dar un aporte significativo a la sociedad específicamente del Municipio de la Palma Cundinamarca por la gran importancia del inmueble al ser declarado monumento cultural municipal.

### **Normativa Actual que lo Rige**

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10 (Ley 400 de 1997 y Decreto 926 del 19 de marzo de 2010).

- Decreto 763 de 2009. Patrimonio cultural de la nación de naturaleza material.
- Evaluación e Intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada – AIS 600-EP-17, en estudio de la Comisión Asesora Permanente – Ley 400 de 1997.

### **Importancia del Paciente**

De acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del acuerdo 013 de 2003 del municipio de La Palma, la “Casa de La Cultura” se encuentra dentro del sector de conservación histórica y por lo tanto se debe proteger y garantizar su permanencia por su valor arquitectónico, tipológico, morfológico y estructural. (Consejo Municipal la Palma, 2013)

Además, el inmueble está catalogado por el Ministerio de Cultura como bien de interés cultural (BIC) porque contiene valor de orden histórico, estético o simbólico, que pertenece a un territorio y que genera un sentido de identidad en la comunidad.

### **Preparación y Planteamiento del Estudio**

La metodología empleada para realiza el estudio patológico de la Casa de la Cultura La Palma Cundinamarca está dividida en tres etapas:

#### **Etapas I: Historia Clínica**

- Visitas de campo al municipio La Palma, donde se realizaron las siguientes actividades:
- Identificación Geográfica y Localización de la casa de la cultura dentro del municipio de La Palma.
- Identificación visual de las construcciones vecinas a la casa de la cultura.

- Recolección de información inherente al funcionamiento de la casa de la cultura, su historia, uso, legalidad, evolución en el tiempo.
- Reconocimiento del sistema constructivo.
- Visualización de lesiones y afectaciones primarias y secundarias.
- Toma registros fotográficos a las lesiones encontradas, toma aérea con dron a la cubierta y periferia del predio en estudio.
- Levantamiento de lesiones y localización de estas.

#### Trabajo de oficina:

- Organización de información recolectada.
- Elaboración de fichas de tipificación de lesiones.

#### Etapa II: Diagnostico

- Identificar causas que originaron la lesión y su clasificación directas o indirectas, pasivas o activas, empleando ensayos, sondeos, estratigrafías y auscultaciones necesarias para generar un diagnostico veraz y sustentado.
- Análisis evolutivo del proceso patológico.
- Evaluación de la causa primaria de falla de la estructura.

#### Etapa III: Conclusiones y Recomendaciones

- Identificación del mecanismo de falla que llevo a la estructura a su estado actual y recomendaciones para su reparación si el análisis de la etapa anterior determina que es posible hacer la recuperación de esta.

### **Inspección Preliminar del Paciente**

La cubierta del inmueble se encuentra parcialmente derrumbada lo que facilita el libre flujo de agua hacia el interior de la estructura ocasionando filtraciones y acumulación de humedad en los muros de adobe y los elementos de madera existentes. La madera que conforma la cubierta, entresijos y algunas columnas de la estructura tiene ataques de insectos. Algunas vigas y varas rollizas están en mal estado de conservación presentando en algunos tramos alabeos, sección transversal insuficiente y hasta deterioro total del elemento aumentando el riesgo de derrumbamiento del entresijo o cubierta sobre los muros que en sectores ya se encuentran afectados. La fachada noroccidente se encuentra parcialmente derrumbada amenazando con colapsar en su totalidad, quizás con un leve movimiento. La estructura no cuenta con instalaciones eléctricas, voz y datos habilitadas. A lo largo del tiempo la construcción ha tenido intervenciones donde se han involucrado elementos estructurales en concreto reforzado y muros de mampostería no reforzados, en los cuales se pueden observar malas prácticas constructivas y aplicación de inadecuados conceptos estructurales.

### **Permisos y Autorizaciones para Abordar Estudio al Paciente**

Anexo A Carta de Autorización estudio patológico a Casa de la Cultura La Palma como parte de requisito educativo.

### **Definición del Equipo de Trabajo que Realizara la Exploración**

Los profesionales responsables del estudio patológico a la Casa de la Cultura La palma está a cargo del grupo de estudio de la especialización en patología de la construcción de la

Universidad Santo Tomas, semestre 2019-I; Ing. Luis F. Correa, Ing. Eliana A. Gonzales, Ing. Ana M. Horta y Ing. María C. Niño.

### **Definición de los Medios Para Realizar el Estudio**

Equipo necesario para la realización del proceso de toma de datos y seguimiento vehículo aéreo no tripulado (dron) marca DJ Phantom 4. (Levantamiento topográfico / fotos aéreas).

- Equipo GX 1230 (Receptor) (levantamiento de topográfico)
- Cámara fotográfica
- Cinta métrica
- Flexómetro
- Termómetro laser
- Fisurómetro
- Nivel
- Tabla de trabajo, lápiz, borrador, lapicero
- Grabadora
- Pica de mano

### **Historia Clínica**

#### **Fecha de Realización del Estudio**

Semestre I y II del año 2019

#### **Aplicación Patológica**

La Casa de la cultura La Palma, representa desde su punto de vista una aplicación patologica de tipo Geriatrica ya que adopta un tipo de construccion antigua en este caso se debe

conservar como “Patrimonio Cultural Arquitectónico” y representa por su referencia histórica el verdadero acervo cultural de la construcción dentro de nuestra sociedad. El carácter Geriátrico del predio presenta entre otros atractivos el descubrimiento de la mayor variedad de imaginativos detalles constructivos, así como una serie de elementos que por formato, sección o calidad de material, en la actualidad no se fabrican y por tanto representan una dificultad añadida.

Es importante la comprensión de su diseño, construcción, utilización y modificación constructiva, así como los diversos mecanismos por los cuales los materiales que la constituyen pueden ser afectados por el medioambiente y mala calidad constructiva.

Es por ello que con base al conocimiento de estudio, desde un punto de vista holístico se pretende evaluar las distintas lesiones patológicas, analizar sus causas y grado de integridad afectado.

## Ficha Técnica de la Construcción Civil Actual

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                             |                                    |                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS<br/>ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA<br/>DE LA CONSTRUCCIÓN</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Especialización Patología de la Construcción Universidad Santo Tomás                                                        |                                    |                         |
| Identificación de Lesiones Patológicas de la Construcción, del Mecanismo de Falla Estructural y Recomendaciones de Reforzamiento de la Casa de la Cultura la Palma- Cundinamarca                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                             |                                    |                         |
| <b>Datos del Paciente</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                             |                                    |                         |
| <b>Nombre del paciente:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Casa de la Cultura de la Palma Cundinamarca                                                                                 |                                    |                         |
| <b>Ubicación:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Municipio de la Palma Cundinamarca Calle 4 No. 3-34                                                                         |                                    |                         |
| <b>Numero de niveles:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Tres (dos pisos + cubierta)                                                                                                 | <b>Estado de conservación:</b>     | En abandono - deterioro |
| <b>Tipo de inmueble:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Público - Conservación Histórica                                                                                            | <b>Edad:</b>                       | 120 años aprox.         |
| <b>Sistema estructural:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Sistema de Muros de carga en adobe                                                                                          | <b>Área Total construida (m2):</b> | 1515,168                |
| <b>Norma bajo la cual se construyó:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | No se construyo bajo ninguna norma                                                                                          | <b>Uso:</b>                        | Público (Cultural)      |
| <b>Descripción del Estado del Estado Actual del Paciente</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                             |                                    |                         |
| <b>Espacio</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Descripción</b>                                                                                                          |                                    |                         |
| <b>Área Construida en Planta (m2):</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                          |                                    |                         |
| <b>Número de pisos:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Dos pisos más cubierta                                                                                                      |                                    |                         |
| <b>Cimentación:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Viga corrida en ladrillo macizo                                                                                             |                                    |                         |
| <b>Altura total (m):</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 9.00 m                                                                                                                      |                                    |                         |
| <b>Pisos:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Primer piso: Placa en concreto simple                                                                                       |                                    |                         |
| <b>Paredes:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Entrepiso: Totalmente en madera. Listones sobre viguetas en una sola dirección                                              |                                    |                         |
| <b>Pañetes:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Muros en adobe                                                                                                              |                                    |                         |
| <b>Pañetes:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Mortero convencional recubierto con pintura                                                                                 |                                    |                         |
| <b>Cubierta:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Estructura conformada por vigas y viguetas de madera con teja de barro sobre machihembrado en guadua en las dos direcciones |                                    |                         |
| <b>Estructura de vigas y columnas:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Las columnas y vigas existentes en concreto reforzado corresponde a una reciente intervención                               |                                    |                         |
| <b>Carpintería:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Ventanas, puertas y barandas interiores y exteriores en madera                                                              |                                    |                         |
| <b>Información Técnica Existente del Paciente</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                             |                                    |                         |
| Actualmente no se encuentra en ninguna entidad registro de algún tipo de documento técnico correspondiente a su diseño, construcción y posteriores intervenciones. Actualmente la información técnica se ha tenido que reconstruir a través de métodos exploratorios invasivos como apiques y regatas, indagaciones a la población he inspecciones visuales.                                                                                                                                      |                                                                                                                             |                                    |                         |
| <b>Fidelidad de la información técnica actual:</b> No hay fidelidad en la información técnica actual porque es la reconstruida con métodos de investigación. No existe documentación original del proyecto.                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                             |                                    |                         |
| <b>Diagnostico Primario del Paciente</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                             |                                    |                         |
| <p>El estado de la estructura es de ruina, ya que se presentan severos derrumbes parciales de la cubierta del segundo piso y de los entrepisos. Actualmente la edificación está cerrada al público por los problemas de seguridad y estabilidad estructural presentes. Presenta severas lesiones de humedad y pudrición.</p> <p>Las intervenciones posteriores se ejecutaron de manera inapropiadas estructuralmente comprometiendo no sola la integridad de la misma sino de las vecindades.</p> |                                                                                                                             |                                    |                         |

Figura 1 Ficha Técnica Datos Del Paciente. Fuente: Elaboración Propia.

