



# Universidad **Mariana**

Análisis de vulnerabilidad sísmica del templo de Ancuya Nariño

Diana Sofia Acosta Benavides

Brayan Alexis Cadena Cepeda

Sara Isabela Melo Castillo

Yelifer Guadalupe Realpe Bolaños

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería civil

San Juan de Pasto

2023

Análisis de vulnerabilidad sísmica del templo de Ancuya Nariño

Diana Sofia Acosta Benavides  
Brayan Alexis Cadena Cepeda  
Sara Isabela Melo Castillo  
Yelifer Guadalupe Realpe Bolaños

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero civil

Asesora

Mg. Dayanna Nathaly Diaz Rosero

Co-asesor

Mg. Edwar Armando Basante Bolaños

Universidad Mariana  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería civil  
San Juan de Pasto  
2023

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007  
Universidad Mariana

Nota De Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del jurado

---

Firma jurado

---

Firma jurado

San Juan De Pasto, Noviembre del 2023

## **Agradecimientos**

En este momento de culminación de nuestro trabajo de grado, deseamos expresar nuestra más profunda gratitud a las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta tesis. Sin su apoyo, orientación y colaboración, este logro no habría sido posible.

Primero y, ante todo, deseamos agradecer a Dios por guiarnos y brindarnos la fuerza necesaria para completar esta trascendental etapa de nuestras vidas.

A nuestros padres, quienes con amor y sacrificio nos brindaron la oportunidad de estudiar esta grandiosa carrera, les agradecemos por su constante apoyo y por ser nuestra inspiración. Nuestro agradecimiento se extiende a Oscar Melo Rodriguez, Patricia Castillo Narváez, Dolma Bolaños Gómez, Edimer Realpe Rubio, Ana Lucía Benavides Bastidas, Oswald Favian Acosta Santander, Fabio Fredy Cadena Cumbalaza y Sandra Magali Cepeda Mueses.

A nuestra asesora, la Mg. Dayanna Nathaly Díaz Rosero, y nuestro co-asesor, el Mg. Edwar Armando Basante Bolaños, les agradecemos por su guía experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de la investigación. Un agradecimiento especial al Ing. Msc William Castillo Valencia, cuyos conocimientos en arquitectura patrimonial enriquecieron significativamente nuestro trabajo de grado. Igualmente, expresamos nuestra gratitud al Arq. Msc William Pasuy Arciniegas y al Ing. Jhon Jairo Campo por sus valiosos aportes y orientación en nuestro proceso de investigación.

A todos los profesores, amigos y familiares que de alguna manera contribuyeron a este logro, les estamos profundamente agradecidos. Sus palabras de aliento y apoyo fueron un motor constante en nuestro viaje académico.

Este logro es un tributo a la colaboración y dedicación de cada una de estas personas. Gracias por ser parte fundamental de nuestro éxito.

## Contenido

	<b>Pag.</b>
Introducción	15
1. Resumen del proyecto	17
<i>1.1. Descripción del problema</i>	<i>17</i>
1.1.1. Formulación del problema	18
<i>1.2. Justificación</i>	<i>19</i>
<i>1.3. Objetivos</i>	
<i>19</i>	
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
<i>1.4. Marco referencial</i>	<i>20</i>
1.4.1. Marco contextual	20
1.4.2. Marco teórico	21
1.4.2.1. Evaluación sísmica.	21
1.4.2.2. Inspección e identificación de patologías.	25
1.4.2.3. Modelación y evaluación estructural.	31
<i>1.5. Estado del Arte</i>	<i>50</i>
1.5.1. Investigaciones vulnerabilidad sísmica y criterios de diseño	51
1.5.2. Sistema constructivo en tierra	52
<i>1.6. Descripción de la investigación</i>	<i>53</i>
1.6.1. Campo de investigación	53
1.6.2. Tipo de investigación	54
1.6.3. Enfoque de investigación	54
1.6.4. Diseño de la metodología	54
1.6.5. Hipótesis	
54	
1.6.6. Variables	56

<i>1.7. Metodología</i>	57
1.7.1. Actividades a desarrollar por objetivo específico	57
1.7.1.1. Actividades a desarrollar del objetivo específico 1.	57
1.7.1.2. Actividades a desarrollar del objetivo 2.	60
1.7.1.3. Actividades a desarrollar del objetivo específico 3.	61
2. Presentación de resultados	62
<i>2.1 Análisis e interpretación de resultados</i>	62
2.1.1. Análisis del primer objetivo.	62
2.1.1.1. Visita preliminar directa de las patologías.	62
2.1.1.2. Inspecciones directas de la patología del templo.	63
2.1.1.2.1. Lesiones externas e internas.	66
2.1.1.3. Recolección de información del proceso constructivo del Templo (historia clínica).	73
2.1.1.4. Levantamiento arquitectónico de la edificación.	76
2.1.1.5. Clasificación de lesiones y agentes causantes.	76
2.1.1.6. Elaboración de fichas patológicas.	82
2.1.1.7. Mapa de lesiones.	83
2.1.1.7.1. Mapa de lesiones en la cubierta	85
2.1.1.7.2. Mapa de lesiones de la torre de campanario.	88
2.1.1.8. Realización del ensayo no destructivo con FerroScan.	90
2.1.1.9. Exploraciones físicas con calas.	94
2.1.1.9.1. Localización de lecturas.	95
2.1.1.9.2. Resultados.	98
2.1.1.10. Ensayos de laboratorio.	101
2.1.1.10.1. Extracción de muretes.	101
2.1.1.10.2. Extracción de piezas individuales que se obtuvo del templo.	105
2.1.1.10.3. Estudio de suelos.	106
2.1.2. Análisis del segundo objetivo	110
2.1.2.1. Método de los elementos finitos en modelos conjugados.	115
2.1.2.2. Parámetros de evaluación estructural del Templo Nuestra Señora de la Visitacion.	119
2.1.2.2.1. Cargas.	119

2.1.2.3. Macro elementos.	123
2.1.2.4. Derivas.	125
2.1.2.5. Numero de modos de vibración.	130
2.1.2.6. Análisis de la bóveda cañón longitudinal.	132
2.1.2.7. Análisis de la nave lateral izquierda.	135
2.1.2.8. Análisis de la nave lateral derecha.	137
2.1.3. Análisis tercer objetivo	138
3. Conclusiones	168
4. Recomendaciones	171
Referencias	172
Anexos	177

## Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Derivas máximas como porcentaje de hpi	34
Tabla 2 Elementos esenciales del Templo de Ancuya Nariño	46
Tabla 4 Matriz de la planeación del proyecto	54
Tabla 5 Variables	56
Tabla 6 Tipologías de las lesiones y agentes causantes	58
Tabla 7 Registro fotográfico asesoramiento y uso del FerroScan	62
Tabla 8 Inspecciones directas de la patología del templo	64
Tabla 9 Cubierta Bóveda	66
Tabla 10 Cubierta	68
Tabla 11 Fachadas	69
Tabla 12. Zona interna de la nave	70
Tabla 13 Zona interna	71
Tabla 14 Campanario	72
Tabla 15 Clasificación de lesiones	77
Tabla 16 Resultados FerroScan	91
Tabla 17 Registro fotográfico extracción de murete	103
Tabla 18 Registro fotográfico de extracción de piezas individuales	105
Tabla 19 Descripción e identificación de los diferentes estratos del subsuelo	107
Tabla 20 Análisis de carga muerta cuerpo #1	120
Tabla 21 Análisis de carga muerta cuerpo #2	120
Tabla 22 <i>Análisis de carga muerta cuerpo #3</i>	120
Tabla 23 Carga de suelo interacción suelo estructura	121
Tabla 24 Espectro para evaluación de derivas datos de calculo	123
Tabla 25 Espectro grupo Uso 2- Evaluación-Datos de cálculo	124
Tabla 26 Modos de vibración y periodos de frecuencia	130
Tabla 27 Solución a patologías presentadas en el Templo	140

Tabla 28 Consolidación con clavos estructurales	154
Tabla 29 Consolidación templete	161
Tabla 30.	164
Tabla 31 Consolidación en el campanario	166

## Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1 Templo de Ancuya Nariño.....	21
Figura 2 Demostración de derivas.....	34
Figura 3 Modos de vibración de un edificio.....	35
Figura 4 Techo de madera.....	36
Figura 5 Techo de madera.....	37
Figura 6 Arco medio punto .....	38
Figura 7 Empuje horizontal.....	38
Figura 8 Solución al empuje horizontal .....	39
Figura 9 Forma de una bóveda cañón .....	40
Figura 10 Arcos con piedra o mampuestos de ladrillos .....	41
Figura 11 Bóveda de aristas con empuje en un marco .....	42
Figura 12 Bóveda de arcos apuntados.....	43
Figura 13 Distribución de cargas en un contrafuerte con pináculo.....	44
Figura 14 Distribución de cargas en un arbotante.....	45
Figura 15 Teatro Imperial.....	51
Figura 16 Línea del tiempo (Historia del santuario de nuestra señora de la visitación) .....	74
Figura 17 Ficha patológica modelo.....	82
Figura 18 Convenciones mapa de lesiones.....	85
Figura 19 Mapa de lesiones en la nave principal .....	86
Figura 20 Mapa de lesiones en la bóveda central.....	86
Figura 21 Mapa de lesiones en la bóveda derecha .....	87
Figura 22 Mapa de lesiones en la bóveda izquierda.....	88
Figura 23 Mapa de lesiones en la torre del campanario.....	89
Figura 24 Planta de cubierta- santuario nuestra señora de la visitación.....	97
Figura 25 Fachada posterior- santuario nuestra señora de la visitación.....	98
Figura 26 Convenciones de materialidad del Templo.....	100

Figura 27 Localización extracción de núcleos .....	102
Figura 28 Registro fotográfico perforación P-1 .....	108
Figura 29 Registro fotográfico perforación P-2 .....	108
Figura 30 Registro fotográfico perforación P-3 .....	109
Figura 31 Registro fotográfico perforación P-3 .....	109
Figura 32 Registro fotográfico apique A-1 .....	110
Figura 33 Registro fotográfico apique A-4 .....	110
Figura 34 evaluación estructural del templo Nuestra Señora de la Visitación de Ancuya .....	111
Figura 35 Sistema dinámico por cuerpos .....	112
Figura 36 Sistema estructural de la nave central y lateral del segundo cuerpo.....	113
Figura 37 Sistema estructural cúpula central del crucero del tercer cuerpo.....	113
Figura 38 Contrafuertes laterales en mampuestos con argamasa de calicanto.....	114
Figura 39 Desarrollo vectorial de cargas.....	115
Figura 40 Características físico mecánicas de control de mampostería .....	116
Figura 41 Isometría del templo de Ancuya Nariño .....	117
Figura 42 Modelo de la estructura en elementos finitos (FEA)-Templo de Ancuya Nariño .....	118
Figura 43 Actualización del modelo de la estructura en elementos finitos (FEA)-Templo de Ancuya Nariño .....	118
Figura 44 Actualización del modelo de la estructura en elementos finitos (FEA) discretizado- Templo de Ancuya Nariño .....	119
Figura 45 Espectro de diseño con $I=1.00$ .....	124
Figura 46 Espectro de diseño $I=1.10$ .....	125
Figura 47 Diagrama de desplazamientos para el sismo SXY .....	126
Figura 48 Diagrama de desplazamientos para el sismo SXY .....	127
Figura 49 Evaluación de derivas, desplazamientos para el sismo SXY .....	129
Figura 50 Templo de Ancuya Nariño sin discretizar .....	131
Figura 51 Templo de Ancuya Nariño discretizado .....	132
Figura 52 Actualización del Modelo de la estructura en elementos finitos (FEA) .....	133
Figura 53 Deformación por peso propio por acción gravitacional.....	134
Figura 54 Actualización del Modelo de la estructura en elementos finitos (FEA) .....	135
Figura 55 Deformación por peso propio por acción gravitacional nave lateral izquierda .....	136

Figura 56 Deformación por peso propio por acción gravitacional nave lateral derecha.....137

## **Índice de Apéndices**

	Pág.
Anexo A Planos arquitectónicos .....	177
Anexo B Informe de resultados FerroScan .....	178
Anexo C Fichas patológicas.....	179
Anexo D Mapa de lesiones.....	180
Anexo E Materialidad del Templo de Ancuya.....	181
Anexo F Ensayos de laboratorio .....	182
Anexo G Modos de vibración sin discretizar .....	183
Anexo H Deformación del peso propio por acción gravitacional .....	184
Anexo I Consolidación estructural.....	185

## **Introducción**

El Templo de Ancuya, una pieza arquitectónica que irradia historia y cultura, se alza como un legado invaluable en nuestra región, su esplendor y significado cultural lo convierten en un patrimonio de incalculable valor, que requiere una atención minuciosa en términos de conservación y protección (Smith, 2018). En este contexto, este estudio se enfoca en un análisis exhaustivo de la vulnerabilidad del Templo de Ancuya, empleando estrategias de estudio que incluyen la evaluación del suelo, la estructura y la patología.

En primer lugar, la evaluación del suelo proporciona una base sólida para comprender la fundación del templo. El tipo de suelo sobre el cual se asienta el templo es crucial para determinar su capacidad de carga y respuesta ante eventos sísmicos (Gonzales, 2016). Durante este estudio, se identificó el tipo de suelo específico que sustenta la estructura, lo que arroja luz sobre su comportamiento ante posibles movimientos telúricos.

En cuanto a la estructura del templo, se revela un interesante contraste ya que en gran parte del edificio está construido con mampostería, lo que refleja la maestría arquitectónica de la época en que fue erigido. Sin embargo, se ha observado que, en algunas secciones, como el campanario, se incorpora acero, una adición que puede tener implicaciones significativas en la resistencia estructural y la vulnerabilidad ante sismos (Hernandez, 2019).

En el ámbito de la patología, se han identificado diversas anomalías que requieren atención inmediata. Problemas como la humedad, grietas y fisuras son evidentes y comprometen tanto la integridad como la estética del templo (Rodriguez, 2021). Estas irregularidades son un reflejo de los desafíos a los que se enfrenta el edificio con el tiempo y la exposición a condiciones climáticas y ambientales adversas (Perez, 2018).

De esta manera, este estudio multidisciplinario se propone no solo preservar el valor histórico y arquitectónico del Templo de Ancuya, sino también abordar específicamente los desafíos que plantean los suelos, la estructura y la patología. Al comprender a fondo estas áreas de

vulnerabilidad, se buscarán soluciones óptimas que aseguren la conservación y protección de esta joya arquitectónica para las generaciones futuras.

## **1. Resumen del proyecto**

En el municipio de Ancuya, ubicado en el departamento de Nariño, existe un templo reconocido por su gran valor cultural, religioso y arquitectónico, a causa de su extenso periodo de uso desde 1920 hasta la actualidad, se ha evidenciado el deterioro en su parte estructural, siendo un riesgo para la comunidad y para la conservación de este patrimonio arquitectónico.

El propósito fundamental de este estudio consiste en analizar la vulnerabilidad del templo de Ancuya, desarrollando una propuesta de consolidación estructural que asegure la preservación de su valor arquitectónico. Esta propuesta busca garantizar la integridad de las personas y del patrimonio edificado.

En el presente trabajo, se llevó a cabo una exhaustiva investigación de campo que arroja resultados cuantitativos. Inicialmente, se realizó un análisis visual para identificar los elementos estructurales más afectados y una evaluación patológica general. Posteriormente, se empleó el FerroScan como ensayo no destructivo para la medir la dureza y detectar presencias de acero presente en la cubierta. Combinando exploraciones físicas y ensayos de laboratorio, que genero información esencial que contribuyo significativamente a la creación de un estudio de vulnerabilidad. Como resultado, se obtuvo una clara perspectiva sobre la consolidación estructural necesaria en el templo de Ancuya.

**Palabras clave:** análisis, consolidación estructural, patrimonio inmueble, elementos estructurales, vulnerabilidad.

### **1.1. Descripción del problema**

El templo de Ancuya construido en el año 1920 e inaugurado en el año 1935, ha sufrido varios eventos (sismos, deslizamientos, explosiones, etc.). En donde se han desarrollado varias patologías a nivel estructural hasta el presente año, afectando de forma directa un patrimonio arquitectónico religioso.

El estado patológico juega un papel importante a la hora de realizar un análisis de vulnerabilidad. Por tal razón al caracterizar y localizar detalladamente las patologías que fustigan la edificación, tales como: la presencia de humedad, eflorescencia, grietas, corrosión, picaduras y goteras, se establece un índice que determina el estado de la conservación de la estructura (Nieves, 2015).

Debido a la ubicación geográfica del municipio de Ancuya, este se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta. Siendo uno de los factores principales del deterioro estructural del templo. Según Bonett (2003), la vulnerabilidad sísmica de una estructura se define como la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño. La falta de mantenimiento y la ausencia de técnicas de restauración adecuadas también son otros factores que intensifican la pérdida de tejido histórico (Lourenco, 2018).

Por otra parte, la estructura del campanario tiene un sistema estructural de pórticos en concreto reforzado, la cual está muy deteriorada, exponiendo a la intemperie las varillas de acero que la componen teniendo procesos de oxidación y corrosión severas. Estas dos acciones químicas se agrupan generalmente sobre los metales por ser simultáneas o sucesivas. En metales féreos, sin embargo, estas dos lesiones son suficientemente diferenciables, tanto en su proceso químico, como en sus resultados. Son dos tipos de procesos patológicos claramente químicos en los que tiene importancia, por un lado, el medio ambiente que rodea el elemento y, por otro la constitución metalúrgica del propio elemento (OM Ingeniería, 2021).

Además, el deterioro manifestado en la estructura provoca un riesgo constante para la comunidad que hace uso de este, se debe hacer un control de daños para evitar problemas. El estudio y análisis de la vulnerabilidad, hace parte del componente del análisis de riesgo en el proceso social de gestión, tiene como fin la identificación de los tipos de daños esperados en base a los posibles escenarios de amenaza (Porrás,2020).

### ***1.1.1. Formulación del problema***

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica que se presenta en el templo de Ancuya?

## **1.2. Justificación**

El templo parroquial, destacado atractivo de Ancuya, representa un valioso patrimonio cultural. Construido en honor a la virgen de la visitación, es una obra es producto de la misión de adoctrinamiento española. La imagen de la virgen fue traída en 1544 por los padres franciscanos, y añade un valor histórico a este lugar.

Se debe realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica en el templo parroquial de Ancuya, dada su importancia para la comunidad. La estructura, construida hace más de 80 años, no cumple con los requisitos sismorresistentes establecidos en el primer código colombiano de sismo resistencia de 1984. Por lo tanto, es probable que tampoco cumpla con la norma actual NSR-10.

Al realizar una evaluación de las diferentes patologías brinda la posibilidad de garantizar y prevenir que el templo no sufra daños a futuro. Es importante recalcar, que Ancuya está en actividad sísmica constante. Algunos de los principales sismos son presentados desde 1900, los cuales dos de ellos fueron muy representativos con magnitud siete (7+) o superior en la escala de sismología de Richter, cuatro sismos de magnitud seis (6), veintiún sismos con magnitud cinco (5) y siendo los más frecuentes, 128 sismos de magnitud cuatro (4).

Según, el Servicio Geológico Colombiano, Ancuya ha presentado importantes sismos en 1936 con una magnitud de 6.3 en escala de Richter y en 1995 con magnitud de 5 en escala de Richter. También, asegura que Ancuya se ubica en una zona de amenaza sísmica media por parte de movimientos sísmicos que genera el Volcán Galeras, ubicado también en el departamento de Nariño (Servicio Geologico Colombiano, 2015).

A través del reconocimiento patológico que se va a realizar en el templo de Ancuya y posteriormente el modelamiento estructural de este, se determinará el grado de vulnerabilidad sísmica presente en el mismo, con el fin de proponer un método de reforzamiento estructural a partir de los requerimientos determinados en el análisis de vulnerabilidad previamente efectuado.

Las personas del municipio de Ancuya experimentarán beneficios al salvaguardar su patrimonio religioso y cultural como un atractivo turístico. Asimismo, se realizará la consolidación conceptual de las zonas que presenten mayor grado de vulnerabilidad con el fin de brindar seguridad a la estructura existente, proporcionando confianza y seguridad.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Contribuir a la gestión del riesgo sísmico en el templo de Ancuya Nariño.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Realizar un análisis patológico, documental y experimental del estado actual del templo de Ancuya.
- Determinar el grado de vulnerabilidad sísmica, en el apoyo a la elaboración del modelo estructural
- Proponer conceptualmente un método de consolidación estructural, a partir de los requerimientos determinados en el análisis de vulnerabilidad.

### **1.4. Marco referencial**

#### ***1.4.1. Marco contextual***

El santuario de la virgen de la Visitación se encuentra ubicado en el municipio de Ancuya, el cual se encuentra al occidente del departamento de Nariño a 73 km de la ciudad de Pasto, cuenta con una altura de 1358 msnm y una temperatura de 21 °C y una población de 8304 habitantes. Limita con los municipios de Linares, Guaitarilla, Samaniego, Sandoná y Consacá. La construcción

del templo actual inicio desde el año 1920 hasta 1935. El templo tiene una construcción de tipo romántico.

El templo parroquial es uno de los mayores atractivos del municipio de Ancuya al ser patrimonio cultural, este se encuentra ubicado en el centro del municipio llamando la atención de los turistas y haciendo parte de la tradición de los habitantes por su simbología.

El principal atractivo para los turistas es el templo de la Virgen de la Visitación al estar ubicado en frente del parque principal, es visitado frecuentemente los días 1, 2 y 3 de julio debido a las fiestas patronales, en donde se hace conmemoración de la fe a la virgen.

Esta investigación tiene lugar en el templo al ser parte del patrimonio arquitectónico y cultural de la comunidad debido a su estructura y diseño.

### **Figura 1**

*Templo de Ancuya Nariño*



*Nota.* Tomado de OM Ingeniería-año 2022.

#### **1.4.2. Marco teórico**

##### **1.4.2.1. Evaluación sísmica.**

**1.4.2.1.1. Vulnerabilidad sísmica.** Magnitud que puede cuantificar el tipo de daño, modo de fallo y la capacidad resistente de una edificación en condiciones probables de un sismo. También, se define como la predisposición intrínseca a sufrir daño ante un movimiento sísmico y se asocia de una forma directa con su diseño estructural y características físicas propias (Bonett, 2003). Así mismo, está vinculada al comportamiento estructural y los mecanismos de fallo de las mismas (Aghabeigi y Farahmand-Tabar, 2021).

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica abarca tanto los elementos estructurales como los no estructurales y los componentes que conforman el mobiliario de las edificaciones. En relación con la mitigación de la vulnerabilidad sísmica, se enfoca particularmente en los edificios construidos antes de la actualización del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). En la actualidad, estos edificios presentan una vulnerabilidad considerable, sobrepasando los niveles aceptados en la normativa vigente. Por esta razón, se vuelve fundamental proceder con la reestructuración o la adecuada rehabilitación de los mismos, con el propósito de mejorar tanto su resistencia como su capacidad de deformación, al mismo tiempo que se minimiza los desplazamientos.

**1.4.2.1.2. Vulnerabilidad estructural.** Su definición guarda relación con la afectación o daño que podría experimentar un activo frente a una amenaza. Por lo general, se cuantifica en términos de porcentaje, evaluando el grado de daño o el costo necesario para restaurar la estructura afectada y devolverla a un estado similar al que poseía antes del incidente o evento (Quispe y Bily, 2018).

**1.4.2.1.3. Función de vulnerabilidad.** Aquella que define la distribución de probabilidad de pérdidas en función de la intensidad generada en un lugar específico. Según Quispe y Bily (2018), estas evaluaciones pueden realizarse mediante diversas técnicas, que incluyen:

- Estudios en los que se experimenta con los componentes estructurales sometidos a acciones externas, lo que permite identificar los posibles daños o efectos de las amenazas.
- Análisis de los componentes estructurales específicos que se exponen a acciones externas, lo que permite identificar los posibles daños o efectos de las amenazas.