## **Datos Específicos de las Lesiones**

### ***Clasificación y Origen de las Lesiones***

La identificación, clasificación y análisis de las lesiones presentadas son fundamentales dentro del estudio patológico, a través de ellas se puede generar una ruta de hechos y consecuencias que pueden llegar a determinar la causa u origen de ellas y así poder realizar un diagnóstico que evidencie el grado de integridad del predio en estudio.

A continuación, se encuentra registrada toda la información necesaria de cada una de las lesiones encontradas por material en la Casa de la Cultura La Palma, esta información está registrada en fichas técnicas de patología.

La información registrada en las fichas de levantamiento patológico está elaborada por los autores de este TPI, sustentado en documentos y textos de diferentes autores a nombrar en referencias bibliográficas. (Fondo de Prevencion y Atencion de Emergencias - FOPAE, 2011), (Del Rio, 2008), (Arana & Gonzalez, 2013), (Corradine, 2008),(Pedro & Candiotti, 1986), (Sanchez, 2007), (Asociacion Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Derivados de la Arcilla Colombia, 2007), (Junta del Acuerdo de Cartagena, 2000), (Rodriguez, 1998), (Broto, 2006)

Anexo B Ficha Levantamiento Patológico Concreto y Metal,

Anexo C Ficha Levantamiento Patológico Mampostería Adobe

Anexo D Ficha Levantamiento Patológico Madera

En este archivo anexo contiene fichas técnicas de lesiones por materiales así:

- Concreto
- Metal
- Mampostería
- Madera y Guadua

### ***Localización y Levantamiento de Lesiones***

El levantamiento y localización de lesiones este contenido dentro de los planos arquitectónicos referenciadas por convenciones de color para cada material. Esta información se encuentra contenida en documento denominado.

Anexo E Plano Localización de Lesiones

### **Ensayos Realizados**

Para la identificación de las lesiones, determinación de su origen y causa, y posterior evaluación de integridad de la estructura se realizaron los siguientes ensayos:

#### ***Ensayos Destructivos***

Debido a la inexistencia de cualquier tipo de información técnica de diseño y construcción de la estructura se realizaron las siguientes exploraciones con la intención de identificar su sistema estructural y materiales empleados:

- Líneas de refracción sísmica
- Sondeos de perforación
- Apiques de cimentación.
- Regatas

Anexo F Registro Fotográfico de Ensayos Destructivos

Una vez identificado el sistema estructural y cimentación se hizo necesario la identificación del suelo de portante para descartar que cualquiera de las lesiones presentadas por la estructura de debiera a una falla por capacidad portante. Por tal razón se llevó a cabo una serie de perforaciones geotécnica y líneas de refracción sísmica para identificar que el tipo de suelos existente coincidiera con la geología investigada en los mapas geológicos del Servicio Geológico

Colombiano, La información de esta actividad se encuentra registrada en el ítem 3.10 Estudio de Suelos de este documento.

Durante las visitas de inspección se tomaron datos de dimensiones localización de elementos estructurales relevantes que fueran claves para la evaluación de la integridad de la estructura.

## Estudio de Suelos

### *Líneas de Refracción Sísmica*

#### Línea 1

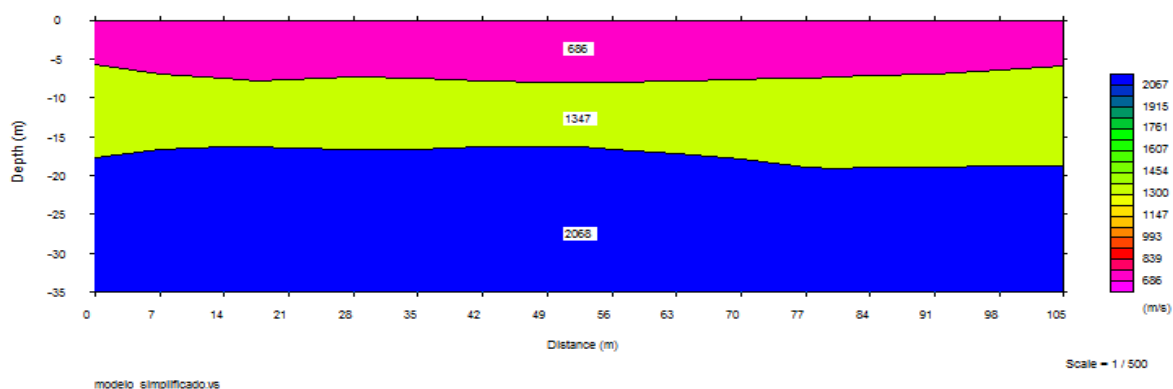


Figura 2 Modelo 2d – Capa de Velocidades. Fuente: Elaboración con Software SeismicAq de subsuelo 3d.

#### Línea 2

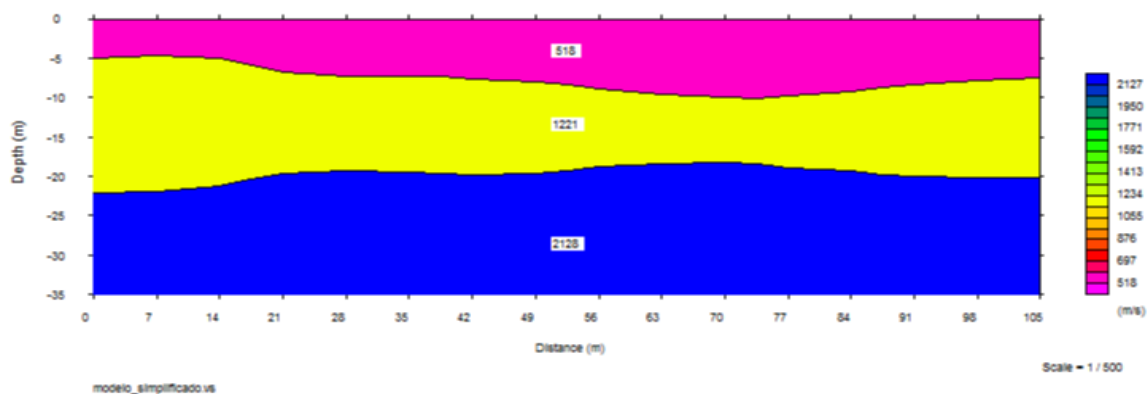


Figura 3 Modelo 2d – Capa de Velocidades. Fuente: Elaboración con Software SeismicAq de subsuelo 3d.

El perfil de la velocidad de la onda de corte obtenida en este ensayo indica que en los primeros 6 metros hay un valor estable cercano a los 686 m/s, para continuar hasta los 17 m aproximadamente con un perfil mucho más rígido con una velocidad máxima de 1347 m/s y finalizar a los 35 m con un valor de 2068 m/s. Entonces se establece que hay tres estratos y por la variabilidad y valores de la velocidad de onda corte en profundidad, se demuestra la existencia de mayor rigidez a mayor profundidad, validando la línea de refracción sísmica.

Para el análisis geotécnico de la zona, es necesario establecer las características sísmicas de acuerdo con lo descrito en el (NSR-10, 2010) .

Por lo tanto, el perfil de suelo se clasifica como:

Perfil de Suelo: **B**

Zona de amenaza sísmica: **Intermedia**

Aceleración horizontal pico efectiva,  **$A_a = 0.15 \text{ g}$**

Velocidad horizontal pico efectiva,  **$A_v = 0.20 \text{ g}$**

Coefficiente  **$F_a = 1.0$**

Coefficiente  **$F_v = 1.0$**

| 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$                                                                                          |
|                | perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $\bar{N} \geq 50$ , o<br>$\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$                                                      |
| D              | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$                                                                                          |
|                | perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $50 > \bar{N} \geq 15$ , o<br>$100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$ |
| E              | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $180 \text{ m/s} > \bar{V}_s$                                                                                                               |
|                | perfil que contiene un espesor total $H$ mayor de 3 m de arcillas blandas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $IP > 20$<br>$w \geq 40\%$<br>$50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$                                                  |
| F              | <p>Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> 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:</p> <p><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.</p> <p><b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (<math>H &gt; 3 \text{ m}</math> para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p><b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad (<math>H &gt; 7.5 \text{ m}</math> con Índice de Plasticidad <math>IP &gt; 75</math>)</p> <p><b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (<math>H &gt; 36 \text{ m}</math>)</p> |                                                                                                                                             |

Figura 4 Clasificación de los Perfiles de Suelo. Fuente: (NSR-10, 2010)



*Figura 5 Registro Toma de Línea de Refracción Sísmica. Fuente: Elaboración Propia.*

## Exploración Geotécnica del Suelo

Se ejecutó la perforación de tres (3) sondeos de 6 m de profundidad cada uno con un equipo de barreno manual, para determinar el tipo de suelo superficial y de soporte de la cimentación existente o para encontrar alguna anomalía geotécnica hasta esa profundidad, para entregar parámetros adicionales a la clasificación sísmica del suelo. Se encontró un perfil de suelos cohesivos friccionantes, LIMOS arenosos de consistencia media a dura. (NSR-10, 2010)



*Figura 6* Perforación Geotécnica de Tipo Manual. Fuente: Elaboración Propia.

### ***Apiques de Cimentación***

Mediante los apiques de exploración realizados para determinar la cimentación que tiene actualmente la estructura se identificó que esta está compuesta por vigas corridas construidas igualmente en adobe con un alto variable por sectores de la estructura de 50 y 60 cm y un ancho de 60 cm. También con las exploraciones se pudo observar que estos elementos también tienen involucrados otro tipo de materiales como ladrillo cocido, aún se desconocen las razones de la mezcla de estos dos materiales en el elemento.



*Figura 7* Apique de Exploración. Cimentación Actual Existente. Fuente: Tibocor Ltda.

### ***Regatas***

La realización de exploraciones directas como las regatas de exploración surgen de la necesidad de evidenciar con claridad el sistema estructural que conforma la edificación, los materiales empleados para su construcción y la técnica utilizada en esta. Y si bien ya se mencionó en un capítulo anterior, en la actividad previa inicial de recolección de documentos técnicos referentes a su construcción no tuvo mayor éxito, se tomó la decisión de ejecutar este tipo de exploraciones bajo la condición que, aunque fueran de carácter destructivo se debían hacer de la forma menos agresiva posible debido al estado de vulnerabilidad de la estructura. La ubicación de los puntos de exploración se hizo de manera estratégica previendo que no se viera afectada la estabilidad estructural pero que en definitiva suministraran información acertada que permitieran descifrar el sistema estructural.



*Figura 8* Regatas de Exploración. Fuente: Elaboración Propia.

## **Estado Actual de Vulnerabilidad Sísmica de la Estructura**

Mediante un análisis conceptual y visual en donde se evaluaron parámetros relevantes para determinar la vulnerabilidad ante un sismo de la estructura, tales como:

- Sistema y material estructural, irregularidades torsionales en planta y en alzado, rigidez y ductilidad.
- Geología general
- Clasificación de suelos
- Estado de los materiales
- Cumplimiento de la norma de construcción actual.

Teniendo en cuenta la situación de amenaza sísmica debida al terreno de localización en donde se presenta un sistema de fallas al parecer inversas de dirección NE-SW que forman un bloque limitado por la falla de Guadualito al occidente y por la falla de Guaquimay al oriente en estado activo. (Gomez & Almanza, 2015)

El inmueble se califica como una estructura altamente vulnerable sísmicamente. Sin embargo, por el uso que se le da a la edificación, por ser un inmueble patrimonial y por el estado en el que se encuentra es necesario hacer un estudio de vulnerabilidad sísmica que determine de manera numérica la capacidad de disipación de energía de cada elemento estructural y la demanda requerida para poder establecer la magnitud y tipo de reforzamiento.

El análisis conceptual realizado se encuentra en el siguiente anexo

Anexo G Análisis Conceptual de Vulnerabilidad

Análisis elaborado bajo criterios del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. (NSR-10, 2010)

## **Diagnóstico**

De manera individual a continuación se menciona el diagnóstico de cada material por el que está constituido la estructura, teniendo en cuenta su estado actual y su degradación a través del tiempo:

### ***Concreto y Metal***

Lesiones de tipo antropogénicas que están afectando de manera directa a la estructura original causándole inestabilidad, si no se hace una intervención inmediata adecuada, la estructura puede tener falla súbita debido a la interacción con los elementos contruidos con este material.

### ***Mampostería y Tejas***

Teniendo en cuenta el nivel de severidad (Alta) y la urgencia de intervención (Imprescindible) en el sistema de conservación del patrimonio de los muros de adobe como de techumbre, es deber considerar un alto tratamiento correctivo para su mejoría en el proceso constructivo como en las condiciones climáticas del entorno (en este caso por movimientos de la estructura en su mal diseño y falta de planeación de esta con sobre cargas adicionales).

Esto se debe a una falla general del inmueble sin considerar el mantenimiento preventivo del material ya que las construcciones de tierra requieren de cuidado y mantenimiento permanente. El desplome que se presenta fue causa principalmente a la perdida de la verticalidad en los muros afectados por desplazamientos y deformaciones de otros elementos estructurales como techumbres y entrepisos. Además de asentamientos y humedades debilitando los muros por la pérdida de cohesión de la arcilla presente en el adobe provocando desplomos, grietas, fisuras y desprendimiento de la argamasa por la deformación de los muros. Cabe destacar que

ninguno de estos muros contaba con refuerzo estructural que hiciera su amarre a la estructura completa como todo un elemento estructural lo que facilitó la falla de inestabilidad ante fuerzas gravitacionales de los elementos de madera en cubierta. Se debe priorizar un equipo profesional con capacidad y experiencia en el manejo del material para su restauración y conservación de la construcción patrimonial.

### ***Madera***

El estado actual de la edificación es en ruinas. La cubierta se encuentra parcialmente derrumbada sobre el entrepiso y sucesivo a ese hecho el entrepiso también experimenta colapso parcial, en algunas áreas de este, la madera ha perdido sección transversal en sus viguetas y listones lo que generó importantes agujeros. Los muros de adobe que funcionan como muros de carga en el sistema estructural, se encuentran fracturados con probabilidades altas de colapso inminente. Se recomienda intervención inmediata al inmueble, pues de no ser así la estructura se verá sometida a falla total con ninguna posibilidad de recuperar algún elemento representativo de la misma.

## **Análisis del Mecanismo de Falla de la Estructura**

### **Análisis de Sucesos**

La secuencia del daño o falla estructural que ha llevado al colapso parcial de la edificación es la siguiente:

1. Falta de mantenimiento en la cubierta.
2. Aparición de goteras en la cubierta.

3. Generación continua y permanente de humedad y pudrición de la madera del sistema de armadura de madera de soporte de la cubierta, en especial de los nudos inferiores de la misma en el tirante o viga.
4. Fractura del elemento inferior tirante o viga de la armadura de madera en el nudo afectado.
5. Caída de la cubierta sobre el entrepiso dos generando una sobrecarga inmediata e instantánea.
6. Colapso secuencial e inmediato del entrepiso, con caída sobre el primer piso, arrastrando parte de los muros internos de soporte en adobe, del primer y segundo piso.
7. Generación de una exposición incontrolada de la estructura de madera remanente a los efectos ambientales que aumentan la velocidad de degradación del material iniciando una nueva secuencia de falla en otros lugares de la edificación.

El sistema de armadura original de madera de soporte de la cubierta de barro es el adoptado en la zona andina cercana al altiplano cundiboyacense a finales del siglo XVIII y del periodo republicano.