- Evaluación de probabilidad del comportamiento de una estructura ante eventos sísmicos de diversas intensidades, analizando los posibles daños que podría sufrir.
- Utilización de la experiencia adquirida por expertos en la materia.

**1.4.2.1.4. Daños estructurales.** Los medios más efectivos para brindar seguridad a una estructura durante el colapso son la ductilidad y la redundancia estructural. En eventos sísmicos, el colapso generalmente resulta de la falla de un solo elemento estructural o de varios elementos estructurales con baja ductilidad y resistencia.

Es posible que se presente daño en las columnas de una estructura, manifestado en grietas diagonales causadas por cortante y/o torsión, así como grietas verticales producto de esfuerzos flexo axiales. Además, se puede presentar el pandeo en las varillas longitudinales, el aplastamiento del concreto e incluso el desprendimiento del recubrimiento de estos elementos. En el caso de las vigas, también pueden presentar grietas diagonales y el fallo de los estribos debido a cortante y/o torsión, junto con el fallo de las varillas longitudinales de refuerzo y el aplastamiento del concreto como resultado de los esfuerzos de flexión.

Al igual que los nudos de la estructura el esfuerzo a cortante, hace que aparezcan las grietas diagonales en las losas a causa del punzonamiento presentan grietas alrededor de las columnas y en la placa pueden aparecer grietas longitudinales (Quispe y Bily, 2018).

**1.4.2.1.5. Amenaza sísmica.** La respuesta del terreno ante la actividad sísmica en la zona donde se encuentra la estructura a analizar (Bonett, 2003). Este concepto alude a un peligro o factor latente en un sistema, que se expresa matemáticamente como la probabilidad de que ocurra un evento con cierta intensidad y en un sitio específico durante un período determinado. Por otro lado, la vulnerabilidad puede ser comprendida como un factor de riesgo, que indica la predisposición intrínseca a sufrir daños y se caracteriza por la exposición a una amenaza (Barbat y Pujades, 2015).

**1.4.2.1.6. Daño sísmico.** El daño sísmico se refiere al nivel de deterioro que ocurre después de un evento sísmico. En una estructura, esto se evalúa tanto a nivel global como local; en un contexto

estructural, este daño se mide a partir de la deriva del piso y se determina mediante la resistencia de los elementos estructurales.

De acuerdo con el estudio titulado "Vulnerabilidad sísmica y patológica de la institución universitaria Tecnológico de Antioquia", llevado a cabo por la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín en 2011, los daños en los elementos estructurales se deben a factores como su configuración geométrica, concentración de tensiones, debilidades en las columnas, exceso de flexibilidad en la estructura y sobrecarga de flexibilidad en el diafragma del piso.

**1.4.2.1.7. Riesgo sísmico.** Su definición radica en el grado de pérdidas que se esperan tener en una estructura durante el periodo de tiempo que están expuestas a la acción del sismo. Este término está en función de los eventos sísmicos que se presenten en la zona donde se ubica la estructura; es decir, la amenaza sísmica, y la respuesta de la estructura ante estos sucesos es conocida como vulnerabilidad sísmica (Universidad Nacional de Colombia, 2011).

**1.4.2.1.8. Evaluación del sistema estructural.** El estado del sistema estructural de cualquier estructura, debe ser evaluada cualitativamente en función de la calidad de su diseño, estructura original y el estado en la que se encuentra actualmente

En términos de calidad de diseño y estructura original, la evaluación se basa en la tecnología empleada en la época en que se llevó a cabo el proyecto. Algunos elementos esenciales para esta evaluación son los registros de ensayos realizados y la supervisión durante la construcción. Se debe analizar el comportamiento de la estructura en relación con factores como la rigidez, la distribución irregular de la masa y la presencia adecuada de anclajes, entre otros aspectos fundamentales para un rendimiento óptimo de la estructura. Este criterio debe tener una calificación expresada como buena, regular o mala.

En relación al estado de la estructura en la actualidad, se deben revisar el historial de los sismos que pudieron haber afectado la edificación, qué patología fue desarrollada por los cambios bruscos de temperatura, el nivel de corrosión de la zona, deflexiones excesivas, entre otras cosas.

Igualmente, tiene una calificación según revisión previa como buena, regular o mala (Castillo y Sánchez, 2021).

**1.4.2.1.9. Vida útil de la estructura.** Las estructuras patrimoniales, fueron diseñadas y construidas para un periodo de tiempo determinado, obedeciendo algunos requisitos de funcionalidad, comportamiento estructural de seguridad y estabilidad, entre otros. Cabe resaltar, que al cumplir este periodo no implica la demolición de la estructura, sino que garantice la seguridad tanto de la comunidad como de la cultura que implica el uso de la edificación.

Por lo que la durabilidad de los elementos y materiales estructurales depende de cuánto estos resisten ante agentes externos del medio ambiente para evitar su deterioro. Lo que garantiza la vida útil de la edificación es el diseño, la geometría de la estructura, el tipo de materiales a usar, técnicas de construcción y procedimientos de mantenimiento de ella.

#### **1.4.2.2. Inspección e identificación de patologías.**

**1.4.2.2.1. Patología.** La patología de la construcción se enfoca en analizar los problemas constructivos que surgen en una estructura o en sus componentes después de su ejecución; este campo científico se dedica a identificar y comprender las dificultades que afectan tanto la apariencia como la funcionalidad de los sistemas constructivos (Díaz, 2014). Además, esta especialización en el ámbito tecnológico para examinar las alteraciones en el funcionamiento o el servicio de un edificio.

Es el resultado de un estudio previo que determina el grado de afectación y las causas del proceso patológico en relación con su estabilidad, funcionalidad, seguridad y aspecto en una edificación, establece una valoración desde la inspección visual con un diagnóstico preliminar que determina el grado de afectación de la estructura hasta una auscultación profunda; para obtener un diagnóstico conclusivo que determine el origen de las lesiones y las propuestas de actuación (Díaz, 2014).

**1.4.2.2.2. Fichas patológicas.** El objetivo de las fichas es clasificar y describir las patologías presentes en la estructura bajo análisis. En esta se incluye información acerca de la localización, el

esquema y la descripción del daño observado. Además, cumple con la función de categorizar los tipos de lesiones presentes. Esta función adquiere relevancia al facilitar la identificación de las posibles causas subyacentes.

Contiene un listado de los diversos tipos de lesiones, así como su clasificación directa o indirecta. Este listado cumple la función de brindar un respaldo para la elaboración de una descripción exhaustiva de cómo se manifiestan en el elemento estructural. Además, esta descripción contribuye a la identificación de las posibles causas subyacentes de dichas patologías. Asimismo, nos proporciona información sobre de intervención necesarias para la rehabilitación del elemento afectado (Arregocés, 2022).

**1.4.2.2.3. Mapa de lesiones.** El mapa de lesiones cumple la función de ubicar las patologías en un plano, el cual se configura en base al diagnóstico. En este proceso, se clasifican como fisuras, suciedad, humedad, erosión, grietas, desprendimientos, eflorescencias, carbonatación, oxidación, corrosión, presencia de organismos, insectos, moho, hongos, plantas superficiales y animales. En esta representación, cada tipo de lesión se identifica mediante el uso de un color y textura distintos, lo que facilita su reconocimiento visual.

**1.4.2.2.4. Ensayo no destructivo (END).** Son pruebas aplicadas a un material que no altere de alguna manera permanente sus propiedades físicas, mecánicas, químicas o dimensionales, generalmente, estos ensayos proveen datos menos exactos que los ensayos destructivos (Ferrer, 2019).

**1.4.2.2.5. FerroScan.** Es un instrumento utilizado para ensayos no destructivos que permite detectar de forma acústica y visual la profundidad, el diámetro de metales ferrosos y no ferrosos en estructuras de concreto, como varillas de refuerzo, losas, muros y trabes. Esto se logra mediante la utilización de un campo magnético (HILTI, pág. 1).

**1.4.2.2.6. Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento (MINISTERIOR DE AMBIENTE, 2010).** En la aplicación del presente capítulo, deben seguirse las siguientes etapas:

***Información preliminar.***

Etapa 1: debe verificarse que la intervención está cubierta por el alcance dado en A.10.1.3.

Etapa 2: Debe recopilarse y estudiarse la información existente acerca del diseño geotécnico y estructural, así como del proceso de construcción de la edificación original y sus posteriores modificaciones y deben hacerse exploraciones en la edificación, todo esto de acuerdo con A.10.2.

Etapa 3: El estado del sistema estructural debe calificarse con respecto a: (a) la calidad del diseño de la estructura original y su sistema de cimentación y de la construcción de la misma y (b) el estado de mantenimiento y conservación. Esta calificación debe hacerse de acuerdo con los requisitos de A.10.2.

***Evaluación de la estructura existente.***

Etapa 4: Deben determinarse unas solicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos de A.10.4.2.

Etapa 5: Debe llevarse a cabo un análisis elástico de la estructura y de su sistema de cimentación para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4.

Etapa 6: La resistencia existente de la estructura debe determinarse utilizando los requisitos de A.10.4.3.3.

Etapa 7: Se debe obtener una resistencia efectiva de la estructura, a partir de la resistencia existente, afectándola por dos coeficientes de reducción de resistencia obtenidos de los resultados de la calificación llevada a cabo en la Etapa 3.

Etapa 8: Debe determinarse un índice de sobre esfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento o sección de éste, entre las fuerzas internas solicitadas obtenidas del análisis

estructural realizado en la Etapa 5 para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4 y la resistencia efectiva obtenida en la Etapa 7.

Etapa 9: Utilizando los desplazamientos horizontales obtenidos en el análisis de la Etapa 5 deben obtenerse las derivas de la estructura.

Etapa 10: Debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas en la Etapa 9 y las derivas permitidas por el Reglamento en el Capítulo A.6. Igualmente debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos verticales como el máximo cociente entre las deflexiones verticales medidas en la edificación y las deflexiones permitidas por el presente Reglamento.

#### ***Intervención del sistema estructural.***

Etapa 11: La intervención estructural debe definirse de acuerdo con el tipo de modificación establecida en A.10.6 dentro de una de tres categorías: (a) Ampliaciones adosadas, (b) Ampliaciones en altura y (c) Actualización al Reglamento.

Etapa 12: El conjunto debe analizarse nuevamente incluyendo la intervención propuesta, la cual debe diseñarse para las fuerzas y esfuerzos obtenidos de este nuevo análisis. El diseño geotécnico y estructural y la construcción deben llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos que para cada tipo de modificación establece el presente Capítulo.

**1.4.2.2.7. Conceptos para la evaluación e intervención.** Sobre la evaluación e intervención se deben tener presentes los siguientes conceptos.

#### ***Supervisión técnica.***

La intervención del sistema estructural existente debe someterse, en todos los casos, a una supervisión técnica dentro del alcance que se da en el Título I del presente Reglamento. El Supervisor Técnico debe dejar constancia en los registros de la supervisión de que las hipótesis en

que se basó el diseñador fueron confirmadas en la obra. En caso de presentarse discrepancias debe quedar constancia escrita de que el diseñador fue informado de ellas y de las acciones correctivas que él fijó.

#### ***Criterio y responsabilidad del ingeniero.***

El tipo de diseño a que hace referencia en su alcance este documento, exige el mejor criterio y experiencia por parte del ingeniero que lo lleva a cabo, dado que el diseñador se hace responsable dentro del mismo alcance que tiene esa responsabilidad en el presente Reglamento, de la correcta aplicación de los requisitos del Reglamento y del comportamiento de la edificación en el futuro.

#### ***Estado del sistema estructural.***

Debe calificarse el estado del sistema estructural de la edificación de una manera totalmente cualitativa con base en la calidad del diseño y construcción de la estructura original y en su estado actual. Esta calificación se debe realizar de la manera prescrita a continuación:

#### ***Movimientos sísmicos de diseño con seguridad limitada.***

Este reglamento permite, en términos de evaluación e intervención en edificaciones existentes, la consideración de movimientos sísmicos de diseño con seguridad limitada. Estos movimientos sísmicos se definen en base a una probabilidad del veinte por ciento de que sean excedidos en un lapso de cincuenta años, considerando la aceleración pico efectiva reducida, representada por el parámetro  $\beta$ . En el contexto de este reglamento, el valor de este coeficiente no se aplica a edificaciones nuevas ni se emplea en el diseño de tales edificaciones en ninguna circunstancia.

#### ***Análisis de vulnerabilidad.***

General. El análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

- Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos,
- Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo,
- Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados del inverso del índice de sobreesfuerzo general.

### ***Reparación de edificaciones dañadas por sismos.***

Después de la ocurrencia de un sismo, es necesario evaluar las edificaciones que hayan experimentado daños significativos en su estructura o elementos no estructurales, o en ambos aspectos. Estas evaluaciones deben basarse en investigaciones y estudios como los indicados en la sección A.10.10.2, con el propósito de determinar la viabilidad técnica de llevar a cabo su reparación. Estos procesos proporcionarán pautas esenciales para guiar las decisiones tanto de los propietarios como de las autoridades competentes. En caso necesario, estas decisiones pueden incluir la designación de una edificación para su demolición total. Alternativamente, se puede apelar la determinación de demolición si esta ha sido adoptada por la autoridad competente o si se basa en un censo previo a la realización del estudio mencionado. En los casos en los que no se haya establecido la demolición obligatoria de las edificaciones, se debe proceder con su reparación de acuerdo a los criterios y requisitos que se detallan a continuación:

Daños en los elementos no estructurales, sin daño en los elementos estructurales. La reparación se limitará a intervenir los elementos no estructurales afectados, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.9 del Reglamento.

Daños estructurales imputables a interacción adversa con elementos no estructurales. El alcance de la reparación se puede limitar a reparar los elementos estructurales afectados, eliminando la interacción adversa de los elementos no estructurales, siguiendo los requisitos del Capítulo A.9.

Otro tipo de daños: El alcance de la reparación estará dictado por la capacidad de cumplir los objetivos estructurales primordiales del diseño sismo resistente de proveer resistencia adecuada ante las sollicitaciones impuestas por el sismo sin que la estructura tenga deflexiones horizontales (derivadas) excesivas al verse afectada por ellas. Para garantizar el cumplimiento de estos objetivos debe realizarse una evaluación de la estructura en general y de acuerdo con los resultados de esta evaluación determinar los elementos de la edificación que deben intervenir, los cuales en muchos casos comprenden más de los que simplemente hay que reparar. El alcance de la intervención debe cubrir como mínimo: los elementos estructurales que sufrieron daño, los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica necesarios para dar la resistencia sísmica mínima requerida, los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica necesarios para cumplir los requisitos de deriva, y los elementos no estructurales que sufrieron daño.

Intervención de edificaciones diseñadas y construidas antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984 Las estructuras según A.10.9.1, diseñadas y construidas antes del 1º de diciembre de 1984, fecha en que entró en vigencia el Decreto 1400 de 1984, deben obtener, como mínimo, al ser intervenidas, el nivel de seguridad limitada prescrito en A.10.4.2.2 y tratarse de acuerdo con los criterios y requisitos del presente Reglamento, de tal manera que la edificación una vez intervenida quede con un índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad menores que la unidad.

Edificaciones declaradas como patrimonio histórico: Cuando se trate de intervenciones estructurales de edificaciones declaradas como patrimonio histórico, donde existan restricciones severas para lograr un nivel de seguridad equivalente al que el Reglamento exigiría a una edificación nueva o al prescrito en A.10.4.2.2, excepto que se trate de edificaciones pertenecientes a los grupos de uso III y IV, tal como lo define A.2.5, se permitirá un nivel menor de seguridad sísmica siempre y cuando este menor nivel se justifique por parte del ingeniero diseñador y se acepte por parte del propietario, incluyendo dentro de los documentos que se presentan para solicitar la respectiva licencia de construcción.

#### **1.4.2.3. Modelación y evaluación estructural.**

**1.4.2.3.1. Carga de diseño.** Son fuerzas que actúan sobre el sistema estructural y provienen del peso de todos los elementos permanentes en la construcción, los ocupantes y sus pertenencias, asentamientos diferenciales y restricción de cambios dimensionales. Las cargas permanentes son cargas que varían muy poco en el tiempo y cuyas variaciones son pequeñas en magnitud de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

**1.4.2.3.2. Carga muerta.** Este concepto hace referencia a las cargas de los elementos permanentes en una construcción, en la cual se incluyen su estructura, como muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras y acabados. Es decir, abarca todas aquellas cargas que no son ocasionadas por la ocupación o uso de la edificación.

**1.4.2.3.3. Carga viva.** Las cargas vivas son aquellas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no deben incluir cargas ambientales tales como viento y sismo.

**1.4.2.3.4. Combinaciones de carga.** En la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10, se refiere a diferentes combinaciones de cargas que se aplican a una estructura para evaluar su resistencia y estabilidad. Estas combinaciones incluyen cargas muertas, vivas, viento, sismo y otras fuerzas relevantes para el diseño de estructuras. Estas son necesarias para garantizar que la edificación sea capaz de resistir todas las condiciones a las que podría estar expuesta durante su vida útil.

**1.4.2.3.5. Elementos finitos.** El Método de los Elementos Finitos (MEF) es una técnica que posibilita la obtención de soluciones aproximadas para las ecuaciones en derivadas parciales que rigen el comportamiento de medios continuos. Estas soluciones se logran a través de un sistema, que en el caso de problemas estáticos son algebraicas, y establecen relaciones entre un número finito de variables. El propósito de construir este sistema radica en simular los procesos de deformación en sólidos, incluyendo deformaciones irreversibles (Castillo, 1999). Estas simulaciones son valiosas, ya que permiten comprender el comportamiento de una estructura en estudio.

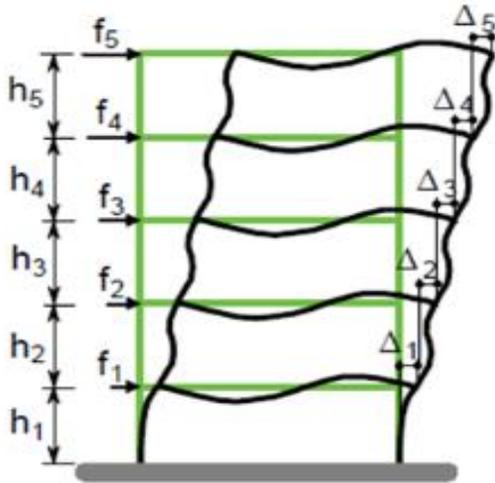
**1.4.2.3.6. Macroelementos.** Este concepto hace referencia a la sección de la iglesia, que puede o no corresponder a una porción identificable desde la perspectiva arquitectónica y estructural (fachadas, naves, ábsides, capillas, etc.). En esta área es posible localizar y evaluar los daños de las iglesias que podrían comprometer la integridad de sus componentes estructurales. Además, es factible establecer una correlación entre los daños y el tipo de comportamiento que podrían manifestar durante un sismo. Es esencial representar adecuadamente estos daños en modelos computacionales para su posterior análisis. Se define como un elemento estructural independiente, sin conexiones con otras partes, que puede ser analizado de manera autónoma. La respuesta de este elemento, junto con la de otros componentes, dará forma al comportamiento global del sistema (Méndez, s.f.).

**1.4.2.3.7. Espectro de diseño.** Conjunto de curvas utilizadas en el diseño de obras de ingeniería que relacionan la aceleración, la velocidad y el desplazamiento de la masa en vibración, el periodo y el amortiguamiento del sistema compuesto por la masa, el vibrador y el amortiguador. En general relaciona la aceleración absoluta, la velocidad relativa y el desplazamiento relativo con el período (Chavez, 2012).

**1.4.2.3.8. Derivas.** La Norma NSR-10 en su Capítulo A.6, se entiende por deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación. Así se tiene que La deriva máxima para cualquier piso determinada de acuerdo con el procedimiento de A.6.3.1, no puede exceder los límites establecidos en la tabla A.6.4-1 en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso  $h_{pi}$ .

**Figura 2**

*Demostración de derivas*



*Nota.* Tomado de NSR-10.

Las derivas máximas expresada como porcentaje de Hpi, según la NSR-10 es expresada en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Derivas máximas como porcentaje de hpi*

<b>Estructuras de</b>	<b>Deriva máxima</b>
Concreto reforzado, metálicas, de madera y de mampostería que cumplen con los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ( $\Delta^i_{max} \leq 0.010 h_{pi}$ )
Mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3.	0.5% ( $\Delta^i_{max} \leq 0.005 h_{pi}$ )

*Nota.* Tomado de NSR-10.

**1.4.2.3.9. Modos de vibración.** De acuerdo (Correa Parra & Quijano Galvis, 2018), los modos de vibración son indicadores de respuesta natural de una estructura frente a un comportamiento sísmico o a una excitación diferente como la del golpe de un balón en los elementos estructurales

tal cual se realizó en los ensayos de campo para este proyecto de grado. Estos modos se producen en diferentes periodos y frecuencias, en donde esas características nos podrían dar idea de cuál podría ser el modo fundamental de vibración.

Generalmente, el primer modo de vibración de una estructura es el fundamental y se representa con el movimiento de la estructura de manera horizontal como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3**

*Modos de vibración de un edificio*



Nota. Tomado de Arancibia-año 2013.

**1.4.2.3.10. Consolidación estructural.** Hace referencia a las técnicas y procedimientos destinados a estabilizar una estructura que ha sufrido daños debido al paso del tiempo o a un evento sísmico. Su principal objetivo es restaurar una edificación para que funcione de manera segura y eficiente, garantizando que tanto los elementos estructurales como los no estructurales cumplan con los requisitos necesarios y asegurando su viabilidad a largo plazo.

#### ***Consolidación en estructuras históricas.***

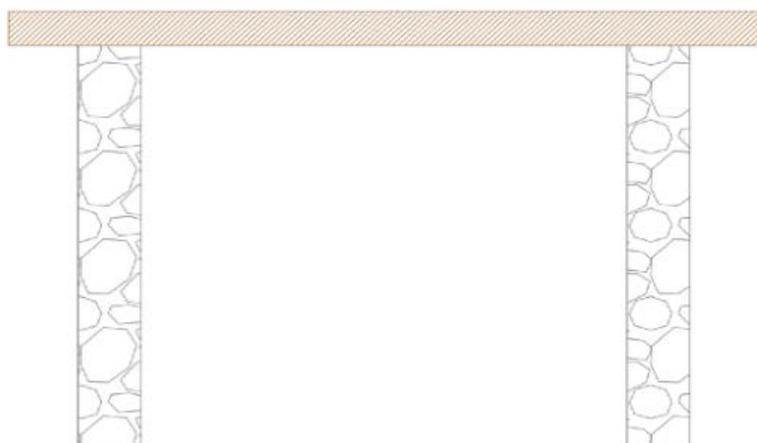
Se presenta conceptualmente el proceso de consolidación respecto a la teoría de esfuerzo, de acuerdo a la clase asistida de especialización en estructuras en la Universidad de Nariño, denominada “Evaluación e intervención estructural del patrimonio en San Juan de Pasto y el departamento de Nariño”, dictada por el Ing. MSc. Civil William Castillo Valencia.

De acuerdo a esta teoría de esfuerzos, surge en el siglo XII surgió la incógnita de cómo realizar un techo si de soportes se tienen dos columnas a los extremos, se preguntaba qué opción sería la más adecuada si utilizar madera, piedra o mampuestos de ladrillo, así que se evaluó estas opciones.

Para un techo de madera era la solución más viable por su gran soporte, pero genera desventajas de costos, pues si la luz era muy grande era difícil conseguir un tronco muy largo, además su transporte era complicado, por lo que esa opción no fue la óptima.