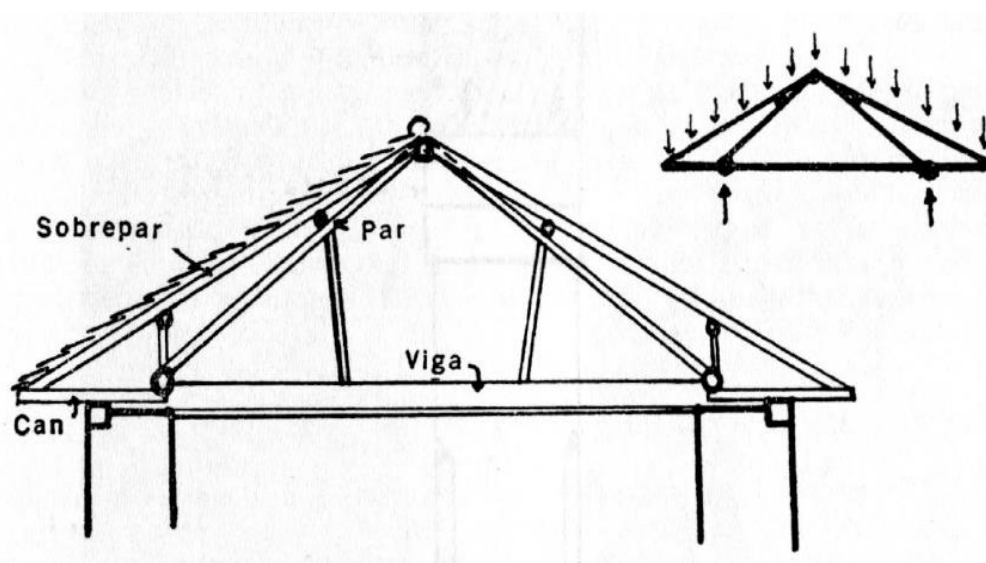
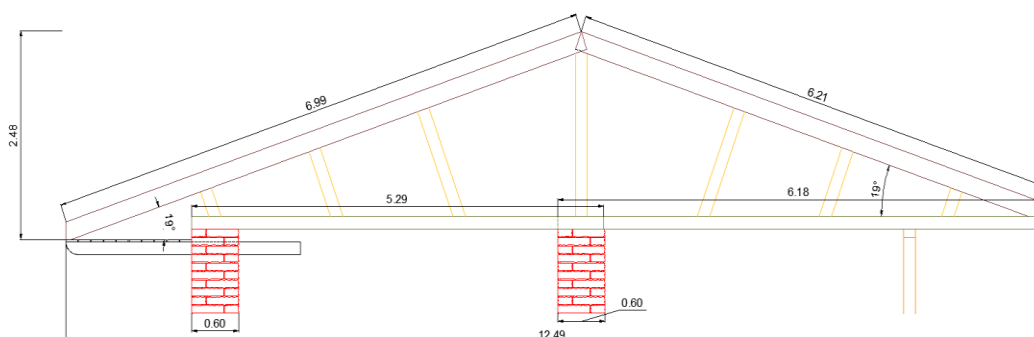


Figura 9 Sistema de Armadura de Cubierta. Fuente: (Corradine, 2008)

La estructura de la armadura presenta las siguientes características particulares:

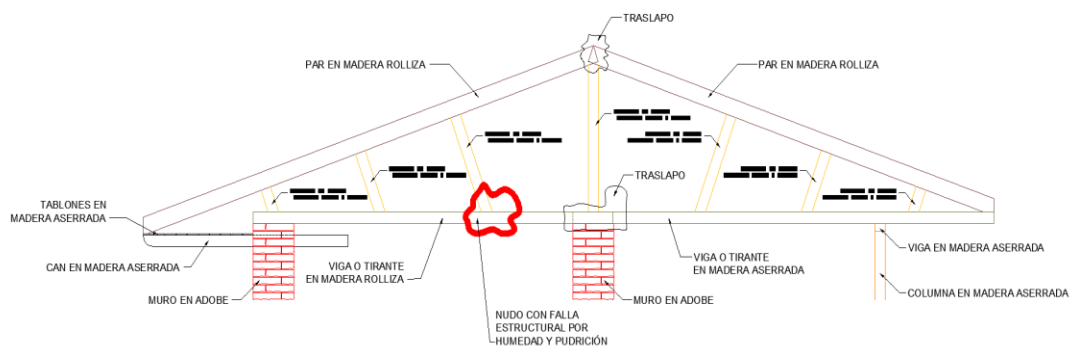
- No hay sobrepar. Solo par y es en madera rolliza.
- El can esta embebido en el muro de adobe de la fachada principal y lo sobrepasa.  
Además, está por debajo del tirante inferior o viga. Es una madera aserrada.
- La viga o tirante en unos casos es una madera rolliza, en otros casos aserrada.
- Los montantes son en guadua, rolliza o aserrada.
- Las uniones en los nudos y traslapos son con puntillas de hierro.
- El sistema tiene un apoyo intermedio.
- El par superior es más grande en sección transversal que los demás elementos, en especial el tirante inferior.
- El sistema de armadura no es una cercha, no se forman triángulos de estabilidad con deformación controlada.

**SECCIÓN TRANSVERSAL CUBIERTA EXISTENTE - DIMENSIONES**  
**ESCALA 1:50**



*Figura 10* Sección Transversal Cubierta Existente-Dimensiones. Fuente: Elaboración Propia AutoCAD.

**SECCIÓN TRANSVERSAL CUBIERTA EXISTENTE - PIEZAS**  
**ESCALA 1:50**



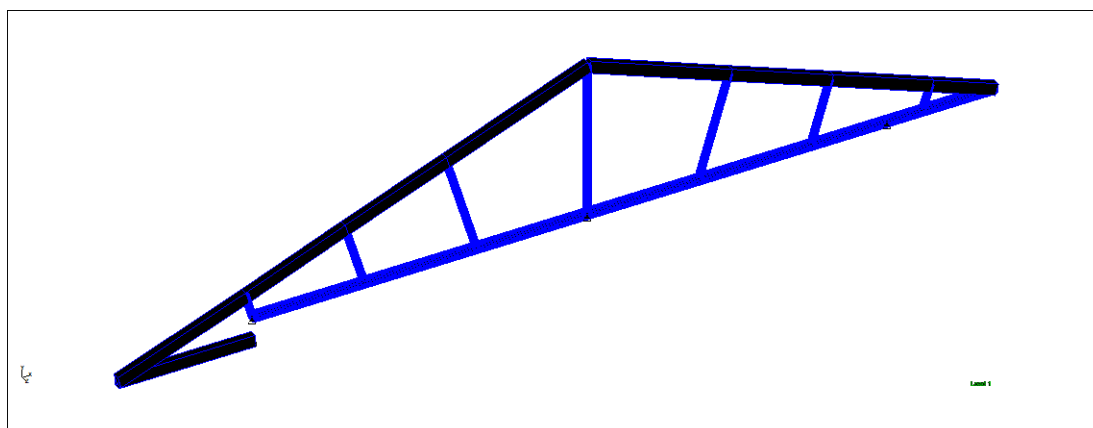
*Figura 11* Sección Transversal Cubierta Existente-Piezas. Fuente: Elaboración Propia AutoCAD.

## Mecanismo de Falla

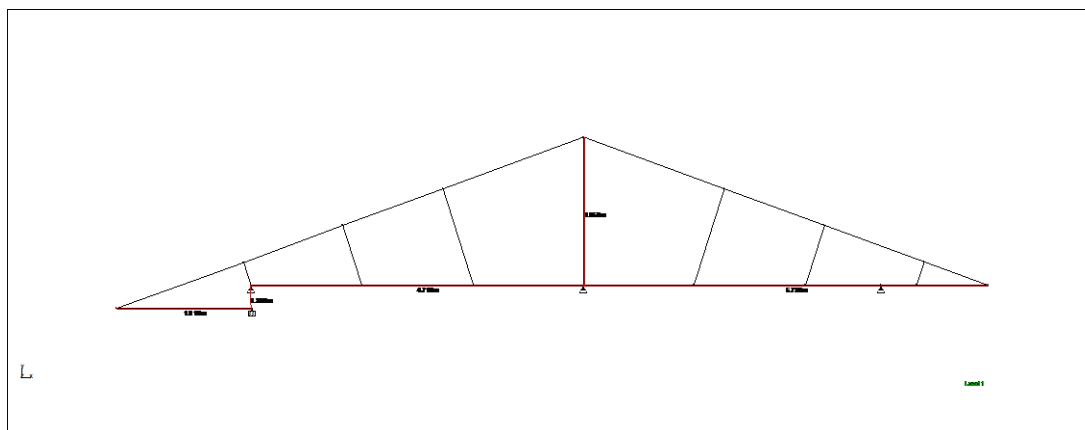
Se propone el estudio de la siguiente hipótesis de falla de la cubierta:

“Degradación del módulo de elasticidad longitudinal y del módulo de corte o rigidez del sector cercano al nudo denominado como “A”, en el tirante inferior”

Se realizó un modelo plano simplificado del sistema de cubierta original, representando las secciones transversales, distancias entre elementos, características del material estructural y de las cargas por pesos propio, sobreimpuestas y por carga viva.



*Figura 12* Cubierta Original. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.



*Figura 13* Dimensiones Principales. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

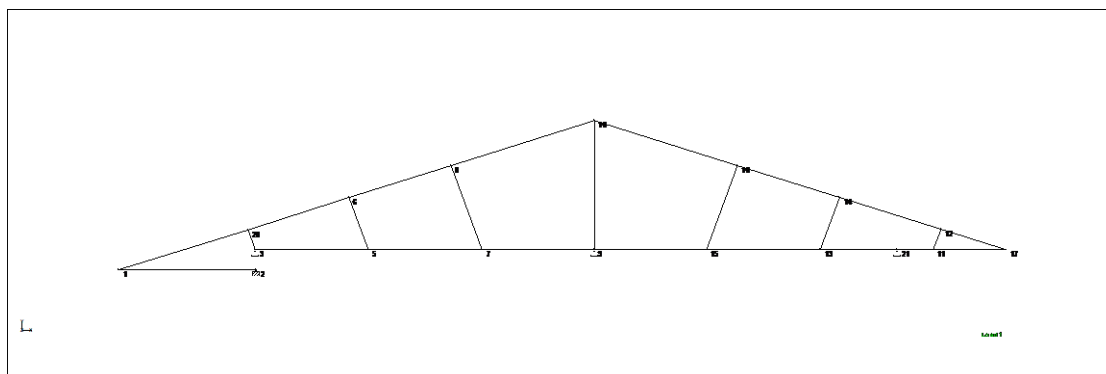


Figura 14 Numeración de Nudos. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

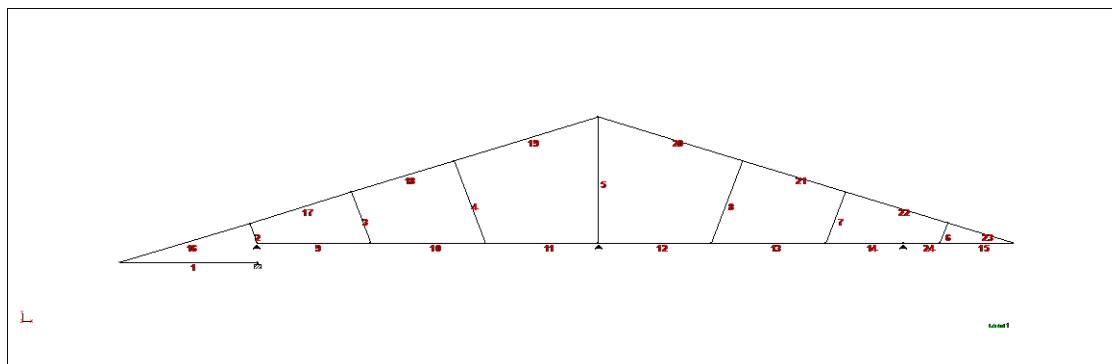


Figura 15 Numeración de Elementos. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

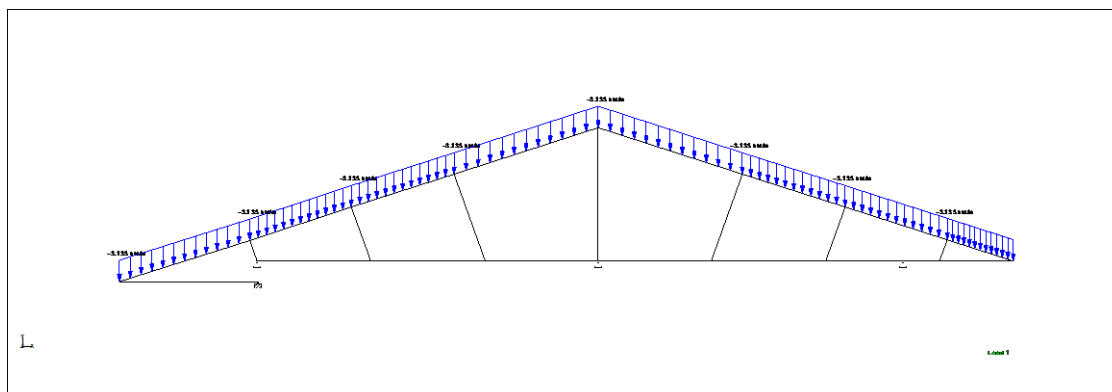


Figura 16 Cargas Sobreimpuestas. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

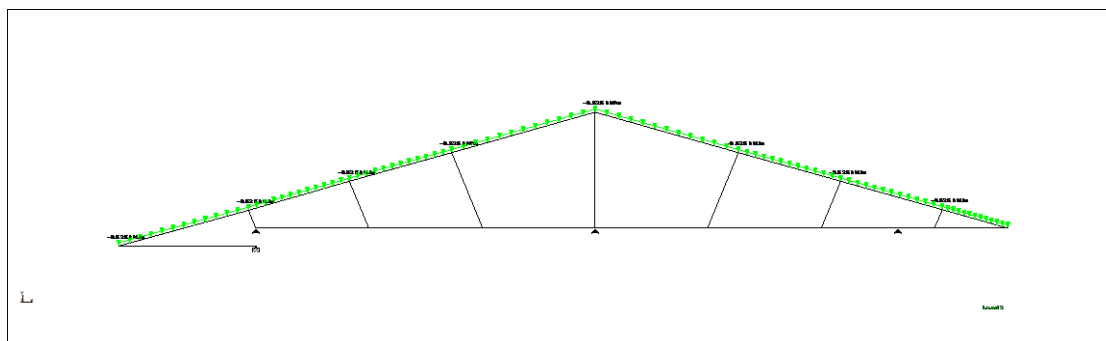


Figura 17 Cargas Vivas. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

### Caso Ideal

**Tabla 2**

*Caso Ideal Mecanismo de Falla*

| Factor                       | Valor      |
|------------------------------|------------|
| Módulo de Young Longitudinal | 12500 MPa  |
| Relación de Poisson          | 0.15       |
| Módulo de Corte o de Rigidez | 781.25 MPa |

Fuente: Elaboracion Propia.

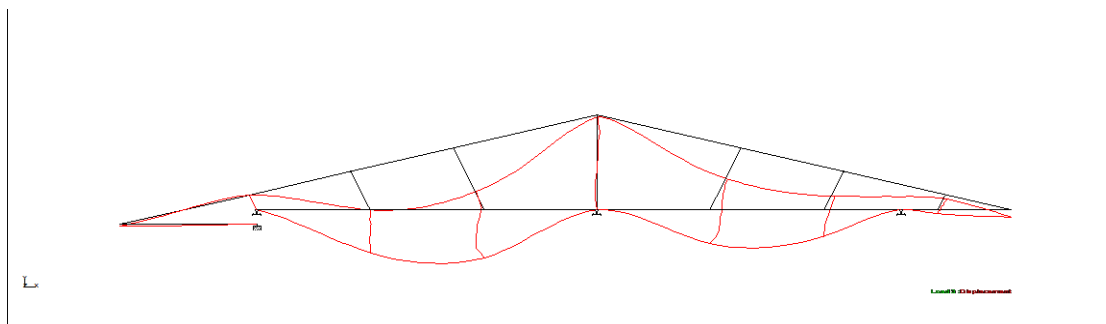


Figura 18 Deformaciones Verticales por Carga Muerta – Escala 10 mm/m. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

CERCHA 2 - Ideal - Node Displacements:

Summary

|        | Node | L/C       | Horizontal<br>X<br>mm | Vertical<br>Y<br>mm | Horizontal<br>Z<br>mm | Resultant<br>mm | Rotational |           |           |
|--------|------|-----------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|------------|-----------|-----------|
|        |      |           |                       |                     |                       |                 | rX<br>rad  | rY<br>rad | rZ<br>rad |
| Max X  | 8    | 3 D + L   | 3.135                 | -8.922              | 0.000                 | 9.457           | 0.000      | 0.000     | 0.002     |
| Min X  | 16   | 3 D + L   | -1.727                | -6.420              | 0.000                 | 6.648           | 0.000      | 0.000     | -0.001    |
| Max Y  | 2    | 1 MUERTAS | 0.000                 | 0.000               | 0.000                 | 0.000           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Min Y  | 7    | 3 D + L   | 0.017                 | -9.907              | 0.000                 | 9.907           | 0.000      | 0.000     | 0.004     |
| Max Z  | 1    | 1 MUERTAS | 0.059                 | -0.358              | 0.000                 | 0.363           | 0.000      | 0.000     | -0.000    |
| Min Z  | 1    | 1 MUERTAS | 0.059                 | -0.358              | 0.000                 | 0.363           | 0.000      | 0.000     | -0.000    |
| Max rX | 1    | 1 MUERTAS | 0.059                 | -0.358              | 0.000                 | 0.363           | 0.000      | 0.000     | -0.000    |
| Min rX | 1    | 1 MUERTAS | 0.059                 | -0.358              | 0.000                 | 0.363           | 0.000      | 0.000     | -0.000    |
| Max rY | 1    | 1 MUERTAS | 0.059                 | -0.358              | 0.000                 | 0.363           | 0.000      | 0.000     | -0.000    |
| Min rY | 1    | 1 MUERTAS | 0.059                 | -0.358              | 0.000                 | 0.363           | 0.000      | 0.000     | -0.000    |
| Max rZ | 13   | 3 D + L   | -0.004                | -5.492              | 0.000                 | 5.492           | 0.000      | 0.000     | 0.004     |
| Min rZ | 5    | 3 D + L   | 0.007                 | -8.868              | 0.000                 | 8.868           | 0.000      | 0.000     | -0.004    |
| Max Rs | 7    | 3 D + L   | 0.017                 | -9.907              | 0.000                 | 9.907           | 0.000      | 0.000     | 0.004     |

Figura 19 Esquema Cercha Ideal. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

Se obtiene una deformación vertical máxima inferior a 10 mm.