#### **Figura 4**

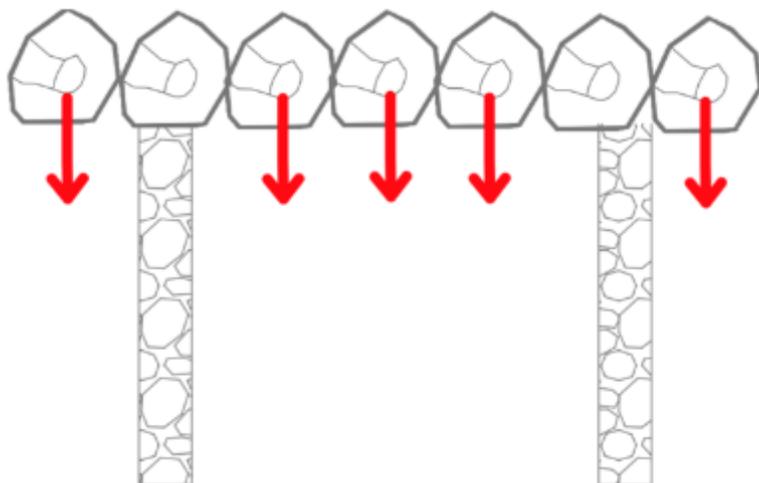
*Techo de madera*



En este contexto, se evaluó la posibilidad de construir un techo de piedra. La principal limitación radicaba en que el calicanto de esa época no resistía la carga cortante generada por la unión de las piedras, sin embargo, su atractivo radicaba en su asequibilidad y disponibilidad.

**Figura 5**

*Techo de madera*

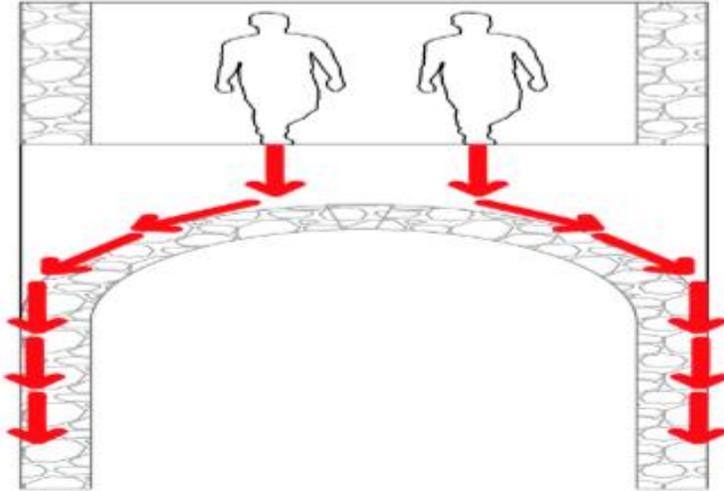


Aquella idea dio origen al arco de medio punto para piedras o mampuestos de ladrillo, pues cubre grandes distancias y sus materiales de construcción se consiguen fácilmente; pero, lo principal es que tiene un trapecio en su clave que se debe a consideraciones arquitectónicas y estructurales, la cual permite distribuir mejor las cargas y las tensiones a lo largo del arco, está piedra soporta la mayor parte de la carga del arco y distribuye esta carga hacia abajo y hacia los lados del arco.

La forma de trapecio proporciona una base sólida para que la piedra clave descansa y transfiera las cargas de manera efectiva a las dovelas y hacia los puntos de apoyo en los extremos del arco. Además, el arco de medio punto transfiere su carga vertical hacia los puntos de apoyo en sus extremos, que pueden ser pilares, columnas o muros. Al igual que dichas estructuras son excelentes para soportar cargas verticales, como el peso de estructuras superiores.

**Figura 6**

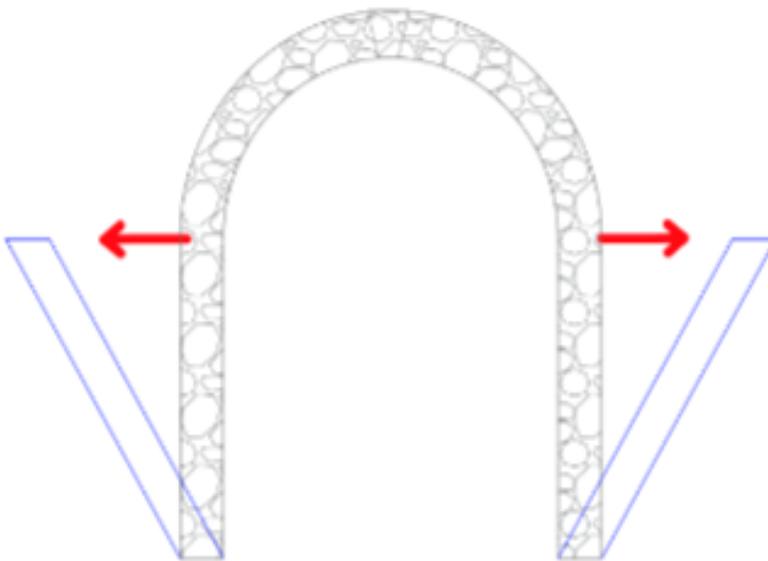
*Arco medio punto*



Sin embargo, surge la problemática del empuje horizontal debido a la esbeltez de los pilares o columnas. Si nos referimos al elemento más crucial en cualquier estructura, este está estrechamente ligado a las columnas o pilares. Una columna robusta exhibe una resistencia superior ante el empuje y otros esfuerzos horizontales en comparación con una columna delgada y alta, que es más vulnerable a colapsar.

**Figura 7**

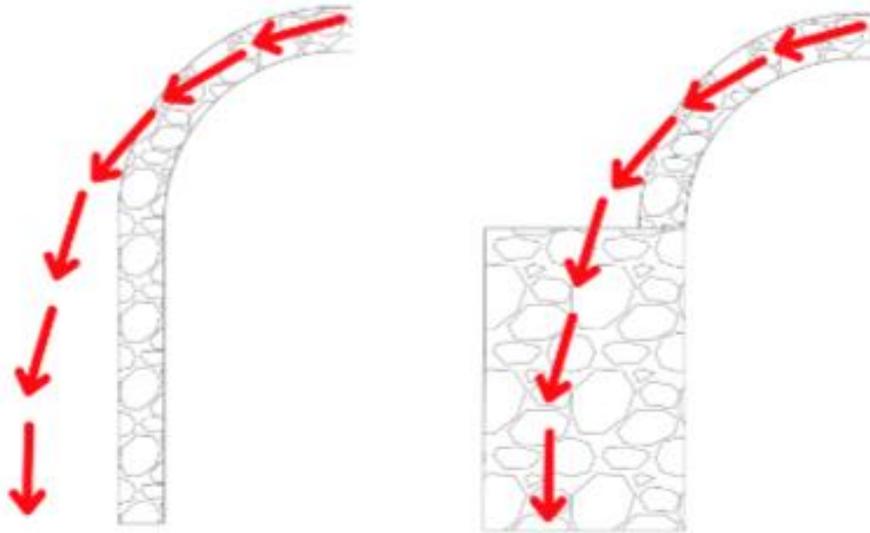
*Empuje horizontal*



La solución al empuje horizontal es realizar muros muy gruesos para soportar este esfuerzo.

**Figura 8**

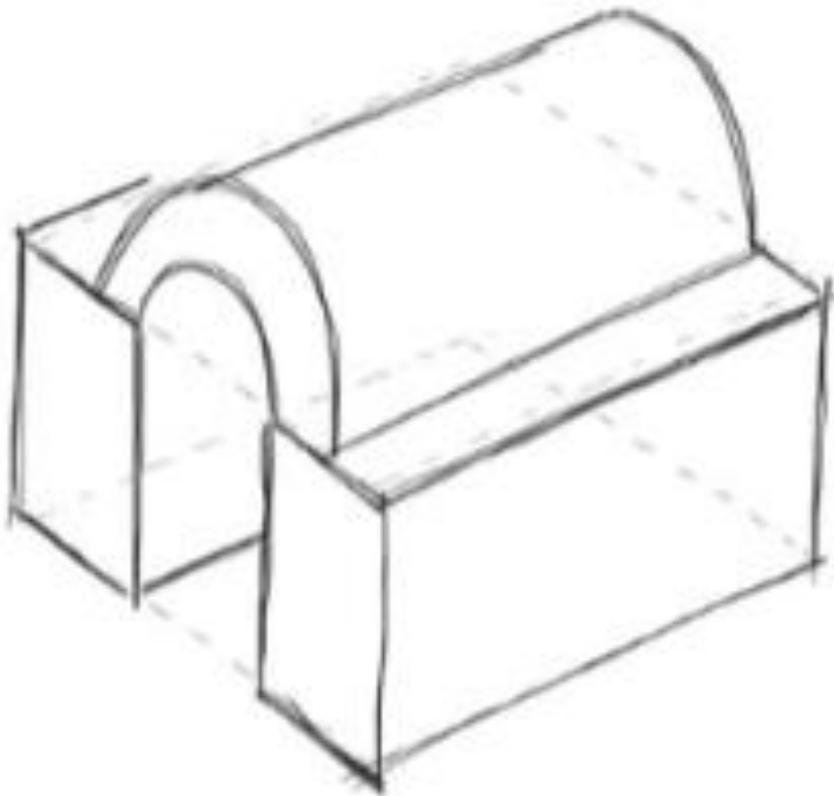
*Solución al empuje horizontal*



Por tal motivo se da la idea de la construcción de la bóveda cañón, esta estructura está presente en varios templos alrededor del mundo, puesto que dio origen a la arquitectura presentada en muchos templos alrededor del mundo, pues presenta y desarrolla varios principios estructurales.

**Figura 9**

*Forma de una bóveda cañón*

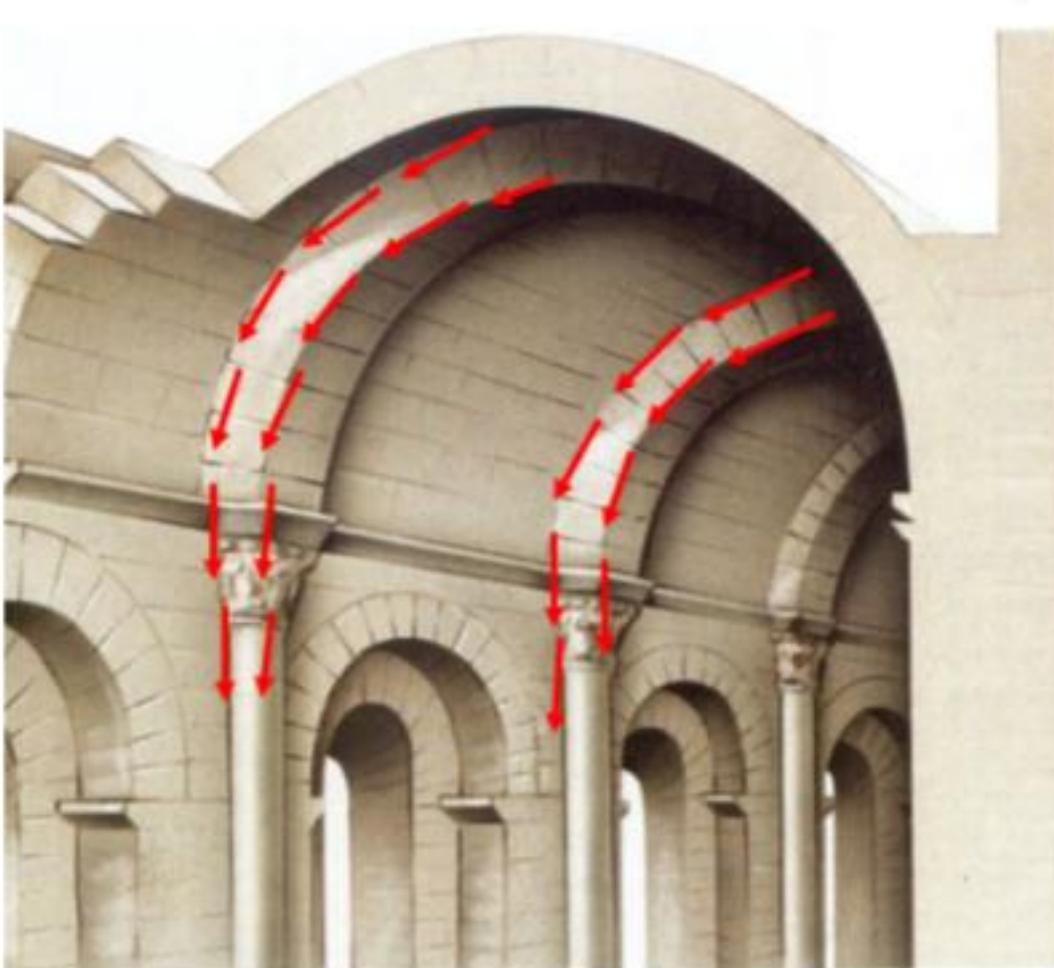


*Nota.* Tomado de Arellano-año 2019.

Aunque varios de los problemas se han solucionado con la idea de una bóveda cañón, surge la falta de iluminación, y en una estructura tan robusta el hacer una abertura generaría un fallo en el soporte de la estructura. Por lo que se planteó la idea de engrosar el muro en ciertos puntos, generando arcos con piedra o mampuestos de ladrillos más grandes en dichos puntos, para concentrar allí las cargas y permitir hacer aberturas relativamente grandes en los muros; estos se denominan arco fajón, los arcos que están al llegar al presbiterio se conoce como arco toral.

**Figura 10**

*Arcos con piedra o mampuestos de ladrillos*

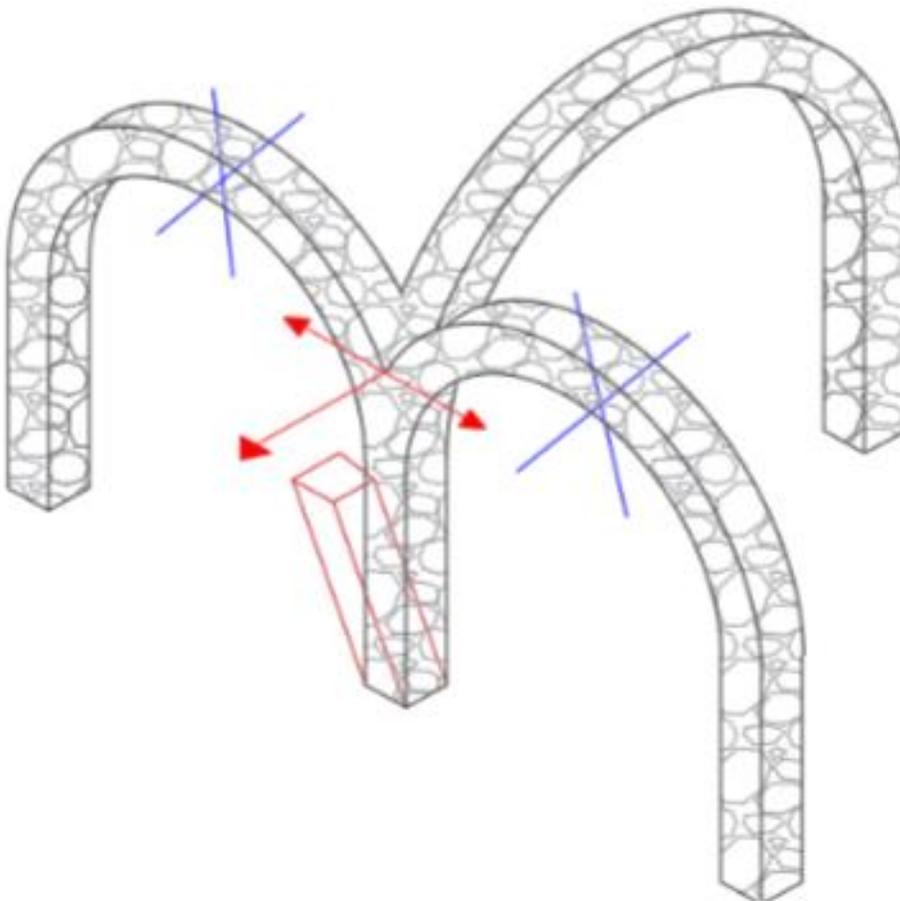


*Nota:* Tomado de Google-año 2023.

Surge una nueva idea de la bóveda de aristas, en el cual se eliminan los muros de la bóveda de cañón y se los reemplaza únicamente por 4 pilares generando un cruce perpendicular de dos bóvedas de cañón; cada pilar soporta el empuje de tres arcos; dos arcos se cancelan en el eje x, pero el tercero empuja hacia afuera.

**Figura 11**

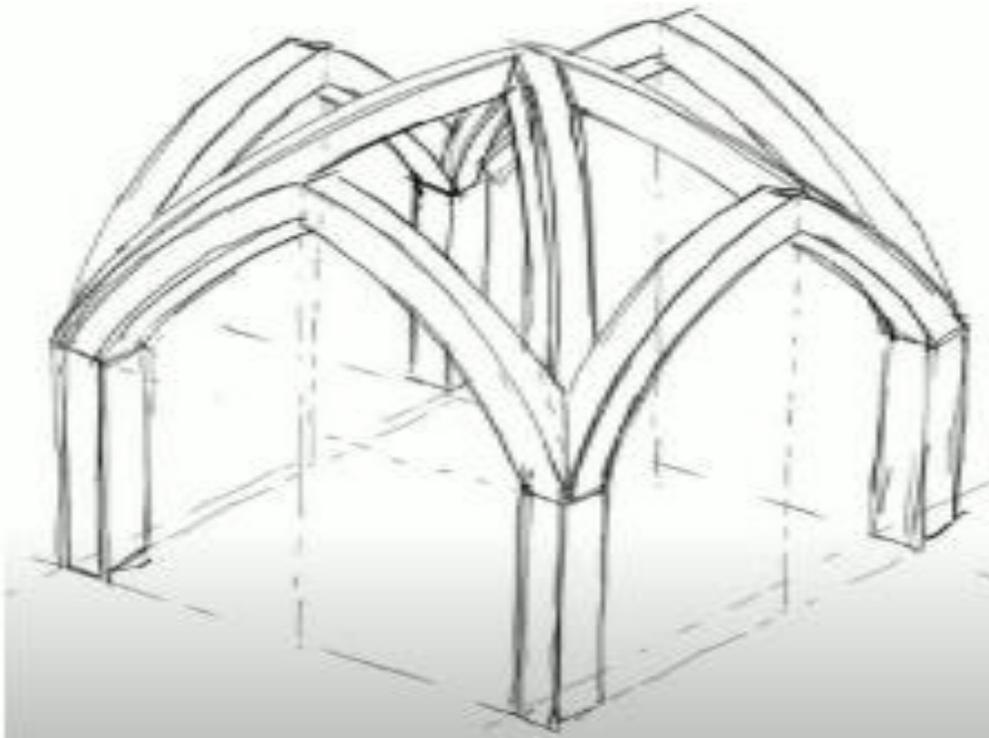
*Bóveda de aristas con empuje en un marco*



De aquel problema se emplea el término de arcos apuntados, se refiere a una bóveda de aristas, pero con arcos más apuntados, puesto que las cargas bajan mucho más verticales y genera menor empuje, este consiste en dos arcos paralelos, dos arcos perpendiculares y un amarre diagonal entre los pilares.

**Figura 12**

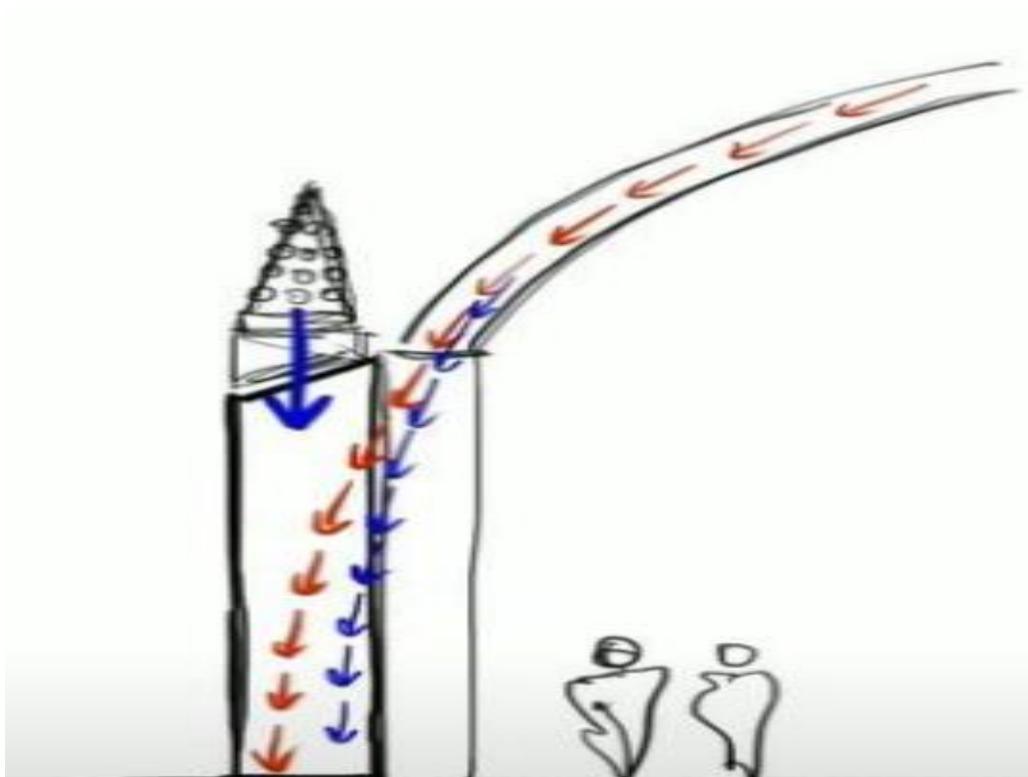
*Bóveda de arcos apuntados*



Pero, persistía el problema de los empujes en los arcos no contrarrestados, por lo que llegaron a la conclusión que se debía engrosar el pilar hacia afuera, creando los contrafuertes; son aquellos que restan el empuje horizontal de las bóvedas en el pilar y a su vez a estos incluirles un pináculo en su punta superior para incluirle un peso sobre los contrafuertes y así lograr desviar la carga haciendo un recorrido más vertical.

**Figura 13**

*Distribución de cargas en un contrafuerte con pináculo*

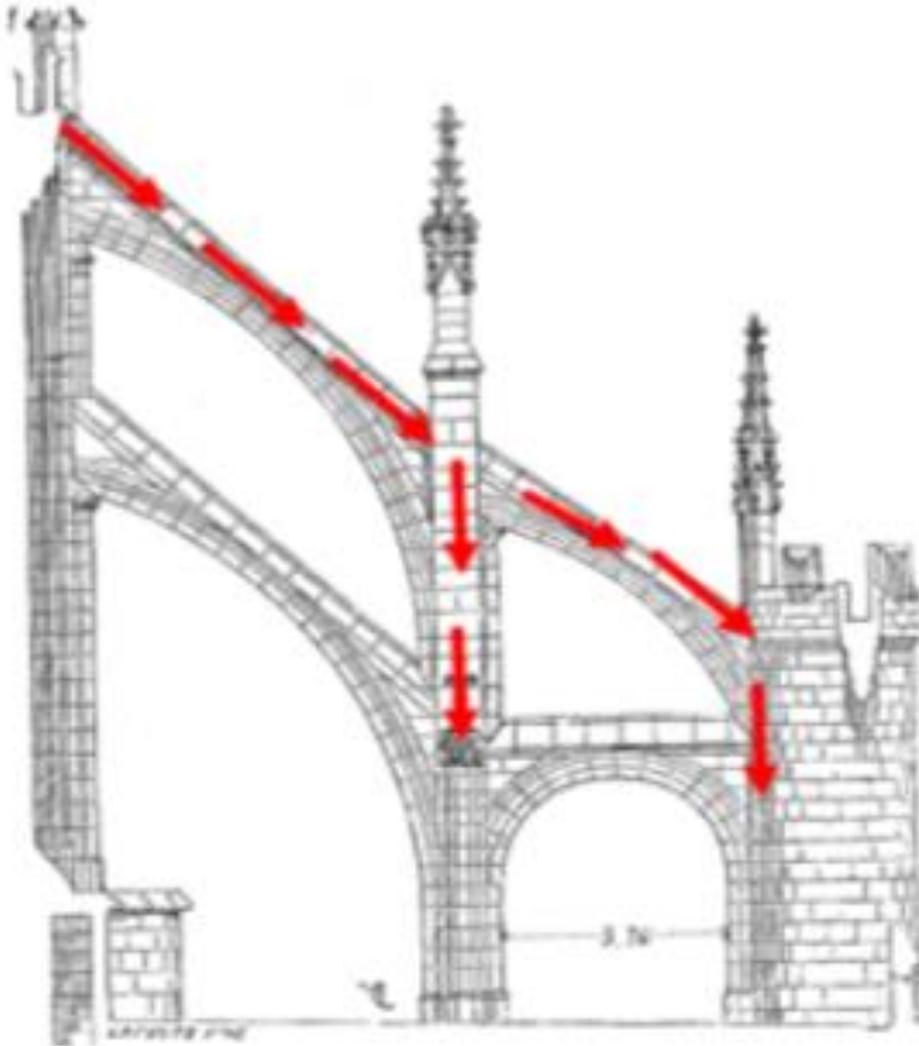


*Nota.* Fuente: Arellano-año 2019.

Sin embargo, los contrafuertes sólo son eficaces para una sola nave, puesto que en más genera sombra. Esto dio lugar a los arbotantes que son estructuras que recoge los empujes horizontales de la bóveda y los transmite al contrafuerte.

**Figura 14**

*Distribución de cargas en un arbotante*



*Nota.* Fuente: Google-año 2023.

De acuerdo a lo anterior, en el Templo Nuestra Señora de la Visitación del municipio de Ancuya se logró identificar los siguientes elementos esenciales para que la estructura funcione de acuerdo a la teoría de esfuerzos:

**Tabla 2**

*Elementos esenciales del Templo de Ancuya Nariño*

DENOMINACIÓN	UBICACIÓN EN EL TEMPLO NUESTRA SEÑORA DE LA VISITACIÓN DE ANCUYA
Bóveda cañón	
Contrafuertes	
Pináculos	

Arco toral



Arco Fajón



**1.4.2.3.11. Templete.** Los templetes, son varillas de acero que se utilizan en la ingeniería civil para equilibrar las fuerzas longitudinales originadas por tensiones desequilibradas en un vano o en vanos adyacentes de un circuito. Están diseñados principalmente para absorber esfuerzos de tracción. Su función principal es prevenir la inclinación o deflexión de los elementos estructurales, lo que a su vez protege las bóvedas, arcos o cúpulas que transmiten cargas a estas varillas.

**1.4.2.3.12. Manto de fibra de carbono.** El manto de fibras de carbono ofrece alta resistencia y alto módulo. Este material se satura en el lugar de la obra utilizando el sistema epóxico Sikadur 301. Este proceso da lugar a un sistema de polímero reforzado con fibras de carbono (CFRP), que se utiliza para el reforzamiento de elementos estructurales. Una de las principales ventajas es su versatilidad. Es conocido por su peso ligero, lo que facilita su manejo e instalación. Ofrece una alta resistencia tanto a los esfuerzos de tracción como a los esfuerzos de flexión. Esto significa que puede mejorar significativamente la resistencia y la durabilidad de una estructura sin añadir un peso significativo. Asegura una adhesión efectiva entre el tejido de fibra de carbono y la estructura

existente. Esto permite que el CFRP se integre completamente con la estructura, mejorando así su capacidad para resistir diversas cargas y tensiones.

**1.4.2.3.13. Clavos estructurales.** Los clavos estructurales son varillas de acero que desempeñan un papel crucial en el entrelazamiento de los mampuestos. Esta interacción permite contrarrestar una variedad de esfuerzos, incluyendo los esfuerzos cortantes, el flexo tracción y el flexo compresión; mejorando significativamente la resistencia y la estabilidad de la estructura.

El uso de clavos estructurales puede generar una respuesta estructural más dúctil ante eventos sísmicos. Esto significa que la estructura tiene una mayor capacidad para deformarse sin romperse o colapsar durante un movimiento, lo que puede ser esencial para preservar la integridad de la estructura.

**1.4.2.3.14. Placas de concreto.** Las placas de concreto son elementos estructurales bidimensionales. Estas placas son reforzadas con acero para mejorar su resistencia y durabilidad, lo que les permite soportar cargas pesadas y resistir tensiones. Este refuerzo puede tomar varias formas, incluyendo barras de acero, mallas de acero o fibras de acero. El refuerzo mejora la resistencia a la tracción del concreto, lo que le permite resistir las fuerzas de flexión y torsión que pueden causar grietas y fallas. Aunque su espesor es pequeño en comparación con su longitud y altura, este diseño les permite distribuir eficientemente las cargas a lo largo de su superficie

**1.4.2.3.15. Método de resistencia.** Es un método de diseño para los elementos estructurales tal que las fuerzas internas calculadas producidas por las cargas mayoradas no excedan las resistencias de diseño de los mismos de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Se utiliza para el diseño y la evaluación de edificaciones frente a cargas sísmicas, este se basa en evaluar las deformaciones plásticas y daños, pero que sigan mantener su estabilidad y no colapsar.

**1.4.2.3.16. Marco legal.** Según la Resolución 001 del 9 de marzo de 2007, se declara al templo de Nuestra Señora de la Visitación del municipio de Ancuya, en el departamento de Nariño, como un bien de interés cultural de carácter departamental. Esta declaración se realiza en aplicación a lo

dispuesto en la Ley 163 de 1959 y su Decreto Reglamentario 264 de 1963, por lo tanto, todas las intervenciones, restauraciones, remodelaciones y las obras de protección, defensa y conservación que deban ejecutarse en el mencionado inmueble deberán contar con el permiso del Consejo de Monumentos Nacionales - Filial Nariño.

Para el análisis de la vulnerabilidad sísmica y el estudio patológico se tiene en cuenta la norma colombiana NSR-10 (MinVivienda, 2010) es el reglamento colombiano que regula las condiciones con las que debe contar una edificación, con el fin de que al presentarse un sismo mantenga la calidad, su funcionamiento no se ve afectado, y la respuesta estructural sea favorable.

En el capítulo A de la norma se demuestra los criterios para la evaluación estructural, en esta parte de la norma se encuentra el diseño para movimientos sísmicos donde se verifica por la zona y el grupo de uso de la estructura a analizar y en este caso el templo. Otro de los aspectos a analizar es la aceleración espectral para el diseño que se encuentra definida por la ecuación A.2.6-3, se debe comprobar la cortante sísmica en la base de acuerdo con la normativa vigente. El coeficiente de capacidad de disipación de energía se establece en 0 en caso de que no haya habido una intervención estructural previa. En el caso de que se haya realizado una intervención estructural previa, es necesario seguir las pautas detalladas en el capítulo A-8 de la normativa correspondiente.

Es necesario determinar las fuerzas y refuerzos internos de los elementos que componen la estructura. Realizando un análisis estructural y seleccionando un método de los establecidos en la norma que se adapte a la situación actual en la que se encuentra el templo. Si se utiliza el modelo simplificado, es importante revisar la estabilidad al volcamiento que se encuentra en el título B en la sección B.2.3.

La determinación de estos índices de resistencia se hará de acuerdo con las secciones A.10.4.3.1 y A.10.4.3.2 del Reglamento NSR-10 y para las combinaciones de carga de la sección B.2.4 del mismo Reglamento y también se calculará la capacidad. Para la determinación de la durabilidad deben cumplir con los requisitos de protección contra el fuego de los capítulos J y K del Reglamento NSR-10 y con el criterio de durabilidad de la sección 1.3.5.3 (MinAmbiente, 2010).

Los ensayos de laboratorio y los trabajos de campo se realizarán de acuerdo con la NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-10. TITULO H. CAPITULO H.3. Este título, indica lo siguiente:

### Figura 15

*Clasificación de las unidades de construcción, y numero de sondeos por categorías y profundidad por cada unidad de construcción*

**Tabla H.3.2-1**  
Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción  
Categoría de la unidad de construcción

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

**Tabla H.3.1-1**  
Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
<b>Baja</b>	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
<b>Media</b>	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
<b>Alta</b>	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
<b>Especial</b>	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

*Nota.* Fuente: NSR-10.

## 1.5. Estado del Arte

Las edificaciones en tierra constituyen un valor de interés cultural de la nación; la mayoría de las edificaciones históricas en Colombia son de este tipo, como el teatro Imperial (1922) ubicado en la ciudad de Pasto Nariño. Por lo anterior, es un reto para la ingeniería colombiana y para el Ministerio de Cultura, determinar la vulnerabilidad sísmica para regular la protección del patrimonio (W.A. Castillo, 2018).

**Figura 16**

*Teatro Imperial*



*Nota.* Fuente: Juan Carlos Conto-s.f.

En este trabajo investigativo se citan algunos artículos sobre la investigación de vulnerabilidad sísmica, análisis de los criterios de diseño sísmico.

***1.5.1. Investigaciones vulnerabilidad sísmica y criterios de diseño***

El comportamiento sísmico de los edificios antiguos de mampostería es particularmente difícil de caracterizar y depende de varios factores, las propiedades de los materiales, la geometría de la estructura, las conexiones entre los elementos estructurales y no estructurales, la rigidez de los diafragmas horizontales y la condición del edificio (Jorguera, Ruiz, & Torres, 2017).

Según Castillo (2018), hace énfasis que, con base en un estudio de vulnerabilidad sísmica, la NSR-10 permite que la edificación histórica tenga un menor nivel de seguridad sísmica, respaldado por un memorial cruzado entre el ingeniero diseñador y el propietario.

Ante la ausencia de documentación sobre el tema, se hace referencia a las cartas internacionales de restauración, tales como Venecia, Washington y Quito; y a los lineamientos del Comité Científico Internacional para el análisis y restauración de estructuras históricas.

Como también Jorguera (2017), hace énfasis en que la sismicidad causó daños considerables, especialmente a los primeros edificios erigidos por los conquistadores españoles con técnicas de mampostería no reforzadas, que fueron destruidos por los primeros terremotos. Sin embargo, algunos de esos edificios coloniales de mampostería no reforzada aún permanecen hoy en día, y sirven como testimonio del esfuerzo involucrado en la construcción de estructuras resistentes a los terremotos.

Para poder conocer la naturalidad de estos edificios en tierra armada Torres (2012), en su artículo de revista se enfoca en los sistemas constructivos en tierra de edificaciones patrimoniales que consisten principalmente en muros de carga; se diseñaron para soportar cargas verticales (peso propio, entresijos, cubiertas y otros) y de servicio (carga viva), sin incluir los efectos producidos por un sismo. Se asimilan entonces a un sistema de mampostería compuesto por unidades de tierra cruda, de diferentes formas, con la que se construyen muros que varían en espesor y en altura y que pueden o no trabarse.

#### ***1.5.2. Sistema constructivo en tierra***

Según López (2003), el sistema constructivo en tierra se encuentra conformado por los siguientes parámetros:

- Cimientos corridos tipo ciclópeo, contruidos en conglomerado de roca nativa y pega en argamasa o barro compacto, sobre estos se apoyan los muros de carga, sus magnitudes son variables en función al tipo de suelo sobre el que se apoyan (esto para su profundidad) y generalmente con un sobre ancho al lado de los muros que soportan (Torres, 2012).

- Muros cargueros longitudinales de espesor variable entre 0.90 y 1.20 metros; altura de aproximadamente 2 a 2V2 pisos, es decir entre 5 y 7 metros. Además, aperturas ocasionales para vanos de puertas y ventanas. Para impedir el volteo hacia el exterior, estos muros longitudinales trabajan en conjunto con contrafuertes, ubicados a cuartas o quintas luces de la longitud del elemento, es decir separados entre 3 y 4 metros. Estos muros generalmente reciben las cargas de cubierta transmitidas a éstos mediante el apoyo de los tirantes y demás estructura de armar a una viga solera que se ubica sobre el cabezal del muro (Torres, 2012).
- El muro testero o tapa anterior de la capilla, aquel que forma el ábside y que cierra el edificio delante del presbiterio se encuentra construido de lado a lado, es decir sin aperturas o vanos y vinculando los dos costados longitudinales (Torres, 2012).
- Marcando la importancia del presbiterio, entre éste y la nave del templo se presenta el arco toral que se dispone perpendicularmente a los muros longitudinales y que generalmente se acompaña de sus respectivos contrafuertes al exterior (Torres, 2012).
- Finalmente, se afianza todo el sistema con el entramado de cubierta, conformado generalmente por una trama de madera en par y nudillo (una de las técnicas de armadura más comunes) y que constituye la forma estructural más sencilla para salvar la luz transversal de la única nave de la capilla. Como función adicional a la de cobertura, la estructura de madera y su manto (teja, barro, esterilla, etc.) tienen la función de estabilizar el sistema de muros, así como de proteger el material básico del sistema estructural, la tierra cruda, es decir, el adobe (Torres, 2012).

## **1.6. Descripción de la investigación**

### ***1.6.1. Campo de investigación***

La investigación propuesta sobre el Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del templo de Ancuya se enmarca en el campo de la Ingeniería Civil, enfocado en las estructuras, ya que se pretende evaluar el comportamiento de una edificación antigua, pero con mucha relevancia en la actualidad, además

de un análisis patológico enfocado en los elementos estructurales que hacen parte de la historia de este bien material y una propuesta de reforzamiento estructural con el análisis de vulnerabilidad que se espera obtener.

### **1.6.2. Tipo de investigación**

La investigación tiene una parte analítica, en los objetivos específicos de esta investigación, requieren un análisis patológico y documental del estado actual del Templo de Ancuya.

Pero, también requiere de una investigación experimental, pues se necesita veracidad en el análisis con resultados de laboratorios in-situ, además de la determinación del grado de vulnerabilidad sísmica a través de un modelamiento estructural, para lograr proponer un método de reforzamiento estructural.

### **1.6.3. Enfoque de investigación**

El enfoque de investigación que define este trabajo, se refiere al campo de las estructuras porque se requiere realizar el análisis de vulnerabilidad del templo de Ancuya teniendo en cuenta que es un patrimonio cultural de este municipio.

### **1.6.4. Diseño de la metodología**

#### **Tabla 3**

*Matriz de la planeación del proyecto*

<b>Título de la investigación</b>
Análisis de vulnerabilidad sísmica del Templo de Ancuya
<b>Objetivo general</b>
Contribuir a la gestión del riesgo sísmico en el templo de Ancuya Nariño.
<b>Esquema Metodológico</b>

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Meta</b>	<b>Estrategia de trabajo</b>	<b>de Actividades</b>	<b>Productos esperados</b>
Realizar un análisis patológico, documental y experimental del estado actual del Templo de Ancuya.	Obtener el análisis patológico, documental y experimental del estado actual del Templo de Ancuya	de Inspección ocular	Inspección ocular, uso de equipos para determinar patología y realizar análisis de resultados.	Sintomatología y agentes patológicos.
Determinar el grado de vulnerabilidad sísmica, en el apoyo a la elaboración del modelo estructural	Obtener el grado de vulnerabilidad sísmica, a través del modelamiento estructural	Modelar la edificación en un software de análisis estructural.	la Modelación de la edificación en su estado actual.	Capacidad de respuesta frente a un movimiento sísmico.
Proponer conceptualmente un método de consolidación estructural, a partir de los requerimientos determinados en el análisis de vulnerabilidad.	de Obtener el método de consolidación estructural, a partir de los requerimientos determinados en el análisis de vulnerabilidad.	Desarrollar un plan de formación especializada en conservación de patrimonio arquitectónico.	Definición conceptual de los métodos de consolidación y ubicaciones de ellos.	Método de consolidación conceptuales en los elementos más críticos.

### **1.6.5. Hipótesis**

“El templo de Ancuya muestra una alta vulnerabilidad sísmica”

Los factores ambientales existentes, como la humedad o el clima, siempre juegan un papel importante en la estabilidad de la estructura. Estos factores debilitan la estructura, haciendo que su

función se deteriore con el tiempo. La Patología examina estos defectos y su impacto en el rendimiento del edificio.

Cabe señalar que la vulnerabilidad del edificio está provocada por patologías. El Templo de Ancuya presenta una alta vulnerabilidad sísmica debido a que la estructura data del año 1920, cuando estuvo expuesta a factores patológicos que provocan diversas alteraciones regionales.

Las edificaciones más antiguas construidas sobre suelo compactado tienen una gran cantidad de factores que aumentan la vulnerabilidad de la estructura, tales como desnivel y altura, distribución inadecuada de las paredes en el plano, pérdida de vertical o conducto de la pared, problemas de humedad, filtraciones, inadecuado montaje de muros, pérdida de revestimiento de muros (meteorización), uso incompatible de materiales, niveles medios pesados y falta de membranas, apoyo y anclaje insuficiente de elementos de capa media y cubierta a los muros, ataque de microorganismos a la madera (xilófago), niveles intermedios muy flexibles, luces de puente muy largas y estructura de cubierta insuficiente.

#### **1.6.6. Variables**

Las variables independientes de los objetivos específicos, se refieren a las condiciones, factores, o elementos que se manipulan como causa o influencia en el estudio de investigación. Las variables dependientes, son los resultados, medidas, observaciones con el fin de evaluar el impacto de las variables independientes. A continuación, se muestra las variables dependientes e independientes, de los objetivos específicos propuestos para esta investigación:

**Tabla 4**

*Variables*

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Variable dependiente</b>
------------------------------	-------------------------------	-----------------------------

Realizar un análisis Patologías y Estado actual de la patológico, documental y vulnerabilidad de los edificación. experimental del estado elementos estructurales. actual del Templo de Ancuya.
Determinar el grado de Determinar la Capacidad Grado de vulnerabilidad. vulnerabilidad sísmica, en el de respuesta frente a un apoyo a la elaboración del movimiento sísmico modelo estructural
Proponer conceptualmente Método estructural Minimizar la un método de consolidación eficiente. vulnerabilidad sísmica. estructural, a partir de los requerimientos en el análisis de vulnerabilidad.

## 1.7. Metodología

### 1.7.1. Actividades a desarrollar por objetivo específico

Para ampliar conocimientos acerca del trabajo de grado, se describen los procedimientos a seguir para la posible realización de la investigación, generando una secuencia en ellos hasta llegar a la determinación del grado de vulnerabilidad del Templo de Ancuya.

#### 1.7.1.1. Actividades a desarrollar del objetivo específico 1.

Se realiza un análisis patológico, documental y experimental del estado actual del Templo de Ancuya; el cual abarca las siguientes actividades.

**1.7.1.1.1. Visita preliminar del templo para observación directa de patologías.** Se realizarán visitas de campo con el equipo de trabajo y con especialistas en patología y estructuras; con el fin

de reconocer visualmente patologías presentes en la estructura, al igual de recopilar información y opiniones de los habitantes del municipio para evaluar el impacto del trabajo de grado.

**1.7.1.1.2. Recolección de información del proceso constructivo del templo.** Se llevará acabo entrevistas a personas pertenecientes al municipio de Ancuya, con el fin de recopilar información y fotografías del proceso constructivo del Templo; permitiendo la identificación de técnicas constructivas y materiales.

De igual forma, se requiere revisar el estudio geotécnico y topográfico que se le han realizado al Templo para tener un mayor enfoque en el análisis de vulnerabilidad sísmica.

**1.7.1.1.3. Levantamiento arquitectónico y estructural de la edificación.** Se conoce la existencia de un levantamiento arquitectónico, el cual se desea solicitar a los encargados del templo y permiso verbal de los autores para poder trabajar con este recurso.

**1.7.1.1.4. Inspecciones directas de las patologías del Templo.** En la visita realizada se detectarán las posibles patologías directas que se pueden evidenciar en la inspección visual y se las ubicará de acuerdo al plano arquitectónico.

**1.7.1.1.5. Clasificación de lesiones y agentes causantes.** De acuerdo a la sintomatología que sufre una edificación se definen aspectos como el agente patológico presente en ella. Algunos de estos tipos se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Tipologías de las lesiones y agentes causantes*

<b>Tipologías de las lesiones y agentes causantes</b>		
<b>tipología de la lesión</b>	<b>Sintomatología</b>	<b>Agente patológico</b>
Físicas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Humedad</li><li>• Suciedad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presencia de agua</li></ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones atmosféricas</li> <li>• Excrementos animales</li> </ul>
Mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniformidad de la calidad del hormigón</li> <li>• Resistencia a la compresión del hormigón</li> <li>• Resistencia de otros materiales</li> <li>• Resistencia de aceros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargas y sobrecargas</li> <li>• Dilataciones</li> <li>• Retracciones</li> </ul>
Químicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxidación</li> <li>• Carbonatación</li> <li>• Corrosión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminantes ambientales</li> <li>• Presencia de agua</li> <li>• Temperatura</li> </ul>
Biológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disgregación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de agentes externos</li> </ul>

*Nota.* Fuente: Rodríguez- año 2004.

**1.7.1.1.6. Ensayo no destructivo con FerroScan.** Este ensayo se realizará en la nave principal del Templo para determinar si existe metales ferrosos y no ferrosos en la armadura de concreto.

**1.7.1.1.7. Elaboración de fichas patológicas.** Se debe hacer un estudio patológico de la estructura, detallando cada elemento y sus patologías presentadas. Estas se evidenciarán en las fichas patológicas, detallando sus características, propiedades y causas con la asesoría de un experto en el tema.

**1.7.1.1.8. Mapa de lesiones en las estructuras más críticas.** Teniendo en cuenta los lugares con patologías más críticas y sus respectivas fichas patológicas, se procede a realizar un mapa de lesiones en el levantamiento arquitectónico; donde se identifiquen fácilmente las patologías con texturas y colores diferentes para cada una de ellas, ubicándolas en el lugar en donde se encuentran; esto con el fin de hacer más fácil el reconocimiento de ellas en campo y en el trabajo investigativo.

**1.7.1.1.9. Exploraciones físicas con calas.** Se quiere realizar calas de diferentes zonas del Templo (terrazas, bóveda central, bóveda izquierda, bóveda derecha, bóveda posterior a la cúpula y la base del campanario); esto con el fin de identificar el estrato portante y los materiales presentes.

**1.7.1.1.10. Ensayos de laboratorio.** Extracción de muretes: se realiza para obtener una muestra de la mampostería estructural junto con su pega y así poder determinar su resistencia a la compresión y cortante.

Extracción de piezas individuales de ladrillo: se desea realizar el ensayo de compresión en piezas individuales de ladrillos, con el de determinar su capacidad de soportar compresión y su tasa inicial de húmeda.

Estudio de suelos: se desea realizar el estudio de suelos para obtener los estratos, la clasificación del perfil del suelo, la caracterización de la cimentación estructural de categoría baja, y el cálculo de asentamientos.

**1.7.1.1.11. Determinar la patología del templo.** Este concepto se refiere al estado actual de la vida útil en el que se encuentra el Templo, teniendo en cuenta la sollicitación de esfuerzos y la capacidad resistida. Los cuales se reflejan en fisuras, asentamientos diferenciales, la posible inclinación en la que se encuentre la estructura, interacción de nudos, compatibilidad de materiales con ayuda de los ensayos de laboratorio o in-situ. Esto con el fin de encontrar la causa patógena que tiene la edificación (Castillo Benavides & Sánchez Cerón, 2021).

## **1.7.1.2. Actividades a desarrollar del objetivo 2.**

Se determina el grado de vulnerabilidad sísmica mediante un modelamiento estructural. Con ayuda de un software se modelará estructuralmente el Templo; esto con el fin de obtener cargas, derivas y modos de vibración y así poder determinar qué grado de vulnerabilidad que presenta la estructura en su estado actual.

### **1.7.1.3. Actividades a desarrollar del objetivo específico 3.**

De acuerdo con la anterior, se pretende realizar una propuesta conceptual de un método de reforzamiento estructural. Frente a los procesos de vulnerabilidad que presenta la edificación se desea proponer un sistema de consolidación estructural para que el Templo sea una estructura funcional, teniendo en cuenta que su intervención no debe afectar el patrimonio arquitectónico de la estructura.

## 2. Presentación de resultados

### 2.1 Análisis e interpretación de resultados

#### 2.1.1. Análisis del primer objetivo.

##### 2.1.1.1. Visita preliminar directa de las patologías.

Se realiza una identificación visual del templo el día 2 de enero y 18 de febrero del 2023 para el reconocimiento de las posibles patologías. En la visita se conoció las opiniones de los encargados de la edificación y la comunidad, para tener un acercamiento del impacto que tiene el trabajo de grado en la comunidad.