Para elementos muy susceptibles de daño por deformaciones:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{600} \quad [L \text{ en mm}]$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{4710}{600} = 7.85 \text{ mm} < 9.907 \text{ mm}$$

### Caso Crítico

**Tabla 3**

*Caso Critico - Mecanismo de Falla.*

| Factor                       | Valor      |
|------------------------------|------------|
| Módulo de Young Longitudinal | 4435 MPa   |
| Relación de Poisson          | 0.30       |
| Módulo de Corte o de Rigidez | 177.40 MPa |

Fuente: Elaboracion Propia.

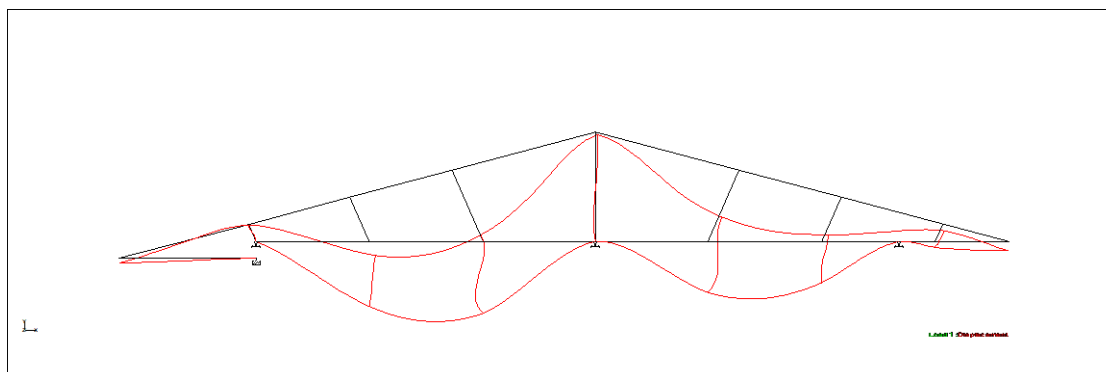


Figura 20 Deformaciones Verticales por Carga Muerta - Escala 20 mm/m. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

| CERCHA 2 - Crítico - Node Displacements: |      |           |                       |                     |                       |                 |            |           |           |
|------------------------------------------|------|-----------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|------------|-----------|-----------|
| Summary                                  |      |           |                       |                     |                       |                 |            |           |           |
|                                          | Node | L/C       | Horizontal<br>X<br>mm | Vertical<br>Y<br>mm | Horizontal<br>Z<br>mm | Resultant<br>mm | Rotational |           |           |
|                                          |      |           |                       |                     |                       |                 | rX<br>rad  | rY<br>rad | rZ<br>rad |
| Max X                                    | 8    | 1 MUERTAS | 7.940                 | -23.147             | 0.000                 | 24.471          | 0.000      | 0.000     | 0.005     |
| Min X                                    | 16   | 1 MUERTAS | -4.742                | -16.812             | 0.000                 | 17.468          | 0.000      | 0.000     | -0.002    |
| Max Y                                    | 2    | 1 MUERTAS | 0.000                 | 0.000               | 0.000                 | 0.000           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Min Y                                    | 7    | 1 MUERTAS | 0.043                 | -25.651             | 0.000                 | 25.651          | 0.000      | 0.000     | 0.009     |
| Max Z                                    | 1    | 1 MUERTAS | 0.158                 | -1.640              | 0.000                 | 1.648           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Min Z                                    | 1    | 1 MUERTAS | 0.158                 | -1.640              | 0.000                 | 1.648           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Max rX                                   | 1    | 1 MUERTAS | 0.158                 | -1.640              | 0.000                 | 1.648           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Min rX                                   | 1    | 1 MUERTAS | 0.158                 | -1.640              | 0.000                 | 1.648           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Max rY                                   | 1    | 1 MUERTAS | 0.158                 | -1.640              | 0.000                 | 1.648           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Min rY                                   | 1    | 1 MUERTAS | 0.158                 | -1.640              | 0.000                 | 1.648           | 0.000      | 0.000     | 0.000     |
| Max rZ                                   | 13   | 1 MUERTAS | -0.011                | -14.662             | 0.000                 | 14.662          | 0.000      | 0.000     | 0.011     |
| Min rZ                                   | 5    | 1 MUERTAS | 0.018                 | -23.238             | 0.000                 | 23.238          | 0.000      | 0.000     | -0.011    |
| Max Rs                                   | 7    | 1 MUERTAS | 0.043                 | -25.651             | 0.000                 | 25.651          | 0.000      | 0.000     | 0.009     |

Figura 21 Esquema Cercha Caso Crítico. Fuente: Elaboración propia con Software STAAD.Pro Design of the Structure.

Se obtiene una deformación vertical máxima inferior a 10 mm.

Para elementos muy susceptibles de daño por deformaciones:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{600} \quad [L \text{ en mm}]$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{4710}{600} = 7.85 \text{ mm} < 25.651 \text{ mm}$$

## Propuesta de Intervención

Para la reconstrucción de estos soportes con gran valor patrimonial se propone se realice el diseño y montaje del siguiente elemento estructural.

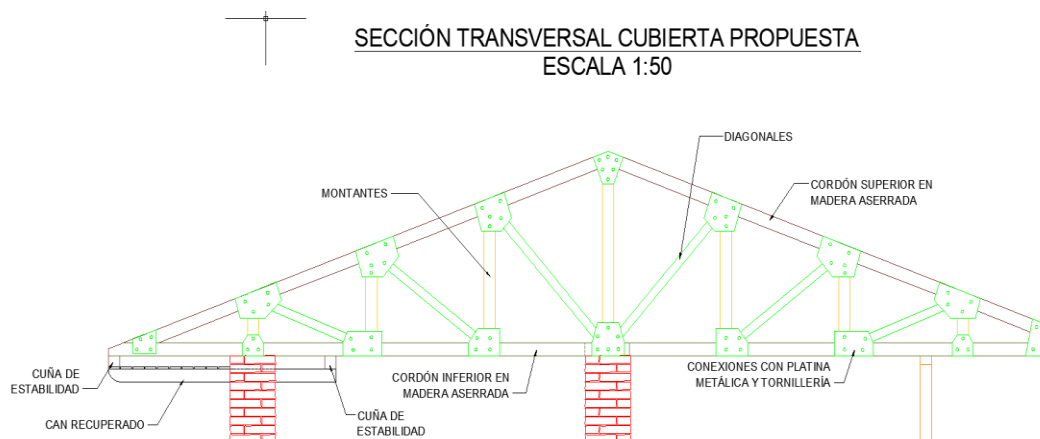


Figura 22 Sección Transversal Cubierta Existente-Piezas. Fuente: Elaboración Propia AutoCAD.

La propuesta debe incluir lo siguiente:

- Regularización de todas las piezas. Estas deben ser aserradas.
- Generación de una cercha con triángulos bien definidos.
- Uniones en todos los nudos con platinas metálicas y tornillería de acero.
- La sección transversal del cordón superior e inferior es la misma.
- Se recuperará el can como elemento de contribución arquitectónica, mas no como elemento de soporte.
- Se mantendrán los tres apoyos intermedios con sus respectivas conexiones a las cerchas, garantizando que existan nudos (montantes, diagonales y cordón inferior) coincidentes en esta localización.
- Las cerchas deben tener correas o elementos perpendiculares de estabilidad contra el pandeo lateral en especial del cordón superior.

- El análisis y diseño estructural debe ser realizado por un especialista.

**Tabla 4**  
*Cargas de Cubierta*

| <b>Cargas Muertas</b> |                        |
|-----------------------|------------------------|
| Peso Propio *         |                        |
| Teja de Barro         | 0,80 kN/m <sup>2</sup> |
| Tablilla              | 0,10 kN/m <sup>2</sup> |
| Machimbre             | 0,48 kN/m <sup>2</sup> |
| Polines               | 0,50 kN/m <sup>2</sup> |
| Acabado               | 0,06 kN/m <sup>2</sup> |
| Instalaciones         | 0,15 kN/m <sup>2</sup> |
| Total                 | 2,09 kN/m <sup>2</sup> |
| <b>Cargas Vivas</b>   |                        |
| Total                 | 0,35 kN/m <sup>2</sup> |

Fuente: Elaboracion Propia.