Se obtuvo una respuesta afirmativa, debido a que el templo es un motor cultural, social, económico y religioso siendo un impulso para el municipio, el cual ha sufrido diferentes desastres y daños con el pasar del tiempo. Esta actividad fue acompañada por el asesor el Esp. Mauricio Figueroa quien brindo compañía y asesoró respecto del uso del equipo a utilizar Ferro Scan, un instrumento que se utilizará para determinar la posición del acero de refuerzo en los elementos estructurales del templo.

#### Tabla 6

*Registro fotográfico asesoramiento y uso del FerroScan*

---

#### Asesoramiento y uso del FerroScan

---



Como resultados se logró verificar las fisuras a lo largo de la nave principal del templo, se observa la disgregación y desprendimiento de los acabados. En el campanario se encontró una severa corrosión del acero en las columnas principales. La estructura presenta lesiones físicas que se dan comúnmente por la acción de diferentes agentes climáticos, como resultado de la humedad, la erosión, la dilatación y la deformación.

En la parte exterior del templo se observa erosión, presencia de musgo y moho, suciedad y desprendimiento. Se detalla que la cimentación está conformada por canto rodado y calicanto, el templo se encuentra en desnivel con respecto a la plaza central del municipio de Ancuya.

#### **2.1.1.2. Inspecciones directas de la patología del templo.**

Durante las visitas de inspección visual, se detectaron patologías directas en el templo, la cual está ubicada en la parte lateral del templo, se evidencia una lesión biológica, posiblemente causada por agentes externos como microorganismos generadores de eflorescencias, cristales de sales de color blanco depositados en la mampostería debido a la humedad.

En la parte superior interna de la cúpula del templo, se observa una lesión física conocida como disgregamiento. Este problema se atribuye a posibles efectos de la humedad, que generan tensiones de expansión y provocan el desprendimiento del revoque del pañete.

La estructura del campanario, exhibe una lesión mecánica y física: la corrosión de la armadura. Esta corrosión es resultado de la exposición a factores climáticos, lo que altera la composición del material de la columna y provoca pérdida de sección tanto en el concreto como en las varillas de acero. Además, se observa suciedad en los elementos.

Se aprecia la corrosión electroquímica con un deterioro severo del acero de las columnas, lo que ha llevado a la pérdida de diámetro de las varillas en el campanario. Por otro lado, se presenta una lesión mecánica ocasionada por tensiones no estabilizadas debido a sobreesfuerzos en el elemento de concreto. Y finalmente se destaca una lesión mecánica de pandeo en las vigas de la parte inferior

del templo. A continuación, se presenta la siguiente tabla con el registro fotográfico obtenido en la visualización de patologías del Templo.

**Tabla 7**

*Inspecciones directas de la patología del templo*

<b>INSPECCIONES DIRECTAS DE LA PATOLOGÍA DEL TEMPLO</b>	
Desprendimiento	Fisuras en la nave principal
	
Corrosión del acero	Eflorescencias en mampostería
	
Lesión mecánica	Pandeo en vigas



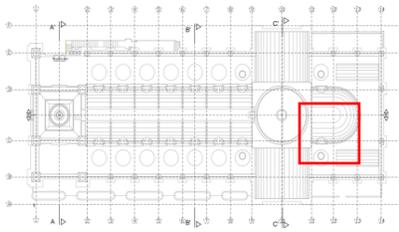
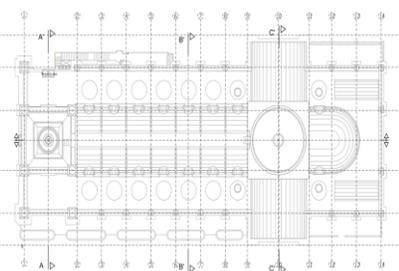
---

La inspección directa de la estructura permitió ubicar las zonas afectadas por fallas y deterioros estructurales, lo que llevó a la elaboración de fichas para cada una de las lesiones encontradas. A continuación, se presenta un resumen de las lesiones identificadas y su ubicación.

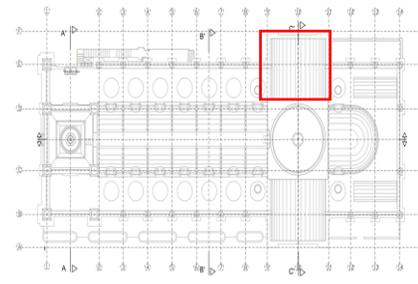
2.1.1.2.1. Lesiones externas e internas.

Tabla 8

Cubierta Bóveda

NIVEL	UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS	EJES	LOCALIZACION GENERAL	LESIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO DE LESIONES
<b>CUBIERTA</b>	Bóveda Central	Eje C-C'-D (11-12-13)		Fisuras, grietas presencia de plantas	
	Boveda derecha	Eje A - B - C (9-10-11)		Fisuras, grietas, presencia de plantas	

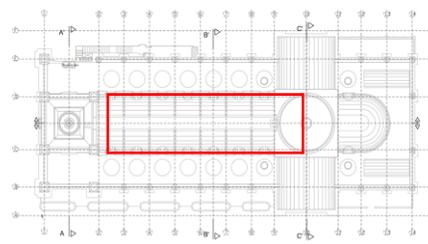
Boveda izquierda Eje D- E- F (9-10-11)



Fisuras  
Grietas



Boveda Central Eje C- C'-D (2-9)

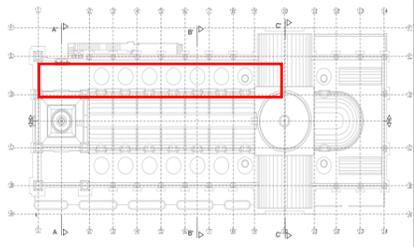
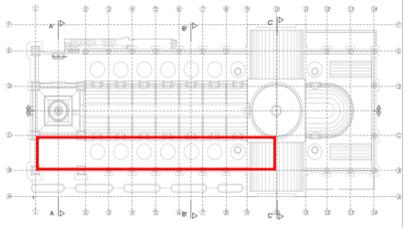


Fisuras  
grietas



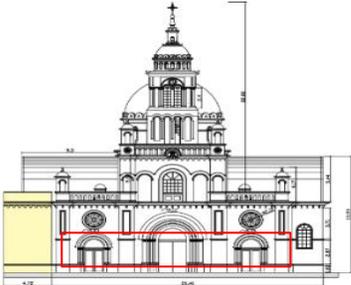
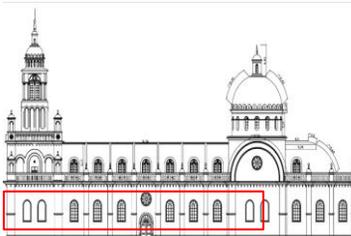
**Tabla 9**

*Cubierta*

NIVEL	UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS	EJES	LOCALIZACION GENERAL	LESIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO DE LESIONES
<b>CUBIERTA</b>	Terraza izquierda	Eje D-E (1-14)		Desprendimientos Moho. Hongos y plantas Humedad Suciedad	
	Terraza derecha	Eje A - B (1-14)		Desprendimientos Moho. Hongos y plantas. Humedad Suciedad	

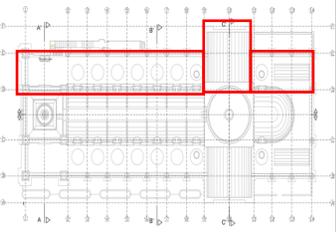
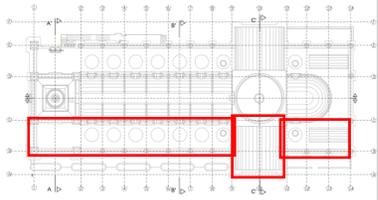
**Tabla 10**

*Fachadas*

NIVEL	UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS	EJES	LOCALIZACION GENERAL	LESIONES	REGISTO FOTOGRFICO DE LESIONES
FACHADA (0-3mt)	FACHADA FRONTAL	Eje A- B- C- D- E		Erosión Presencia de musgo y moho Suciedad Desprendimiento Eflorescencia	
	FACHADA LATERAL	Eje (1-14)		Erosión Presencia de musgo y moho Suciedad	

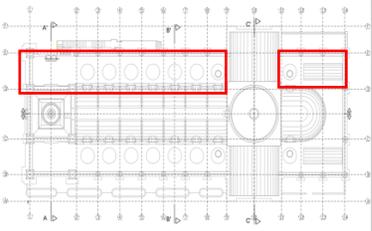
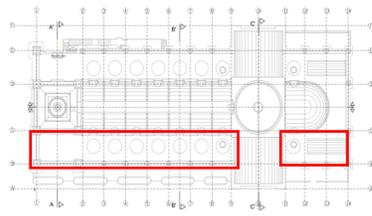
**Tabla 11.**

Zona interna de la nave

NIVEL	UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS	EJES	LOCALIZACION GENERAL	LESIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO DE LESIONES
ZONA INTERNA (0-3mt)	NAVE LATERAL IZQUIEDA	Eje D-E (1-9) (11-14) Eje F (9-11)		Desprendimiento Eflorescencia Suciedad	
	NAVE LATERAL DERECHA	Eje A (9-11) Eje B-C (1-9) (11-14)		Desprendimiento Eflorescencia Suciedad	

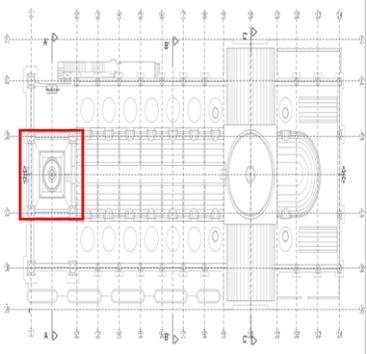
**Tabla 12**

Zona interna

NIVEL	UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS	EJES	LOCALIZACION GENERAL	LESIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO DE LESIONES
ZONA INTERNA (3-10 mt)	NAVE LATERAL IZQUIEDA	Eje D-E (1-9) (11-14)		Desprendimiento Eflorescencia Suciedad	
	NAVE LATERAL DERECHA	Eje B-C (1-9) (11-14)		Desprendimiento Eflorescencia Suciedad	

**Tabla 13**

*Campanario*

NIVEL	UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS	EJES	LOCALIZACION GENERAL	LESIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO DE LESIONES
<b>CAMPANARIO</b>	CAMPANARIO	Eje C-D (1-2)		<p>Desprendimiento</p> <p>Eflorescencia</p> <p>Suciedad</p> <p>Humedad</p> <p>Grietas</p> <p>Musgo y moho</p> <p>Erosion</p> <p>Oxidacion</p> <p>Corrosión</p> <p>Fisuras</p> <p>Carbonatación</p>	

### **2.1.1.3. Recolección de información del proceso constructivo del Templo (historia clínica).**

Se llevó a cabo la recolección de información sobre el Templo a través de entrevistas realizadas a personas pertenecientes al municipio de Ancuya, quienes basándose en la tradición oral, relataron la historia del templo, destacando sucesos y eventos a lo largo del tiempo; además, se encontraron fotografías que evidenciaban las distintas partes, procesos y fases constructivas del santuario, lo que permitió identificar diversas características relacionadas con los materiales y las técnicas de construcción empleadas.

En primer lugar, se tuvo en cuenta la entrevista realizada a la docente investigadora e historiadora, Irma Zambrano Egas. A lo largo de su vida, la autora ha dedicado esfuerzos para documentar la historia del municipio, habiendo publicado sus hallazgos en diversos libros, reseñas y obras literarias y teatrales. Para este proyecto, se consideró su obra titulada "Solo recuerdos" del año 2015.

Asimismo, se recopiló información mediante entrevistas a personas de la tercera edad que habían participado en la construcción del santuario o tenían conocimiento de su historia. En este sentido, los señores Evelio Casanova, residente en la ciudad de San Juan de Pasto, y Clelio Flores, residente en la vereda El Llano (municipio de Ancuya), fueron de gran ayuda para complementar la línea de tiempo, aportando datos precisos e interesantes desde la época de la coronación canónica de la virgen hasta los años 2000.

Por último, las fotografías recolectadas para esta investigación fueron proporcionadas por el señor Bolívar Melo, residente del municipio de Ancuya. Estas imágenes históricas, de diversas fechas y épocas del santuario, fueron recopiladas sin conocerse los autores de las mismas.

Toda esta información es relevante para comprender la evolución de la estructura y las posibles causas de las patologías o daños presentes en el Templo. Tras completar la recopilación de datos, fue posible desarrollar una línea de tiempo que narra la historia y construcción del "Santuario de Nuestra Virgen de Visitación del municipio Ancuya", la cual se presenta a continuación:

Figura 17

Línea del tiempo (Historia del santuario de nuestra señora de la visitación)





#### **2.1.1.4. Levantamiento arquitectónico de la edificación.**

Los planos arquitectónicos se obtuvieron mediante solicitud a los encargados del templo, quienes aprobaron el acceso a estos recursos. Estos planos fueron realizados por el Arq. Holman Morales Upegui, encargado de dirigir el levantamiento, con la colaboración de la Arq. Amanda Ordoñez Bravo, subdirectora del equipo de apoyo, y los ingenieros patólogos Ing. Yohany Villacrez e Ing. Nilo Lopez. El levantamiento de los planos fue realizado por Luis Alejandro Morales y Holman Morales.

Este recurso permite identificar la ubicación de los distintos elementos que componen el templo, lo cual es esencial para localizar áreas afectadas por daños o patologías. Estos planos se encuentran detallados en el *Anexo I*.

#### **2.1.1.5. Clasificación de lesiones y agentes causantes.**

Después de realizar la inspección directa de patologías, se identificaron los lugares que presentan estas fallas. Se procedió entonces a elaborar una tabla en la cual se detallan los daños más notables en la estructura. En esta tabla se incluye información sobre el tipo de lesión, acompañada de sus respectivas fotografías, una descripción de la misma, las posibles causas y su ubicación. A continuación, se muestra el cuadro comparativo:

**Tabla 14**

*Clasificación de lesiones*

<b>CLASIFICACION DE LESIONES</b>				
	<b>Evidencia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Posibles causas</b>	<b>Ubicación</b>
<b>Lesiones encontradas</b>		Se encuentran agentes externos como presencia de microorganismos que generan este tipo de patología.	Puede ser ocasionado por la humedad en el ambiente como también por la antigüedad y falta de cuidados al elemento.	Parte lateral del Templo
<b>Biológicas</b>				

---

**Físicas**



Se evidencia desprendimiento de pañete.

Puede ser ocasionado por la infiltración del agua, la cual genera humedad, al igual por las condiciones atmosféricas en las que se presenta el municipio.

Parte superior interna de la cúpula del Templo.

---

**Mecánicas y físicas.**



Se evidencia pérdida de sección en el elemento; tanto de concreto como en las varillas de acero. Se observa suciedad en los elementos.

Su causa puede ser las sobrecargas que ha recibido en la edificación, ningún mantenimiento realizado desde la construcción de estos elementos. En cuanto a la suciedad es debida a los excrementos de los animales (palomas y tórtolas).

Estructura del campanario.

---

**Electroquímica**



Se evidencia una corrosión severa en el acero de las columnas como pérdida de diámetro de varillas. Su causa se puede deber a minerales presentes en el ambiente debido a su cercanía con el Volcán de Galeras y falta de recubrimiento. Estructura del campanario.

---

**Mecánica**



Sobreesfuerzo en el elemento de concreto. Esta viga sostiene las campanas que generan un sobrepeso significativo para este elemento; además de encontrarse estas en movimiento. Estructura del campanario.

---

<b>Física</b>		Se evidencia Puede ser ocasionado por la desprendimiento de pañete. infiltración del agua, la cual genera humedad, al igual por las condiciones atmosféricas en las que se presenta el municipio.	Parte superior interna de la cúpula del Templo.
<b>Física</b>		Se evidencian 2 grietas longitudinales a lo largo de la nave principal. Puede deberse a una impermeabilización de la nave principal, donde se instaló un material diferente al de la nave para acabar con este problema; generando también sobreesfuerzos en la nave por el gran espesor impuesto.	Nave principal.

---

---

**Mecánica**



Se evidencia pandeo en las vigas. Puede deberse al mal diseño del elemento, o a sobreesfuerzos que generan a estas vigas. Parte inferior interna del Templo.

---

### 2.1.1.6. Elaboración de fichas patológicas.

Fichas patológicas que registra de manera más detallada las condiciones, alteraciones y daños presentes en una estructura, en este caso, el templo de Ancuya. La finalidad principal de las fichas patológicas es identificar y documentar los problemas que afectan al templo, para luego tomar decisiones informadas sobre las intervenciones necesarias para su conservación y restauración.

En el caso de los templos patrimoniales y en el Templo de Ancuya, las fichas patológicas no solo se centran en los aspectos visibles, como grietas, desprendimientos o deterioro de elementos decorativos, sino que también abarcan aspectos menos evidentes como los procesos químicos que afectan a los materiales, la humedad, la exposición a agentes climáticos y la acción de agentes biológicos. Se realiza 205 fichas patológicas (*Ver Anexos 3*):

Las fichas patológicas presentan la siguiente información: fecha, identificación específica, tipo de lesiones, registro fotográfico de lesiones, esquema y localización general como se muestra a continuación:

**Figura 18**

*Ficha patológica modelo*

**Universidad Mariana** F001-ID(C)-0

**FICHA IDENTIFICACION Y CLASIFICACION DE LESIONES**

FECHA: 22/03/2023

**IDENTIFICACION GENERAL**

Proyecto: Consultoría templo ancuya      Grupo de uso: II

Localización: Municipio de Ancuya      Fecha construcción: 1934

**IDENTIFICACION ESPECIFICA**

NOMBRE DEL ELEMENTO: BOVEDA CENTRAL EJE C - C' - D (11 - 12 - 13)

UBICACION GENERAL

EJE: C - C' - D (11 - 12 - 13)      NIVEL: CUBIERTA

MATERIAL / TECNICA CONSTRUCTIVA: MORTERO

PRUEBAS REALIZADAS, MUESTRAS TOMADAS Y/O INTERVENCIONES PREVIAS

2000: IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA EN DOS CAPAS: PRIMERA CAPA ( BREA CALIENTE CON UNA BROCHA) Y SEGUNDA CAPA ( BREA MAS ASFALTO)

**TIPOS DE LESIONES**

<p><b>FISICAS</b></p> <p><input type="checkbox"/> Humedad</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Humedad</p> <p><input type="checkbox"/> Erosión</p> <p><input type="checkbox"/> Otras</p>	<p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p> <p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p>	<p><b>QUÍMICAS</b></p> <p><input type="checkbox"/> Eflorescencias</p> <p><input type="checkbox"/> Carbonatación</p> <p><input type="checkbox"/> Oxidación</p> <p><input type="checkbox"/> Corrosión</p> <p><input type="checkbox"/> Organismos</p> <p><input type="checkbox"/> Erosión</p> <p><input type="checkbox"/> Otras</p>	<p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p> <p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p>
<p><b>MECÁNICAS</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Grietas</p> <p><input type="checkbox"/> Fisuras</p> <p><input type="checkbox"/> Desprendimientos</p> <p><input type="checkbox"/> Erosión</p> <p><input type="checkbox"/> Otras</p>	<p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p> <p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p>	<p><b>BIOLÓGICOS</b></p> <p><input type="checkbox"/> Insectos</p> <p><input type="checkbox"/> Moho y hongos</p> <p><input type="checkbox"/> Plantas salv.</p> <p><input type="checkbox"/> Animales-Platoma</p> <p><input type="checkbox"/> Otras</p>	<p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p> <p>GENERAL/PUNTUAL-LOCALIZADA</p> <p>GENERAL</p>

**LESIONES**

**ESQUEMA**

**LOCALIZACIÓN GENERAL**


**Universidad Mariana**
**FM01-ED(C)-9**

**FICHA DE EVALUACION Y DIAGNOSTICO (LESIONES FISICAS)**

**LESIÓN**










**ESTADO**     Leve     Avanzado     severo     Crítico

**CARACTERIZACIÓN DE LA LESIÓN**

- **GRIETAS TRANSVERSALES:** Se presentan 6 grietas transversales representativas en toda la bóveda, con una separación de \_\_\_\_ entre cada una de ellas y una longitud de \_\_\_\_\_. Su espesor varía de 2.5 mm a espesores mayores de 4.5 mm.
- **GRIETAS LONGITUDINAL:** Se observa dos grietas longitudinales de gran importancia, la primera se ubica en todo el centro de la bóveda, con un espesor de 3.0 mm y una longitud de 2.85 m. La segunda grieta, se presenta en el lateral derecho de la bóveda, la cual, consta de un espesor de 2.5 mm y una longitud de 5.3 m.
- **MAPEO DE GRIETAS GENERALIZADO:** se presenta un mapeo de grietas de 2.5 mm y 3mm en toda la zona en general, las cuales se identificaron con puntos de color rojo.
- **SUCIEDAD GENERALIZADA:** Se observa suciedad en toda la zona.

2.1.1.7. Mapa de lesiones.

Dentro del estudio patológico realizado al Templo, se realizó el mapa de lesiones presentes en la nave principal, en la bóveda derecha, bóveda izquierda y bóveda central. En el diagnóstico, es muy común encontrar patologías como fisuras, suciedad, humedad, erosión, grietas, desprendimientos, eflorescencias, carbonatación, oxidación, corrosión, organismos, insectos, moho y hongos, plantas superficiales y animales; los cuales en el mapa de lesiones se representan con un color y textura diferente cada uno para identificarlos.

Se realizó el mapa de lesiones en los lugares más críticos del Templo; los cuales son la cubierta que presenta dos fisuras longitudinales a lo largo de ella y la torre del campanario en la cual se observó las patologías más severas. Los mapas de lesiones se muestran en los *Anexos 4*.

Las lesiones presentadas en estas estructuras se diferencian por colores y texturas para su respectiva ubicación como se indica en la siguiente tabla:

**Figura 19**

*Convenciones mapa de lesiones*

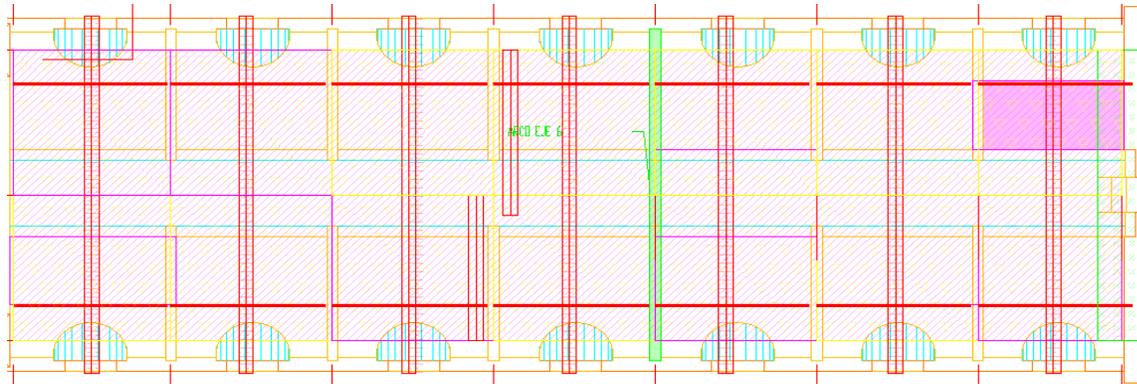
CONVENCIONES	
	FISURAS
	SUCIEDAD
	HUMEDAD
	EROSIÓN
	GRIETAS
	DESPRENDIMIENTO
	EFLORESCENCIAS
	CARBONATACIÓN
	OXIDACIÓN
	CORROSIÓN
	ORGANISMOS
	INSECTOS
	MOHO Y HONGOS
	PLANTAS SUPF
	ANIMALES-PALOMA

#### *2.1.1.7.1. Mapa de lesiones en la cubierta*

En la nave principal, entre los ejes verticales 2-9 y los ejes horizontales entre el C-C`- D, se pudo encontrar patologías como fisuras, suciedad, grietas, moho y hongos; detallándolas en las fichas patológicas y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 20**

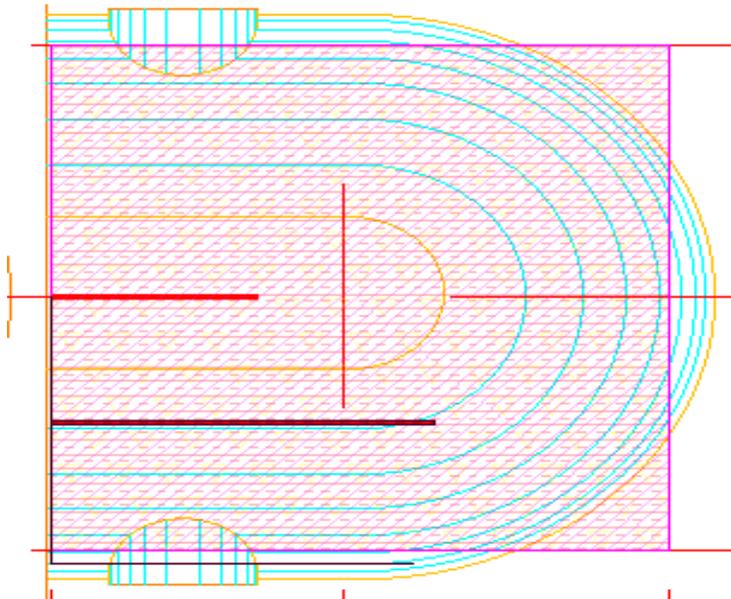
*Mapa de lesiones en la nave principal*



En la bóveda central, comprendida entre los ejes verticales 11-12 -13 y los ejeshorizontales C-C`-D, se encontró patologías como grietas, fisuras y plantas superficiales: detallándolas en las fichas patológicas y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 21**

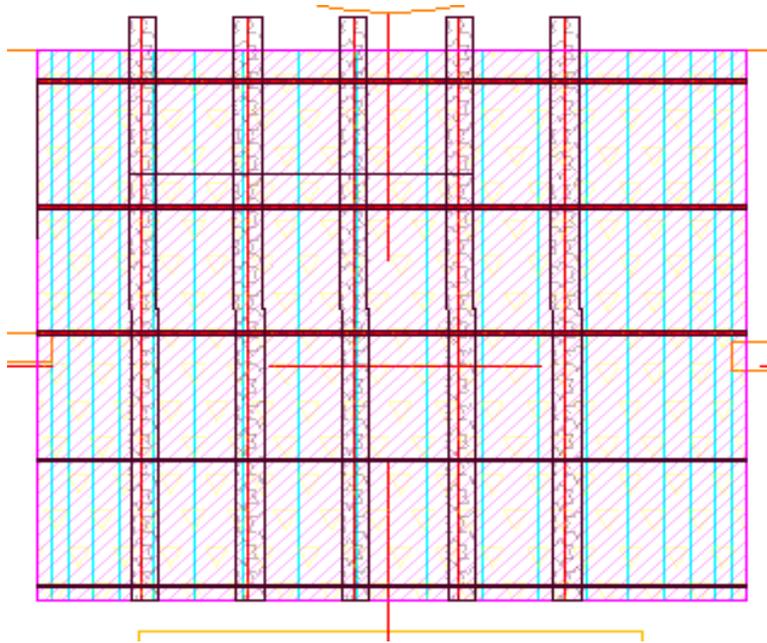
*Mapa de lesiones en la bóveda central*



En la bóveda derecha, comprendida entre los ejes verticales 9-10-11 y los ejes horizontales A-B-C, se encontró patologías como grietas, fisuras y plantas superficiales; detallándolas en las fichas patológicas y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 22**

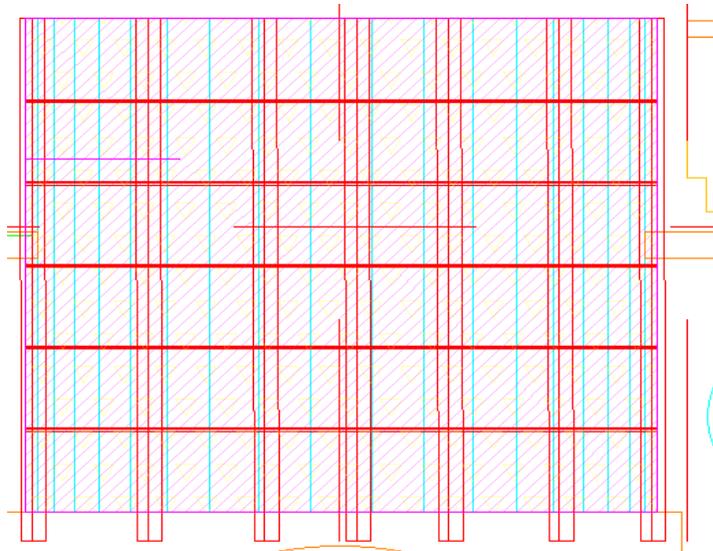
*Mapa de lesiones en la bóveda derecha*



En la bóveda izquierda, comprendida entre los ejes verticales 9-10-11 y los ejeshorizontales D-E-F, se encontró patologías como grietas y fisuras; detallándolas en las fichas patológicas y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 23**

*Mapa de lesiones en la bóveda izquierda*

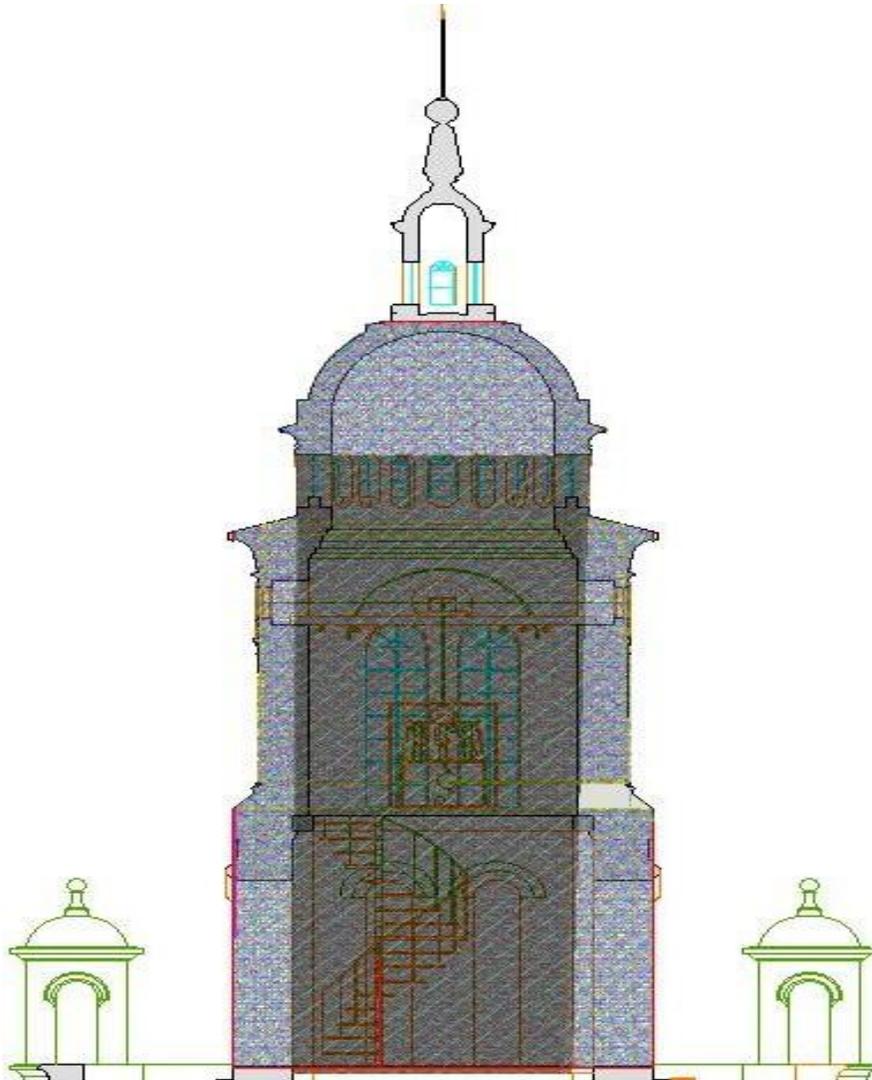


**2.1.1.7.2. Mapa de lesiones de la torre de campanario.**

En la torre del campanario se evidenciaron patologías como suciedad, oxidación, moho y hongos, humedad, grietas, fisuras, erosión, eflorescencias, desprendimiento, corrosión, carbonatación y animales como las palomas; detallándolas en el corte D-D' longitudinal del levantamiento arquitectónico indicado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 24**

*Mapa de lesiones en la torre del campanario*



Se observa los esfuerzos por flexión en el cañón de la bóveda, donde se fundió una losa en concreto sobre la clave de la nave central, lo que hace, que el arco tenga una descompensación por rigidez, reflejándose patológicamente en forma de fisuras paralelas al lado mayor de la bóveda de la nave central; las cuales, se reflejan por acción y reacción de la intervención posterior (Castillo Valencia, 2023).

### **2.1.1.8. Realización del ensayo no destructivo con FerroScan.**

El equipo PS-300 FerroScan se emplea para la detección sonora y visual, así como para determinar la profundidad y estimar el diámetro de metales ferrosos y no ferrosos dentro de una armadura de concreto, como las varillas de refuerzo.

El presente ensayo se realizó en la nave principal del templo, con la asistencia de un asesor que proporcionó acompañamiento en el manejo del FerroScan, líneas de vida, arnés y personal capacitado en alturas. Esta colaboración permitió obtener lecturas mucho más detalladas, las cuales son de gran utilidad en el proceso de investigación para determinar los elementos estructurales que conforman la estructura de la nave. Dichas mediciones se tomaron en puntos específicos: el lado izquierdo, derecho y central de la nave. La fecha de realización del ensayo fue el 3 de marzo de 2023.

Proporciona información detallada sobre la distribución y características de las barras de refuerzo en diferentes zonas de una estructura, presumiblemente una nave principal. Se describen lecturas y resultados en cinco zonas específicas:

**Zona 1 - Barras entre ejes 2-3:** En esta zona se realizaron 9 lecturas que detallan los resultados obtenidos sobre el número de varillas, su diámetro y el recubrimiento. Se identificaron varillas verticales de 8 mm de diámetro y varillas horizontales de 10 mm de diámetro, ambas con un recubrimiento de 100 mm y separadas a una distancia de 100 mm entre los ejes 2-3.

**Zona 2 - Barras entre ejes 8-9:** En la segunda zona se llevaron a cabo 9 lecturas similares. Se identificaron varillas verticales de 8 mm de diámetro y varillas horizontales de 10 mm de diámetro, con un recubrimiento de 100 mm y separadas a una distancia de 110 mm entre los ejes 8-9.

**Zona 3 - Barras entre ejes 6-7:** En esta zona se realizaron 9 lecturas, pero en la última lectura no se encontró presencia de varillas. Se identificaron varillas verticales de 8 mm de diámetro y varillas horizontales de 10 mm de diámetro, con un recubrimiento de 100 mm y una separación de 80 a 110 mm entre los ejes 6-7.

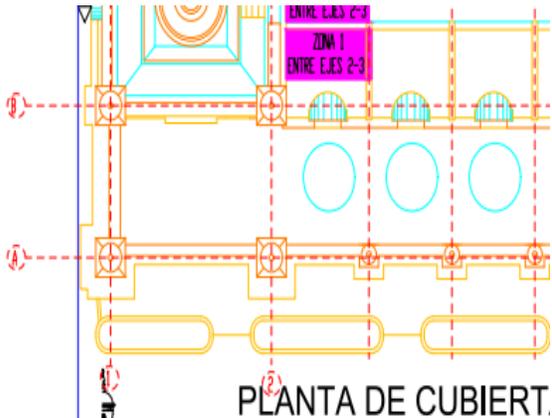
**Zona 4 - Barras entre ejes 2-3:** En la cuarta zona se realizaron 9 lecturas, y solo en 4 de ellas se encontraron varillas. Las varillas eran verticales y horizontales de 8 mm de diámetro, con un recubrimiento de 100 mm y separadas por una distancia de 100 mm entre los ejes 2-3.

**Zona 5 - Barras en el eje 6:** En la última zona, en el eje 6, se realizaron 8 lecturas. De estas, solo en 4 se encontraron varillas. Se identificaron varillas verticales y horizontales de 16 mm de diámetro, con un recubrimiento de 50 a 90 mm y separadas por una distancia de 100 mm en la zona del arco fajón del eje 6.

En general, el resumen del texto proporciona detalles sobre las características de las barras de refuerzo en diferentes zonas de la estructura, incluyendo el número de varillas, diámetros, recubrimiento y separación entre las mismas. A continuación, se presenta la tabla con los resultados obtenidos por las diferentes zonas, los resultados se muestran en los *Anexos 2*:

**Tabla 15**

*Resultados FerroScan*

<b>RESULTADOS FERROSCAN</b>	
<b>ZONA 1 N. BARRAS ENTRE EJES 2-3</b>	
Elemento ensayado	Localización general
	 <p style="text-align: center;"><b>PLANTA DE CUBIERT.</b></p>
Información	

---

Diámetro: 8 mm verticales, 10 mm horizontales.

Recubrimiento 100 mm

Separación 100 mm

---

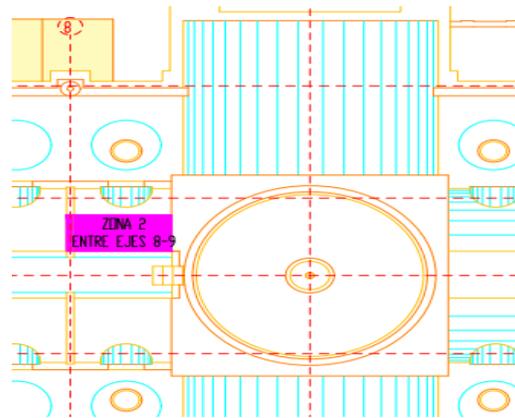
**ZONA 2 N. BARRAS ENTRE EJES 8-9**

---

Elemento ensayado

Localización general

---



---

Información

---

Diámetro: 8 mm verticales, 10 mm horizontales.

Recubrimiento 100 mm

Separación 100 mm

---

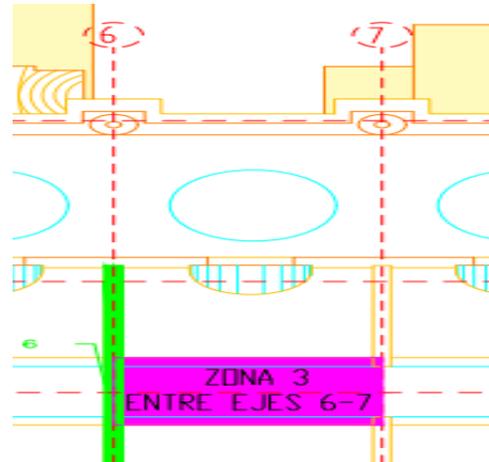
**ZONA 3 N. BARRAS ENTRE EJES 6-7**

---

Elemento ensayado

Localización general

---



Información

Diámetro: 8 mm verticales, 10 mm horizontales.

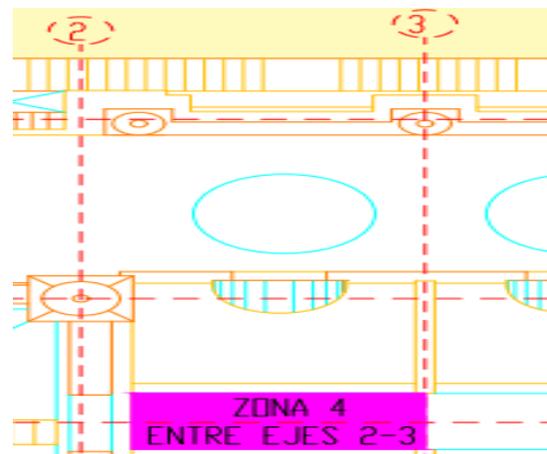
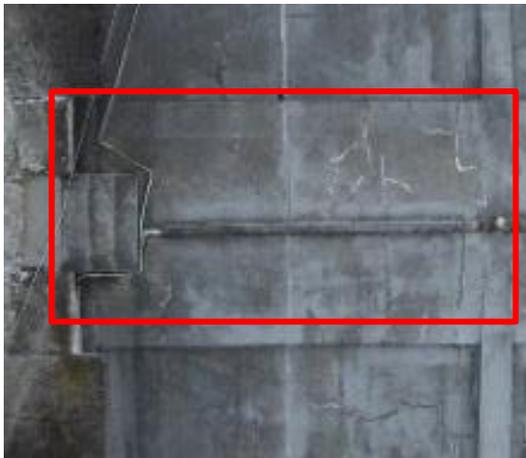
Recubrimiento 100 mm

Separación 80 mm a 100 mm

**ZONA 4 N. BARRAS PARTE CENTRAL EJE 2-3**

Elemento ensayado

Localización general



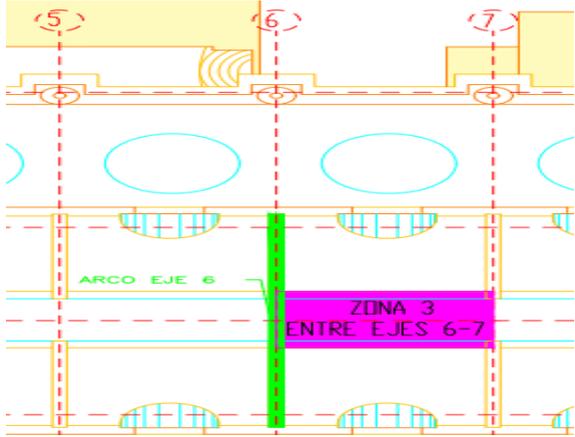
Información

Diámetro: 8 mm verticales, 10 mm horizontales.

Recubrimiento 100 mm

Separación 100 mm

**ZONA 5 N. BARRAS ARCO FAJON EJE 6**

Elemento ensayado	Localización general
	
Información	
<p style="text-align: center;">Diámetro: 8 mm verticales, 10 mm horizontales.                      Recubrimiento 100 mm                      Separación: 100 mm</p>	

### 2.1.1.9. Exploraciones físicas con calas.

Se procedió a llevar a cabo la ejecución de 16 calas en distintas zonas de la cubierta del templo. El objetivo de estas calas era identificar los diferentes materiales presentes en la estructura de la iglesia Nuestra Señora de la Visitación y su arreglo espacial. Adicionalmente, esta acción permitió corroborar la existencia y distribución del acero en diferentes secciones de la cubierta, así como determinar las características del acero utilizado, el método de anclaje en las zonas donde estaba presente, el tipo de grava empleado en la mezcla de concreto y diversos tipos de ladrillos utilizados en la construcción. También, se pudo identificar las diferentes capas de materiales que conforman las diversas partes del templo, como cúpulas, bóvedas, naves, entre otros.

Para llevar a cabo estas investigaciones, se requirió retirar los bloques de construcción horizontalmente, con el fin de obtener un conocimiento más detallado sobre la disposición y dimensiones de la mampostería utilizada.

### **2.1.1.9.1. Localización de lecturas.**

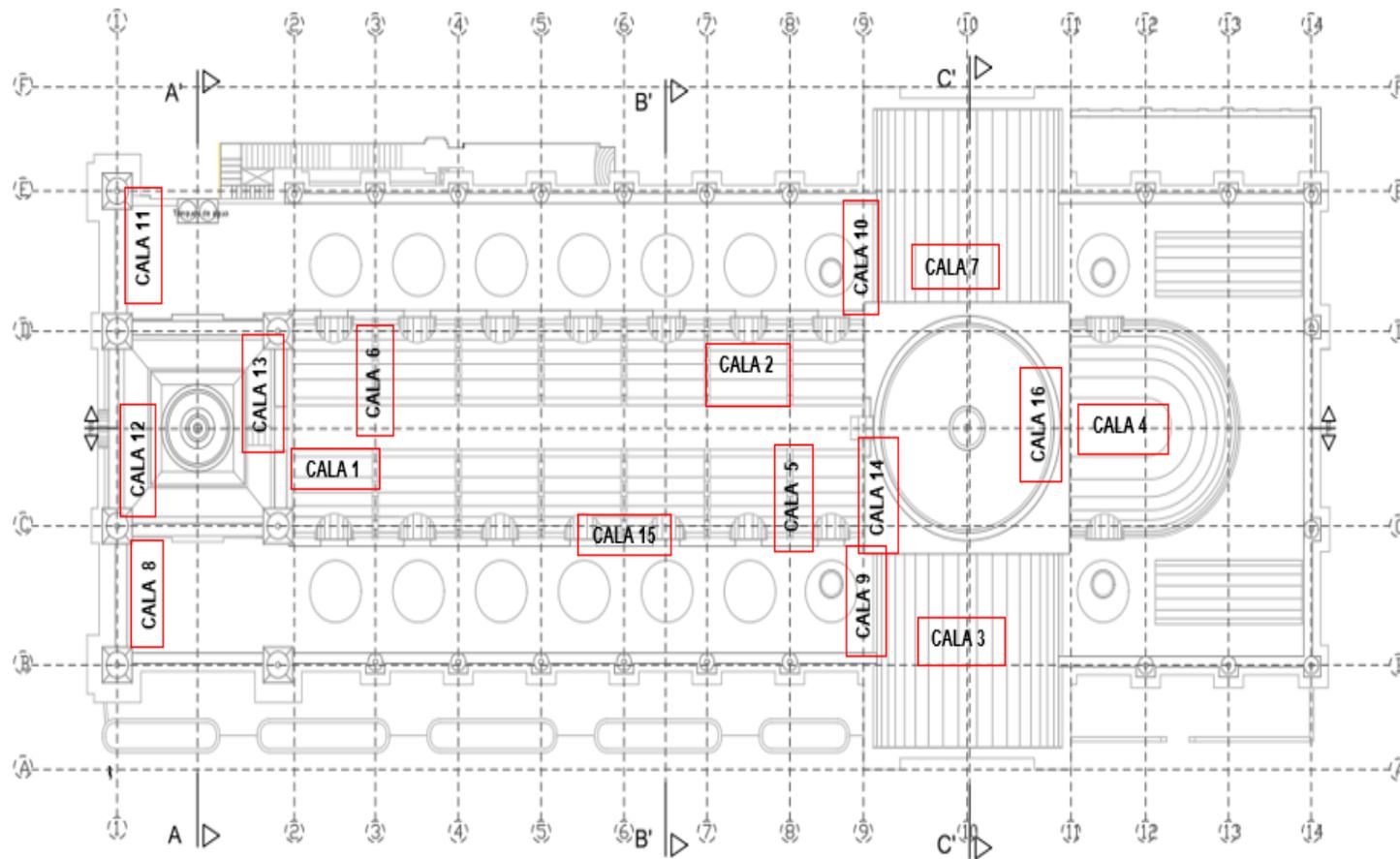
Se realizaron en total 16 exploraciones, ubicadas en diferentes puntos o zonas estratégicas. Así pues, se determinaron las siguientes zonas:

- Exploración 1: Presente en la zona derecha de la cubierta de la nave central. Entre ejes (C-C') y ejes (2-3)
- Exploración 2: Presente en la zona izquierda de la cubierta de la nave central. Entre ejes (C'-D) y ejes (7-8)
- Exploración 3: Presente en la zona central de la cubierta de la bóveda derecha. Entre ejes (B-C) y sobre el eje (10)
- Exploración 4: Presente en la zona central de la bóveda ubicada en la parte de atrás. Sobre el eje (C') y entre ejes (11-12)
- Exploración 5: Presente en el arco fajón del lado derecho de la nave central. Sobre el eje (8)
- Exploración 6: Presente en el arco fajón del lado izquierdo de la nave central. Sobre el eje (4)
- Exploración 7: Presente en la zona central de la bóveda izquierda. Entre ejes (D-E) y sobre el eje (10)
- Exploración 8: Presente en la terraza derecha. Junto al eje (1) y entre ejes (B-C)
- Exploración 9: Presente en la terraza derecha. Junto al eje (9) y entre ejes (B-C)
- Exploración 10: Presente en la terraza izquierda. Junto al eje (9) y entre ejes (D-E)
- Exploración 11: Presente en la terraza izquierda. Junto al eje (1) y entre ejes (D-E)
- Exploración 12: Presente en la parte inferior del campanario. Junto al eje (1) y entre ejes (C-C')
- Exploración 13: Presente en la parte inferior del campanario. Junto al eje (2) y entre ejes (C'-D)
- Exploración 14: Presente en la zona inferior del tambor perteneciente a la cúpula de atrás. Junto al eje (9) y entre ejes (9-10), (C - C')
- Exploración 15: Presente en la zona inferior del arco fajón del lado derecho de la nave central. Sobre el eje (6)

- Exploración 16: Presente en la zona inferior de la cúpula de atrás. Entre ejes (10-11) y sobre el eje (C').