## Presupuesto

**Tabla 5**  
*Costo Arquitecto con Experiencia en Inmuebles Patrimoniales*

| <b>Patrimonio</b>                    | <b>Valor</b>  |
|--------------------------------------|---------------|
| Gastos Administrativos               | \$ 500.000    |
| Gastos Operativos                    | \$1.050.000   |
| Gastos Personal                      | \$1.000.000   |
| MPA (Años de Experiencia Especifica) | Multiplicador |
| >10                                  | 4             |
| Honorario Base                       | 10.200.000    |
| Duración del Proyecto (en Meses)     | 3             |
| Imprevistos (%)                      | 8%            |
| Utilidad (%)                         | 6%            |
| Honorarios Antes de Impuesto         | 32.028.000    |
| I.V.A. (19% del Honorario)           | 6.085.320     |
| Total, Honorarios más IVA            | 38.113.320    |

Fuente: Aplicativo de la Sociedad Colombiana de Arquitectos.

**Tabla 6**  
*Costos Profesionales*

| Categoría | Formación                                                        | Rango meses | Valor 2017 Sin IVA |          | Valor 2017 Con IVA |           | Valor 2018 Sin IVA |          | Valor 2018 Con IVA |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|----------|--------------------|-----------|
|           |                                                                  |             | Desde              | Hasta    | Desde              | Hasta     | Desde              | Hasta    | Desde              | Hasta     |
| <b>A</b>  | Profesional con Maestría                                         | 49          | 7.958.73           | 8.590.87 | 9.470.89           | 10.223.13 | 8.285.04           | 8.943.09 | 9.859.20           | 10.642.28 |
|           | Profesional con Especialización                                  | 61          | 5                  | 3        | 5                  | 9         | 3                  | 9        | 1                  | 8         |
| <b>B</b>  | Profesional con Maestría                                         | 44          | 7.387.86           | 7.958.73 | 8.791.56           | 9.470.892 | 7.690.77           | 8.285.04 | 9.152.01           | 9.859.199 |
|           | Profesional con Especialización                                  | 56          | 9                  | 3        | 4                  |           | 1                  | 1        | 8                  |           |
| <b>C</b>  | Profesional con Especialización                                  | 46          | 6.415.58           | 7.387.86 | 7.634.54           | 8.791.562 | 6.678.62           | 7.690.77 | 7.947.56           | 9.152.016 |
|           | Profesional con Especialización                                  | 36          | 4                  | 7        | 5                  |           | 3                  | 0        | 1                  |           |
| <b>E</b>  | Profesional con Especialización                                  | 34          | 5.583.23           | 6.415.58 | 6.644.04           | 7.634.544 | 5.812.14           | 6.678.62 | 6.916.45           | 7.947.560 |
|           | Profesional con Especialización                                  | 28          | 1                  | 3        | 5                  |           | 4                  | 2        | 1                  |           |
| <b>G</b>  | Profesional con Especialización                                  | 34          | 5.210.71           | 5.583.23 | 6.200.75           | 6.644.044 | 5.424.35           | 5.812.14 | 6.454.98           | 6.916.449 |
|           | Profesional con Especialización                                  | 22          | 8                  | 0        | 4                  |           | 7                  | 2        | 5                  |           |
| <b>I</b>  | Profesional con Especialización                                  | 28          | 4.498.10           | 5.210.71 | 5.352.74           | 6.200.753 | 4.682.52           | 5.424.35 | 5.572.20           | 6.454.983 |
|           | Profesional con Especialización                                  | 22          | 2                  | 6        | 1                  |           | 4                  | 6        | 4                  |           |
| <b>K</b>  | Profesional con Especialización                                  | 16          | 3.966.53           | 4.498.10 | 4.720.17           | 5.352.740 | 4.129.16           | 4.682.52 | 4.913.70           | 5.572.202 |
|           | Profesional con Especialización                                  | 30          | 6                  | 1        | 7                  |           | 4                  | 3        | 5                  |           |
| <b>L</b>  | Profesional                                                      | 30          | 2.916.52           | 3.966.53 | 3.470.66           | 4.720.176 | 3.036.10           | 4.129.16 | 3.612.95           | 4.913.703 |
|           | Profesional                                                      | 24          | 3                  | 5        | 2                  |           | 0                  | 2        | 9                  |           |
| <b>M</b>  | Profesional                                                      | 30          | 2.706.34           | 2.916.52 | 3.220.55           | 3.470.660 | 2.817.30           | 3.036.09 | 3.352.59           | 3.612.957 |
|           | Profesional                                                      | 24          | 7                  | 1        | 3                  |           | 7                  | 9        | 6                  |           |
| <b>N</b>  | Profesional                                                      | 24          | 2.374.81           | 2.706.34 | 2.826.02           | 3.220.552 | 2.472.18           | 2.817.30 | 2.941.89           | 3.352.594 |
|           | Profesional                                                      | 0           | 5                  | 6        | 9                  |           | 2                  | 6        | 7                  |           |
| <b>O</b>  | Profesional                                                      | 0           | 2.043.28           | 2.374.81 | 2.431.50           | 2.826.027 | 2.127.05           | 2.472.18 | 2.531.19           | 2.941.894 |
|           | Profesional                                                      | 3           | 1                  | 2        | 4                  |           | 6                  | 0        | 6                  |           |
| <b>P</b>  | Técnico profesional o                                            | 3           | 1.999.16           | 2.043.28 | 2.379.00           | 2.431.503 | 2.081.12           | 2.127.05 | 2.476.54           | 2.531.195 |
|           | Aprobación de tres (3) años de educación superior                | 12          | 2                  | 0        | 3                  |           | 8                  | 4        | 2                  |           |
| <b>Q</b>  | Experiencia en Conducción y Conocimientos en Mecánica Automotriz | 20          | 1.511.91           | 1.999.16 | 1.799.17           | 2.379.002 | 1.573.90           | 2.081.12 | 1.872.94           | 2.476.541 |
|           | Experiencia en Conducción y Conocimientos en Mecánica Automotriz | 25          | 4                  | 1        | 7                  |           | 2                  | 7        | 4                  |           |
| <b>R</b>  | Bachiller                                                        | 25          | 1.622.95           | 1.673.37 | 1.931.31           | 1.991.314 | 1.689.49           | 1.741.98 | 2.010.49           | 2.072.958 |
|           | Bachiller                                                        | 20          | 0                  | 3        | 1                  |           | 1                  | 1        | 4                  |           |
| <b>S</b>  | Bachiller                                                        | 20          | 1.511.91           | 1.622.94 | 1.799.17           | 1.931.309 | 1.573.90           | 1.689.49 | 1.872.94           | 2.010.493 |
|           | Bachiller                                                        | 5           | 4                  | 9        | 7                  |           | 2                  | 0        | 4                  |           |
| <b>T</b>  | Bachiller                                                        | 5           | 1.239.40           | 1.511.91 | 1.474.89           | 1.799.176 | 1.290.22           | 1.573.90 | 1.535.36           | 1.872.942 |
|           | Bachiller                                                        | 0           | 9                  | 3        | 7                  |           | 5                  | 1        | 7                  |           |
| <b>U</b>  | 4 años Educación Secundaria                                      | 0           | 1.126.67           | 1.239.40 | 1.340.73           | 1.474.895 | 1.172.86           | 1.290.22 | 1.395.70           | 1.535.366 |
|           | 4 años Educación Secundaria                                      |             | 1                  | 8        | 8                  |           | 4                  | 4        | 9                  |           |

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura – ANI (Ministerio de Transporte Colombia, 2020)

**Tabla 7**  
*Presupuesto General*

| Ítem          | Descripción                                                                                                                    | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total    |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|----------------|----------------|
| 1             | Director de Proyecto                                                                                                           | Mes    | 2        | \$ 10.642.288  | \$ 21.284.576  |
| 2             | Arquitecto Restaurador<br>(incluye equipo de trabajo,<br>administración y viáticos)                                            | Mes    | 3        | \$ 12.704.440  | \$ 38.113.320  |
| 3             | Ingeniero Estructural                                                                                                          | Mes    | 1        | \$ 10.642.288  | \$ 10.642.288  |
| 4             | Ingeniero Civil Auxiliar (2)                                                                                                   | Mes    | 4        | \$ 3.612.957   | \$ 14.451.828  |
| 5             | Dibujante                                                                                                                      | Mes    | 2        | \$ 2.531.195   | \$ 5.062.390   |
| 6             | Ingeniero Geotecnista                                                                                                          | Mes    | 0,5      | \$ 10.642.288  | \$ 5.321.144   |
| 7             | Perforación con Barreno<br>Manual                                                                                              | ml     | 18       | \$ 75.000      | \$ 1.350.000   |
| 8             | Línea de Refracción Sísmica                                                                                                    | Un     | 2        | \$ 1.450.000   | \$ 2.900.000   |
| 9             | Laboratorio de Geotecnia<br>(ensayos de clasificación,<br>resistencia y deformabilidad)                                        | Gl     | 1        | \$ 2.300.000   | \$ 2.300.000   |
| 10            | Levantamiento Topográfico<br>(planimetría, altimetría,<br>secciones, fachadas e<br>inventario estructural y<br>arquitectónico) | Gl     | 1        | \$ 4.800.000   | \$ 4.800.000   |
| 11            | Investigación y Ensayos a la<br>Estructura                                                                                     | Gl     | 1        | \$ 5.000.000   | \$ 5.000.000   |
| 12            | Diseño Hidrosanitario y de<br>Aguas Lluvias                                                                                    | Gl     | 1        | \$ 5.321.144   | \$ 5.321.144   |
| 13            | Diseño Eléctrico                                                                                                               | Gl     | 1        | \$ 5.321.144   | \$ 5.321.144   |
| Costo Directo |                                                                                                                                |        |          |                | \$ 121.867.834 |
| IVA (19%)     |                                                                                                                                |        |          |                | \$ 23.154.888  |
| Costo Total   |                                                                                                                                |        |          |                | \$ 145.022.722 |

Fuente: Elaboración propia.