Figura 25

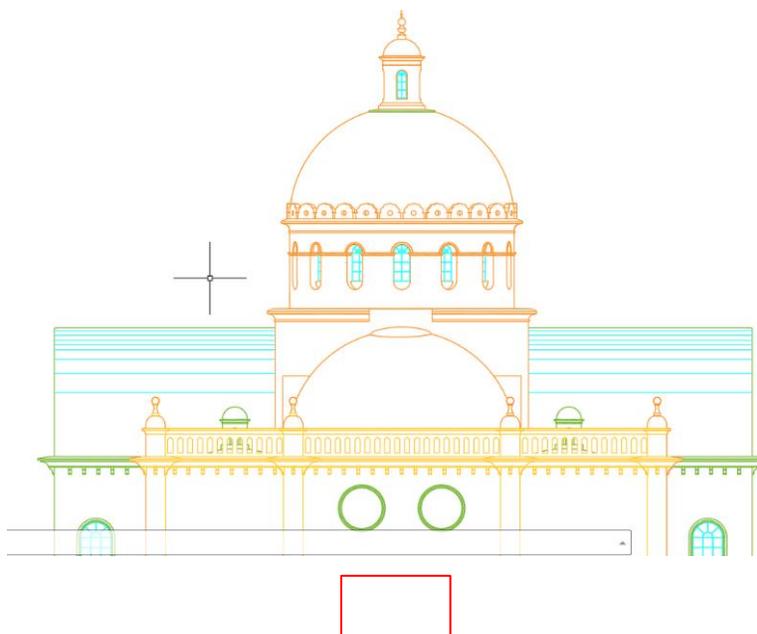
Planta de cubierta- santuario nuestra señora de la visitación



Nota. Fuente: OM Ingeniería-año 2023.

## Figura 26

*Fachada posterior- santuario nuestra señora de la visitación*



*Nota.* Fuente: OM Ingeniería-año 2023.

### **2.1.1.9.2. Resultados.**

Para la realización de estas exploraciones con ayuda de la empresa OM ingeniería se destacó los siguientes resultados:

- Exploración 1 (cala 1), se realizó la exploración hasta la máxima profundidad de la nave central la cual fue de 40 cm, permitiendo descartar la presencia de acero y conocer la disposición de los mampuestos.
- Exploración 2, 3, 4 (calas 2, 3 y 4), a dichas exploraciones se les retiró la capa de mortero, permitiéndonos observar la materialidad de mampuestos y juntas, así como también la disposición de los mismos
- Exploración 5, 6 (calas 5, 6), nos permitieron confirmar la presencia de acero, tipo de acero, diámetro de las barras y flejes y diferentes características de los materiales que conforman dicha zona donde se realizó estas calas.
- Exploración 7 (cala 7), se realizó la exploración sobre la bóveda izquierda hasta una profundidad de 56 cm, aquello permitió descartar la presencia de acero, identificar material de

relleno utilizado y observar los diferentes tipos de mampuesto que conforman dicha viga, al igual que su disposición y materialidad.

- Exploración 8, 9, 10, 11 (cala 8, 9, 10, 11), las diferentes exploraciones realizadas permitieron descartar la presencia de acero, identificar material de relleno utilizado, observar los diferentes tipos de mampuesto al igual que sus dimensiones y disposición. Cabe aclarar que, pese a que las calas se realizaron en zonas similares de la terraza izquierda y derecha, arrojaron resultados diferentes en cuanto a capas de materialidad se refiere.

- Profundidad total cala 8: 65 cm
- Profundidad total cala 9: 17 cm
- Profundidad cala total 10: 17 cm
- Profundidad total cala 11: 38 cm

Adicionalmente, se logró deducir que sobre la terraza derecha e izquierda se han implementado diferentes estrategias con el fin de conservar el santuario en óptimas condiciones. Inicialmente se implementó una capa de mortero de 3 cm de espesor, un tiempo después se optó por esparcir una capa de emulsión asfáltica (4 mm de espesor), al parecer, tras no cumplir con los resultados esperados, se decretó colocar una nueva capa de mortero (2 cm de espesor), esta capa presentaba un alto nivel de humedad y se rompía con facilidad. Finalmente, optaron por colocar una membrana (SARNAFIL- MEMBRANA DE PVC PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTAS REFORZADA CON POLIESTER) para brindarle al santuario las mejores condiciones evitando las filtraciones y diferentes afectaciones o patologías que esta afectación puede contraer.

- Exploración 12, 13 (calas 12, 13), a dichas exploraciones realizadas sobre la parte inferior del campanario se les retiró la capa de mortero, permitiéndonos observar la materialidad de mampuestos y juntas, así como también la disposición de los mismos.

- Exploración 14 (calas 14), permitió observar que los mampuestos estaban tallados y colocados de manera no simétrica, su estética no es conocida ya que en las diferentes exploraciones realizadas no se había encontrado una disposición de mampuestos tan variada.

- Exploración 15 (cala 15), por medio de esta exploración permitió encontrar la profundidad a la que estaba el anclaje, así como también las características de la viga a la cual estaba anclado el arco fajón y del concreto utilizado para su fundición; entre otras cosas, las dimensiones de los

bloques, disposición de las filas de mampuesto retiradas, tipo de acero utilizado, diámetro de las barras y flejes.

- Exploración 16 (cala 16), aquello permitió conocer las dimensiones y disposición de los mampuestos utilizados en la cúpula de atrás (ejes 9-11, C-D) y espesor de la misma. Entre otras cosas, las dimensiones, tipo de acero, diámetros y diferentes materiales que conforman las tres (3) vigas que se evidenció en dicha cúpula por medio de una regata que va desde la parte inferior hasta la parte superior de la misma.

Por ende, se realizan planos donde se especifica la materialidad del templo según las exploraciones físicas anteriormente mencionadas, a continuación, se muestra las convenciones y los respectivos planos (*Ver anexo 5*):

### Figura 27

#### *Convenciones de materialidad del Templo*

CONVENCIONES	
	MORTERO
	CONCRETO SIMPLE
	CONCRETO REFORZADO
	MAMPOSTERIA
	LIMO POCO PLÁSTICO (CAFÉ)
	MADERA
	ACERO
	EMULSIÓN ASFÁLTICA
	MATERIAL DE RELLENO
	SARNAFIL MEMBRANA DE PVC Y POLIESTER
	CONCRETO CICLOPEO

### **2.1.1.10. Ensayos de laboratorio.**

#### ***2.1.1.10.1. Extracción de muretes.***

Durante la investigación en el Templo, se procedió a la remoción de dos muretes con el fin de facilitar el estudio de la resistencia a la compresión de los bloques junto con la pega. El primer murete se encontraba en la base de la sacristía, directamente en la parte inferior del eje E, mientras que el segundo se retiró del segundo piso, al lado de los depósitos de agua, también en el eje E. Para evitar grietas en los muretes que pudieran afectar tanto las muestras como los resultados de los análisis planeados, se realizaron cortes a los costados de los bloques a retirar. Los resultados del ensayo de compresión de los muretes serán realizados por la empresa CONCRELAB y se basarán en la norma técnica colombiana NTC 3495 del 2003, que indica el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

Para la realización de la extracción de muretes, fue necesario tener en cuenta los siguientes términos:

El murete debe estar ubicado en una zona en donde se realice el menor daño posible a la estructura, además que permita la facilidad para la obtención del mismo.

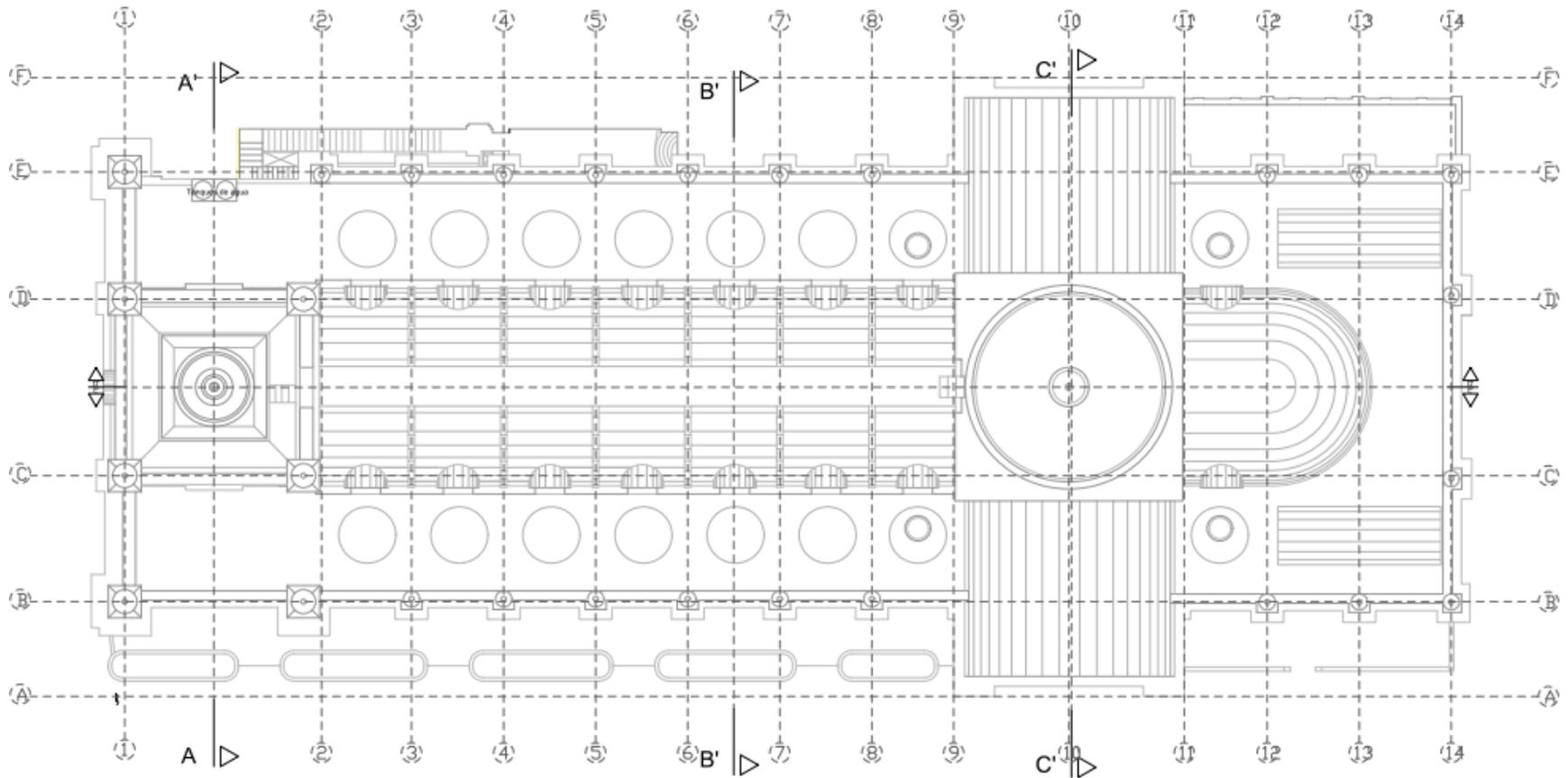
Se debe realizar una reparación adecuada al terminar el retiro de la misma si lo requiere.

Es necesario tomar diferentes extracciones para evaluar su resistencia.

Se realizaron en total 2 extracciones, ubicadas en diferentes zonas estratégicas: la extracción 1 es presente bajo de la sacristía, sobre el eje E, entre eje 11-12; la extracción 2 se presenta en el segundo piso, sobre el eje E, entre ejes 1-2.

**Figura 28**

*Localización extracción de núcleos*



*Nota.* Fuente: OM Ingeniería-año 2023.

Los resultados de compresión de los muretes obtenida por el laboratorio “CONCRELAB” se realizan rigiendo la norma técnica colombiana NTC 3495 del 2003 (Ver Anexos 6). El registro fotográfico se muestra a continuación:

**Tabla 16**

*Registro fotográfico extracción de murete*

<b>EXTRACCIÓN DE MURETES REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>	
<b>Extracción de murete 1</b>	<b>Extracción de murete 2</b>
	
	



Nota. Fuente: Ing. Karen Sofia Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

**2.1.1.10.2. Extracción de piezas individuales que se obtuvo del templo.**

Se procedió a retirar cuatro piezas de mampostería (ladrillos) que forman parte de la configuración arquitectónica del Templo religioso "Nuestra Señora de la Visitación ". Estas piezas estaban ubicadas en distintas áreas del templo, con el propósito de llevar a cabo posteriormente una evaluación de su capacidad de soportar compresión, así como también un análisis detallado de sus propiedades.

Se realizaron en total 4 extracciones, ubicadas en 3 puntos o zonas estratégicas que permitieron la fácil extracción de las piezas sin afectarlas a ellas ni a la zona en donde se encontraba ubicada. Así pues, se determinaron las siguientes zonas

- Zona 1: Muro presente en cubierta al lado izquierdo, cercano a las gradas de acceso a la cubierta.
- Zona 2: Muro presente debajo de la sacristía
- Zona 3: Mampuesto extraído de la primera cala realizada en cubierta.

El registro fotográfico se muestra a continuación:

**Tabla 17**

*Registro fotográfico de extracción de piezas individuales*

---

<b>EXTRACCIÓN DE PIEZAS INDIVIDUALES</b>
<b>Extracción de pieza individual de mampostería 1</b>

---



---

### Extracción de pieza individual de mampostería 2

---



---

### Extracción de pieza individual de mampostería 3

---



---

*Nota.* Fuente: Ing. Karen Sofía Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

Los resultados del ensayo de extracción de piezas individuales rigen las siguientes normas técnicas colombianas NTC 4017 y NTC 4105 (*Ver Anexos 6*).

#### **2.1.1.10.3. Estudio de suelos.**

El análisis geotécnico se realizó sobre un análisis aproximado de sector de 1800 metros cuadrados de área aproximada, en donde se proyecta el desarrollo de vulnerabilidad sísmica de la estructura. (Estructura de Categoría Baja NSR-10 H.3.1.1 destinada a uso institucional). El informe de estudio de suelos indica: la descripción del área del proyecto, localización y exploraciones de campo realizada (apiques y perforaciones), la descripción e identificación de los diferentes estratos del subsuelo, clasificación, caracterización cimentación estructural de categoría baja, cálculo de asentamientos, (*Ver Anexos 6*).

**Tabla 18**

*Descripción e identificación de los diferentes estratos del subsuelo*

<b>DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES ESTRATOS DEL SUBSUELO</b>				
	Peso unitario (Ton/m <sup>3</sup> )	Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ángulo de fricción interna (°)	
<b>APIQUE A-1</b>	1.94	0.228	20.70	
<b>APIQUE A-2</b>	1.56	0.029	22.28	
<b>APIQUE A-3</b>	1.73	0.2564	17.20	
<b>PERFORACION P-1</b>	1.75	0.022	33.09	
<b>PERFORACION P-2</b>	1.75	0.0014	37.03	
<b>PERFORACION P-3</b>	1.75	0.0039	36.12	

A continuación, se muestra el siguiente registro fotográfico:

**Figura 29**

*Registro fotográfico perforación P-1*



*Nota.* Fuente: Ing. Karen Sofía Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

**Figura 30**

*Registro fotográfico perforación P-2*



*Nota.* Fuente: Ing. Karen Sofía Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

**Figura 31**

*Registro fotográfico perforación P-3*



*Nota.* Fuente: Ing. Karen Sofia Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

**Figura 32**

*Registro fotográfico perforación P-3*



*Nota.* Fuente: Ing. Karen Sofia Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

### Figura 33

Registro fotográfico apique A-1



Nota. Fuente: Ing. Karen Sofía Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

### Figura 34

Registro fotográfico apique A-4



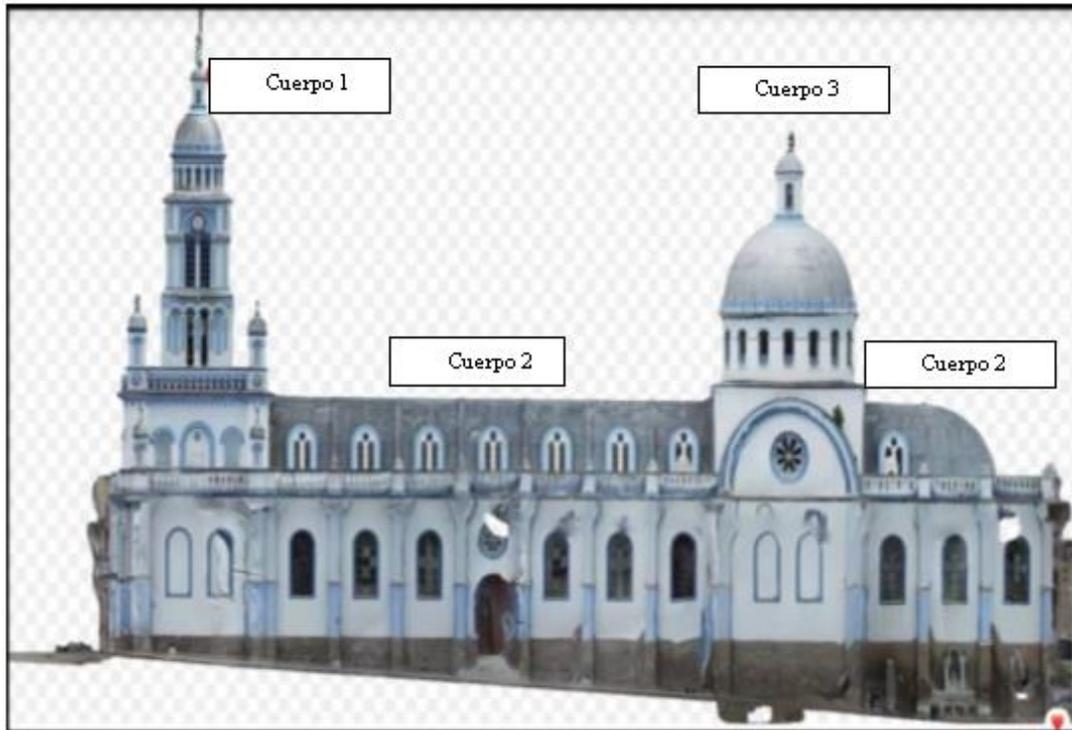
Nota. Fuente: Ing. Karen Sofía Muñoz, OM Ingeniería-año 2023.

#### 2.1.2. Análisis del segundo objetivo

Para la evaluación estructural del templo Nuestra Señora de la Visitación de Ancuya, se clasifica la edificación histórica, por cuerpos, con base en las condiciones dinámicas, teniendo en cuenta la geometría, el cuerpo principal por rigidez, la respuesta inercial con base en la masa, y así, determinar el análisis del comportamiento modal, y a su vez el periodo de vibración fundamental de la estructura, a partir de la frecuencia, relacionado con los coeficientes de amortiguamiento. Para ello se identifican tres cuerpos relacionados por la geometría, la masa y la rigidez (Castillo, 2023).

**Figura 35**

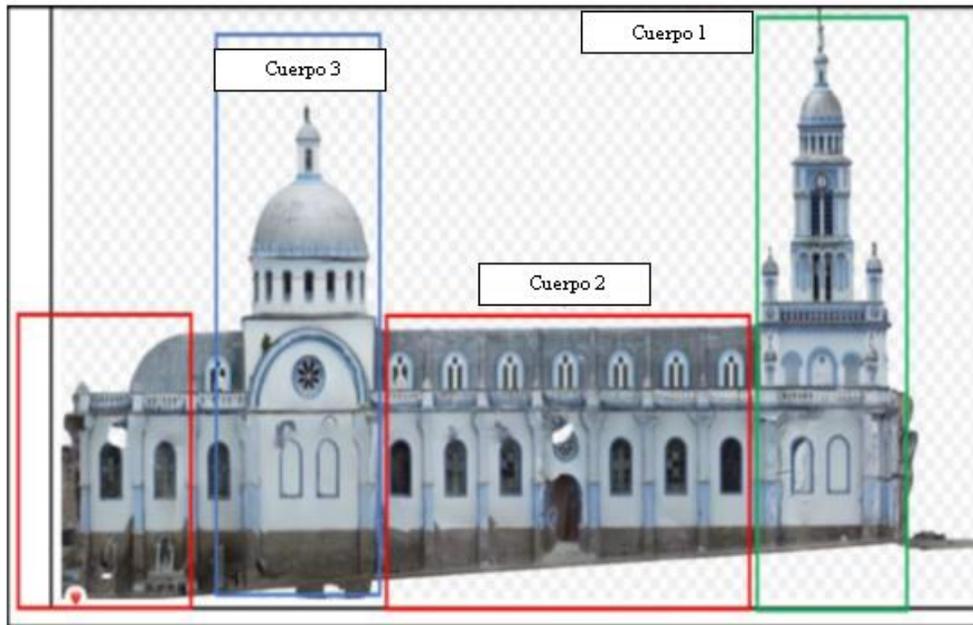
*Evaluación estructural del templo Nuestra Señora de la Visitación de Ancuya*



*Nota.* Fuente: Arq. William Pasuy, Ing. Gabriel Bastidas-año 2023.

**Figura 36**

*Sistema dinámico por cuerpos*



*Nota.* Fuente: Arq. William Pasuy, Ing. Gabriel Bastidas-año 2023.

El sistema estructural del cuerpo 2, está conformado por 6 arco fajón y 2 torales en los extremos de la nave central; los cuales configuran el sistema principal de carga, a su vez reciben la transmisión de cargas a través de la bóveda cañón. Cada arco fajón y toral a 16 nivel de la imposta, se conecta con pilares o columnas lobuladas, los cuales transmiten las cargas al suelo mediante una basa ampliada para re distribuir los esfuerzos (Arciniegas, 2023).

**Figura 37**

*Sistema estructural de la nave central y lateral del segundo cuerpo*

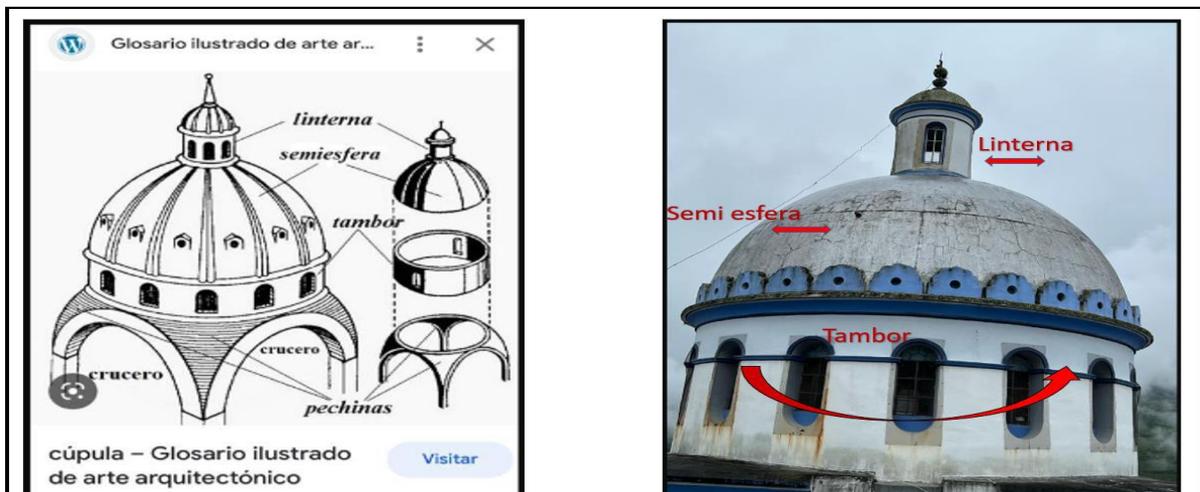


*Nota.* Fuente: Arq. William Pasuy-año 2023.