### ***Análisis de Costos***

Los valores unitarios de los profesionales propuestos en el anterior presupuesto son basados los costos propuestos por entidades gubernamentales y no gubernamentales, tales como la Sociedad Colombiana de Arquitectos (SCA) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

La cantidad de profesionales y sus calidades fueron seleccionadas teniendo en cuenta la dificultad e importancia del proyecto de restauración, que exige la participación de individuos con una alta experiencia en valoración, reforzamiento y rehabilitación de inmuebles patrimoniales, apoyados por otros profesionales de no tan alta capacidad y experiencia.

El anterior costo total es de manera informativa y deberá ser revisado y validado por un profesional en ingeniería o arquitectura con experiencia en análisis de presupuestos y programación de consultorías y obras.

### **Programación**

A continuación, se presenta programación de intervención propuesta en este documento para La Casa de La Cultura La Palma Cundinamarca.

Anexo H Programación Propuesta de Intervención Casa de La Cultura La Palma Cundinamarca

### **Conclusiones**

- Este estudio patológico determina que existen dos problemas principales en esta edificación patrimonial. El primero es un colapso parcial de un sector de la construcción, compuesto principalmente por materiales estructurales de adobe y de madera, y el segundo es la pésima calidad constructiva de los demás sectores, compuestos principalmente por materiales estructurales de adobe, concreto reforzado, metal y mampostería de arcilla.
- El colapso parcial de la edificación se debe en primer lugar a una falta de mantenimiento preventivo contra las humedades y goteras en la cubierta, que generó una lesión importantísima en el estado de los tensores inferiores de la estructura de cubierta en madera, degradando su módulo de corte hasta fallar el elemento y por consiguiente la caída de parte del techo, generando una sobrecarga inmediata en el entrepiso de madera, que también colapsó. En segundo lugar, la acción de personal inexperto en construcciones realizó labores de retiro de elementos de resistencia a cargas verticales (muros de adobe), sin ninguna clase de análisis o supervisión, ocasionando la aparición inmediata de esfuerzos de flexión y de corte en los elementos remanentes, los cuales no alcanzan a disiparlos, iniciando otros mecanismos de falla.
- La construcción de ampliaciones en edificaciones patrimoniales requiere la aplicación del arte y la técnica con experiencia, que logren respetar las concepciones arquitectónicas iniciales, ya convertidas en valores históricos de una sociedad y que garanticen la seguridad de los ocupantes y preserven el valor económico del inmueble. En el caso de La Casa de La Cultura, es evidente la falta de conocimiento y planeación de “los constructores” de la ampliación, que adicionaron espacios importantes a la

edificación original, poniendo en riesgo su estabilidad y deteriorando de manera importante e inmediata su valor cultural.

- Los muros de mampostería de adobe son elementos estructurales de baja ductilidad ante fuerzas laterales (sismo y viento), en especial si estas actúan perpendicularmente al plano principal del muro. En este caso los daños no fueron causados por la acción de movimientos telúricos, aun cuando, el municipio de La Palma se encuentra en una zona con actividad sísmica importante. El deterioro se causó por pura inestabilidad ante fuerzas gravitacionales de los elementos de madera de la cubierta, que, en su colapso, generaron esfuerzos inmediatos a los mampuestos de manera perpendicular, tumbando algunos y agrietando otros. En las zonas donde el deterioro de la cubierta no es muy avanzado, los muros de soporte de estas áreas están estables.
- El modelo estructural simplificado construido para este informe de la cubierta principal original en madera demuestra que la degradación del módulo de módulo de corte, del tensor inferior, cuando llega a valores de entre  $1/20$  a  $1/25$  del módulo de elasticidad longitudinal, para las luces y cargas analizadas, causa una deformación superior hasta en un 200% superior a la máxima permisible por reglamento NSR-10.
- Se recomienda el retiro y demolición inmediata de todas las ampliaciones realizadas sin ninguna clase de técnica en ingeniería y arquitectura, ya que atentan contra la seguridad física del inmueble y de sus vecinos. El valor histórico fue acabado con esta clase de intervenciones sin razón.
- Una forma de garantizar la estabilidad estructural de muros de mampostería de adobe no reforzados en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, en donde se exigen materiales de alta ductilidad, es la inclusión de refuerzos localizados en las zonas de

máximos esfuerzos de tensión aplicados, que son los extremos de ellos. Estos refuerzos se tensionan disminuyendo las tracciones, teniendo cuidado de no fallar los muros por compresión.

- La estructura de cubierta debe ser reemplazada por cerchas de madera tal y como se menciona en este documento, generando nudos y triángulos, en donde se apoyen las correas y sobre estas últimas el sistema de teja original. Los nudos deben ser reforzados con platinas metálicas y pernos, diseñadas por un Ingeniero Civil con experiencia.
- Es posible la recuperación del inmueble a su condición original es una labor titánica, que requiere la acción de arquitectos restauradores e ingenieros estructurales de alta experiencia que propongan métodos de construcción modernos que garanticen la consecución nuevamente del valor histórico y la estabilidad de la edificación.

### **Recomendaciones**

- Es posible la recuperación del inmueble a su condición original es una labor titánica, que requiere la acción de arquitectos restauradores e ingenieros estructurales de alta experiencia que propongan métodos de construcción modernos que garanticen la consecución nuevamente del valor histórico y la estabilidad de la edificación.
- La valoración de las hojas de vida de los profesionales a involucrar en el proyecto de consultoría es el ítem más importante por encima del factor económico. Los arquitectos e ingenieros civiles seleccionados para estos menesteres deben certificar la realización de estudios en proyectos similares que efectivamente se hayan construido y que no hayan quedado exclusivamente en el papel.
- La restauración y rehabilitación se debe hacer teniendo como objetivo la recuperación del valor histórico, la seguridad de sus ocupantes y la estabilidad post sismo de la edificación, recordando que nunca se va a lograr tener un nivel de desempeño igual o superior al de un proyecto nuevo.

## Bibliografía

- Arana, J., & Gonzalez, J. (2013). *Mecanica de Fracturas*. España: Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzura.
- Asociacion Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Derivados de la Arcilla Colombia. (2007). *Manuales Tecnicos*. Bogota: Instituto Colombiano de la Arcilla.
- Broto, C. (2006). *Patologia de los Materiales*. Bogota: Coordinacion Editorial Pilar Chueca.
- Consejo Municipal la Palma. (2013). Acuerdo No. 013. *EOT Esquema de Ordenamiento Territorial* (pág. 28). La Palma: Alcaldia Cundinamarca.
- Corradine, A. (2008). *Consideraciones Sobre la Arquitectura Colonial*. Zipaquira- Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Del Rio, A. (2008). *Patologia Reparacion y Refuerzo de Estructuras de Hormigon Armado de Edificacion*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Fondo de Prevencion y Atencion de Emergencias - FOPAE. (2011). *Guia de Patologias Constructivas, Estructurales y no Estructurales*. Bogota: Asociacion Colombiana de Ingenieria Sismica- AIS.
- Gomez, J., & Almanza, M. (2015). *Copilando la Geologia de Colombia* . Colombia: Ministerio de Minas y Energia.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (2000). *Manual de Diseño de Maderas del Grupo Andino*. Cartagena: Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnologico.
- NRS-10, R. C. (2010). *Colombia Patente nº Tablas A.2.4-1, A.2.4-3, A.2.4*.
- NSR-10. (2010). *Titulo A*. Colombia: A.2.4-1, A.2.4-3, A.2.4.4.
- Pedro, C. F., & Candiotti, I. (1986). *Estudio Sismico Esperimental de Muros de Adobe* . Lima-Peru: Universidad Nacional de Ingenieria.

Rodriguez Rodriguez, V. (2004). *Manual de la Patologia de la Edificacion*. Madrid-España:

Universidad Politecnica de Madrid.

Rodriguez, J. (1998). *Patologia de la Madera*. Bogota: Mundi Prensa.

Sanchez, C. (2007). Colombia, Procesos y Culturas Constructivas. *Apuntes Vol 20*, 242-374.

Tovar, A. (2016). *La Palma Responsabilidad de Todos*. La Palma Cundinamarca: Municipio La Palma.