El sistema estructural del crucero de la cúpula central, del tercer cuerpo del templo de Nuestra Señora de la Visitación de Ancuya, trabaja mediante la interacción gravitacional de cargas, que transmite la linterna sobre la semi esfera central, la cual a su vez se apoya en el tambor y así se conecta a través de las pechinas y columnas lobuladas para distribuir las cargas al suelo a través de basas (Arciniegas, 2023)

**Figura 38**

*Sistema estructural cúpula central del crucero del tercer cuerpo*



*Nota.* Fuente: Glosario ilustrado de arte arquitectónico (imagen 1), William Castillo Valencia (imagen 2)-año 2023.

El templo cuenta con unas culatas externas de los muros en la parte exterior de las naves laterales, con un sistema estructural de estribos o contrafuertes, como un mecanismo de soporte o ampliación del muro, para resolver los empujes laterales que ejerce la acción vectorial de los arcos, al desarrollar la componente lateral ejercida por la superficie de los mismos; de tal manera, que los contra fuertes resuelven los empujes laterales; así la construcción, se caracteriza por la ampliación de pilastras adosadas en el exterior, con el propósito de confinar los muros laterales de culatas y resolver el esquema estructural de componentes vectoriales horizontales. De esta manera los contras fuertes estabilizan la estructura apoyados por su propio peso (Castillo Valencia, 2023).

### Figura 39

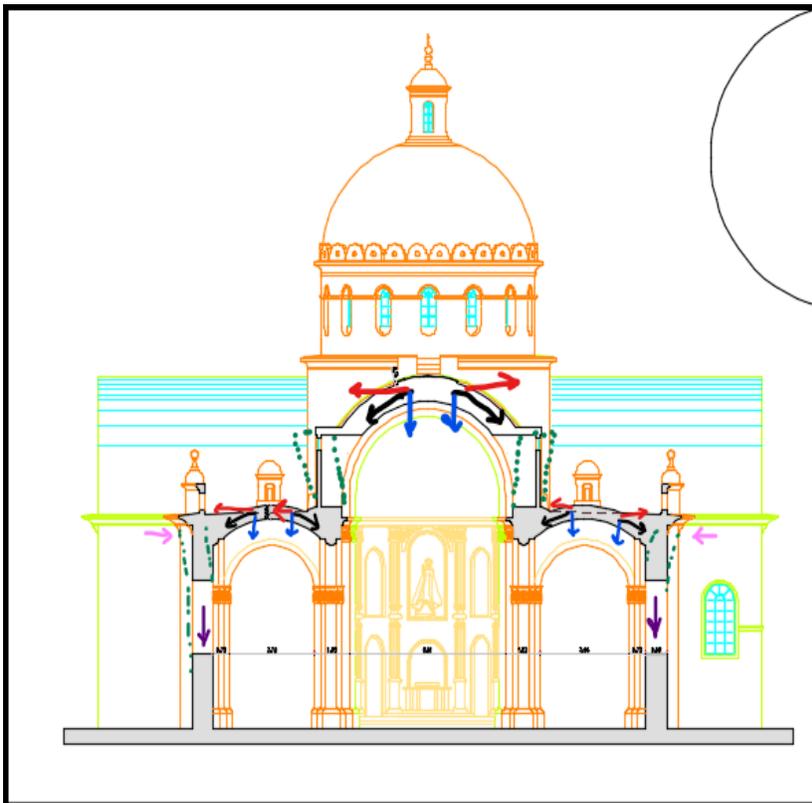
*Contrafuertes laterales en mampuestos con argamasa de calicanto*



*Nota.* Fuente: Ing. William Castillo Valencia-año 2023.

**Figura 40**

*Desarrollo vectorial de cargas*



*Nota.* Fuente: Arq. Holman Morales Upegui, Arq. Alejandro Morales, análisis vectorial William Castillo Valencia-año 2023.

#### **2.1.2.1. Método de los elementos finitos en modelos conjugados.**

A continuación, se presentan las características físico mecánicas de control de mampostería, obteniendo así los resultados del laboratorio de suelos.

### Figura 41

#### Características físico mecánicas de control de mampostería

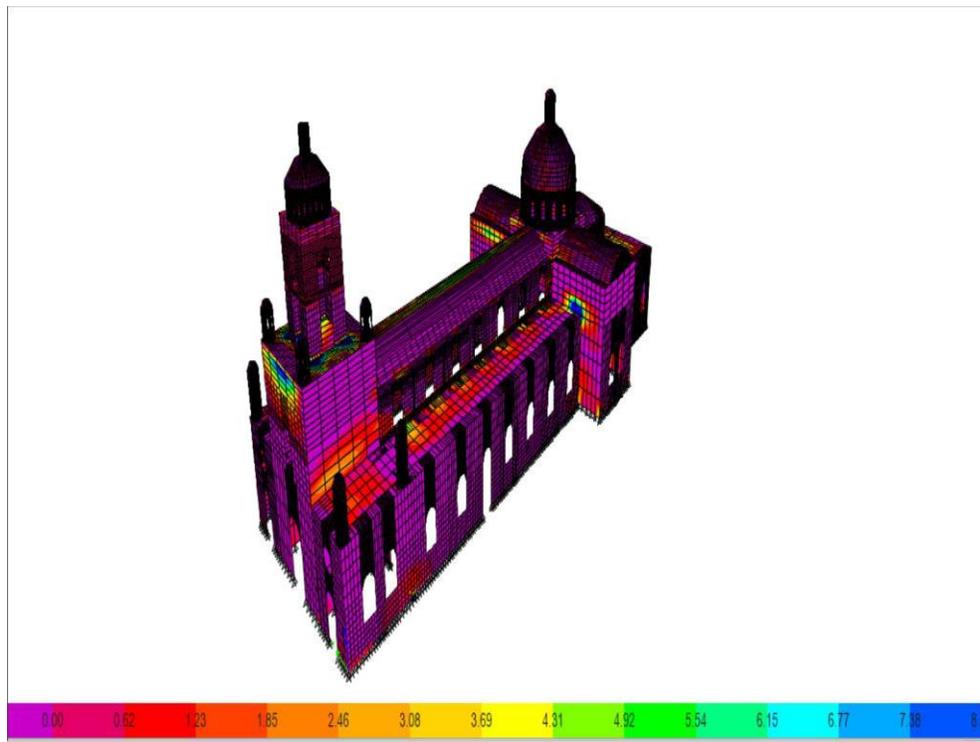
Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	<input type="text" value="1.59"/> tonf/m <sup>3</sup>
Mass per Unit Volume	<input type="text" value="0.162135"/> tonf-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	<input type="text" value="412500"/> tonf/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio, U	<input type="text" value="0.13"/>
Coefficient of Thermal Expansion, A	<input type="text" value="0.0000099"/> 1/C
Shear Modulus, G	<input type="text" value="182522.12"/> tonf/m <sup>2</sup>

Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

Se presenta en la siguiente figura la vista isométrica del templo de Ancuya Nariño.

**Figura 42**

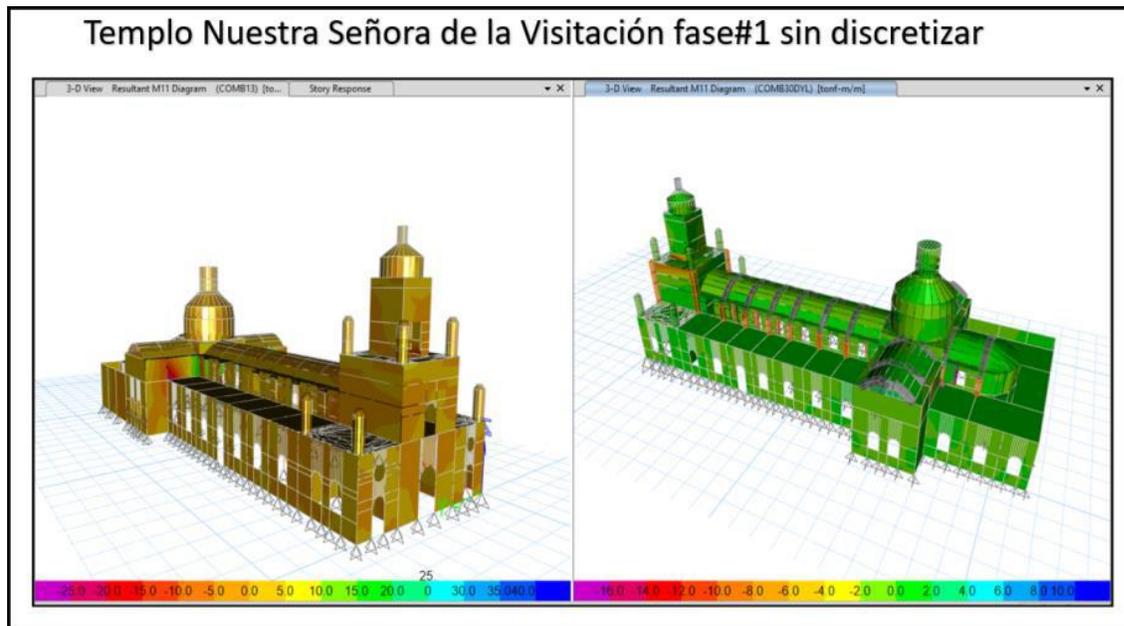
*Isometría del templo de Ancuya Nariño*



*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Figura 43**

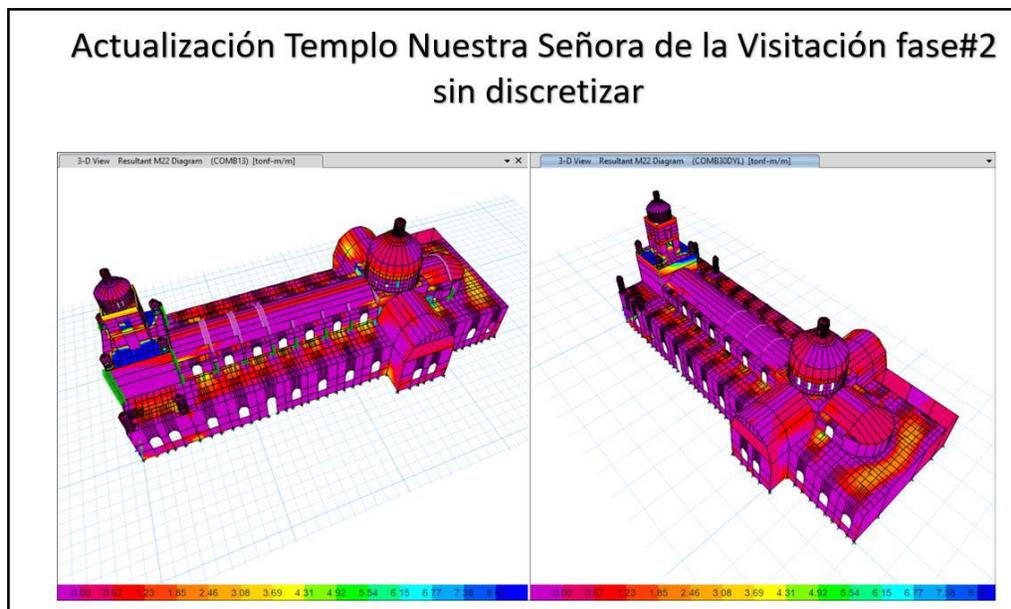
*Modelo de la estructura en elementos finitos (FEA)-Templo de Ancuya Nariño*



*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Figura 44**

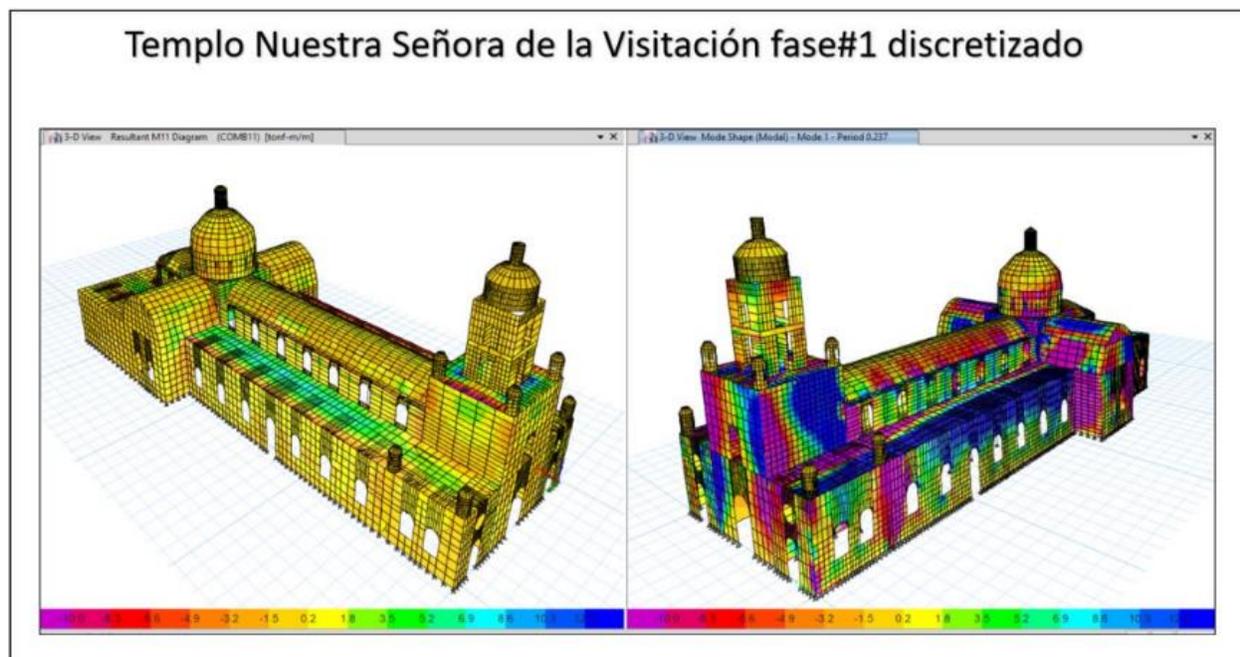
*Actualización del modelo de la estructura en elementos finitos (FEA)-Templo de Ancuya Nariño*



*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Figura 45**

*Actualización del modelo de la estructura en elementos finitos (FEA) discretizado-Templo de Ancuya Nariño*



*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

El análisis de una estructura en mampostería se puede realizar en el rango lineal y no lineal, es decir, que el sistema estructural puede trabajar en el rango elástico e inelástico; esto significa que se puede llevar a cabo el análisis no lineal cuando no cumple con la ley de Hooke, ya que las cargas causan relajación de la rigidez y al suspenderlas no se recupera al estado inicial de equilibrio.

### **2.1.2.2. Parámetros de evaluación estructural del Templo Nuestra Señora de la Visitación.**

#### **2.1.2.2.1. Cargas.**

Para el análisis del Templo de Nuestra Señora de la Visitación, se evalúan carga viva, muerta, el sismo entre las dos direcciones, granizo, y empuje de tierra (ceniza por emisión volcánica).

- **Carga muerta.**

**Tabla 19***Análisis de carga muerta cuerpo #1*

<b>ANALISIS DE CARGAS POR UNIDAD DE AREA CUERPO #1</b>				
<b>Zona</b>	<b>Detalle</b>	<b>Espesor promedio</b>	<b>Peso/área</b>	<b>Unidades</b>
<b>Estructura superior</b>		0.6	1.11	K/m2
<b>Nivel #3</b>	Base linterna	1.63	3.02	K/m2
<b>Nivel #2</b>	Coro losa	0.75	1.39	K/m2
<b>Nivel #1</b>	Muro	1.5	2.78	K/m2

*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Tabla 20***Análisis de carga muerta cuerpo #2*

<b>ANALISIS DE CARGAS POR UNIDAD DE AREA CUERPO #2</b>				
<b>Zona</b>	<b>Detalle</b>	<b>Espesor promedio</b>	<b>Peso/área</b>	<b>Unidades</b>
<b>Estructura superior</b>	Viga costilla	30x15	0.11	K/ml
<b>Estructura superior</b>	Losa superior concreto	0.1	0.24	K/m2
<b>Nivel #3</b>	Cubierta	1.13	2.09	K/m2
<b>Nivel #2</b>	Nave lateral	0.75	1.39	K/m2
<b>Nivel #1</b>	Muro	1.5	2.78	K/m2
<b>Nivel #1</b>	Columnas lob	1.5	1.70	K/ml

*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Tabla 21**

## Análisis de carga muerta cuerpo #3

<b>ANALISIS DE CARGAS POR UNIDAD DE AREA CUERPO #3</b>				
<b>Zona</b>	<b>Detalle</b>	<b>Espesor promedio</b>	<b>Peso/área</b>	<b>Unidades</b>
<b>Estructura superior</b>	Cupulin	0.3	0.56	K/m <sup>2</sup>
<b>Estructura superior</b>	Cúpula	0.9	1.67	K/m <sup>2</sup>
<b>Nivel #3</b>	Cubierta	1.13	2.09	K/m <sup>2</sup>
<b>Nivel #2</b>	Nave lateral	0.75	1.39	K/m <sup>2</sup>
<b>Nivel #1</b>	Muro T1	1.12	2.07	K/m <sup>2</sup>
<b>Nivel #1</b>	Muro T2	1.71	3.16	K/m <sup>2</sup>

*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

- **Carga viva.**
  - Zona de coro 300 k/m<sup>2</sup>
  - Zona de corredores y escaleras 500 k/m<sup>2</sup>
  - Zona de cubierta 180 k/m<sup>2</sup>
- **Carga de granizo.**
  - Zona de cubierta Inclinación menor a 15 grados 100 k/m<sup>2</sup>
  - Zona de cubierta- plana sobre hotel Inclinación mayor a 15 grados 50 k/m<sup>2</sup>
- **Empuje de tierra.**

A continuación, se presenta un estimado para efectos de generar el modelo.

**Tabla 22**

*Carga de suelo interacción suelo estructura*

<b>DETALLE</b>	<b>Rigidez de resortes</b>
----------------	----------------------------

<b>Nivel</b>	<b>Profundidad (z)</b>	<b>Kv</b>	<b>Kh</b>	<b>Área</b>	<b>Rv</b>	<b>Rh</b>
	m	Ton/m <sup>3</sup>	Ton/m <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>	Ton/m	Ton/m
<b>1</b>	0.500	3600	1800	1.00	359	180
<b>2</b>	1.000	3600	1800	1.00	718	359
<b>3</b>	1.500	3600	1800	1.00	1,077	539
<b>4</b>	2.000	3600	1800	1.00	1,436	718
<b>5</b>	2.500	3600	1800	1.00	1,795	898
<b>6</b>	2.850	3600	1800	1.00	2,155	1,077

*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

- Combinaciones de carga.

$$D$$

$$D + H + L$$

$$D + H + G$$

$$D + H + 0.75L + 0.75G$$

$$D + H$$

$$D + H + 0.75EX + 0.21EY$$

$$D + H + 0.75EX - 0.21EY$$

$$D + H - 0.75EX + 0.21EY$$

$$D + H + 0.75L + 0.75G$$

$$D + H + 0.525X + 0.157EY$$

$$D + H + 0.525X - 0.157EY$$

$$D + H - 0.525X + 0.157EY$$

$$0.6D + H + 0.7E$$

$$0.6D + 0.7EX + 0.21EY$$

$$0.6D + 0.7EX - 0.21EY$$

$$0.6D - 0.7EX + 0.21EY$$

$$0.6D - 0.7EX - 0.21EY$$

En el proceso de diseño, se define el coeficiente de capacidad de disipación de energía a la luz de NSR10 el valor de  $R_o=1.0$  y el valor de índice de sobre resistencia es igual  $\Omega_o=2.5$  asignado según la tabla A.3.1 de la norma colombiana de sismo resistencia NSR-10, sistema estructural muros de carga para aquellos que no tienen capacidad de disipación de energía. A continuación, se califica la irregularidad en planta, en altura y redundancia:

$$\phi_p=0.80 \text{ (irregularidad torsional extrema) y } \phi_a=0.9 \text{ (piso flexible) } \phi_r=1$$

$$R=\phi_p \times \phi_a \times \phi_r \quad R=0.8 \times 0.9 \times 1=0.72$$

$$0.7ER = 0.7 \times (10.8 \times 0.9 \times 1) E = 0.97 E \text{ Torsión accidental } 30\%(0.7ER) = 0.29$$

### 2.1.2.3. Macro elementos.

En templo Nuestra Señora de la Visitación de Ancuya, presenta a nivel de macro elementos mampostería como concreto reforzado de acuerdo a las últimas intervenciones. Para esta información se tiene en cuenta el estudio de geotécnico y obteniendo la clasificación del perfil del suelo, se procede a presentar el espectro para evaluación de derivas, como se muestra a continuación:

**Tabla 23**

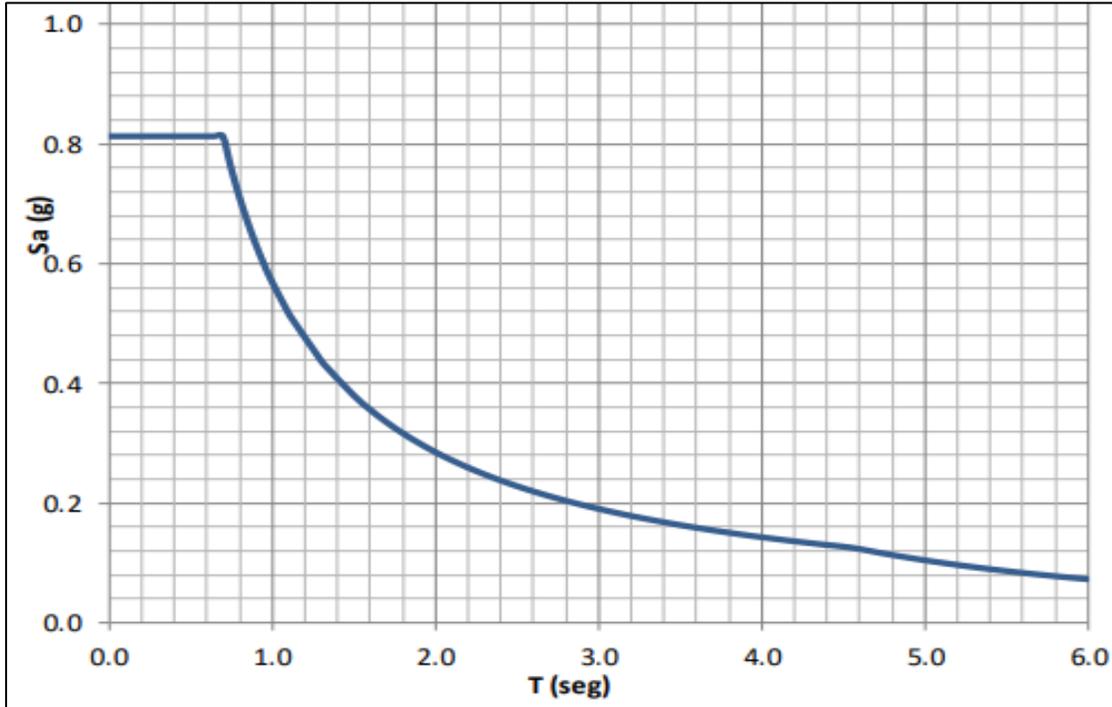
*Espectro para evaluación de derivas datos de calculo*

<b>DATOS DE CALCULO</b>		
<b>I</b>	1.00	Coeficiente de importancia
<b>Fa</b>	1.30	Ampliación del suelo para periodo corto
<b>Fv</b>	1.90	Ampliación del suelo para periodo intermedio
<b>Aa</b>	0.25	Aceleración pico efectiva
<b>Av</b>	0.25	Velocidad pico efectiva

Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Figura 46**

*Espectro de diseño con  $I=1.00$*



Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Tabla 24**

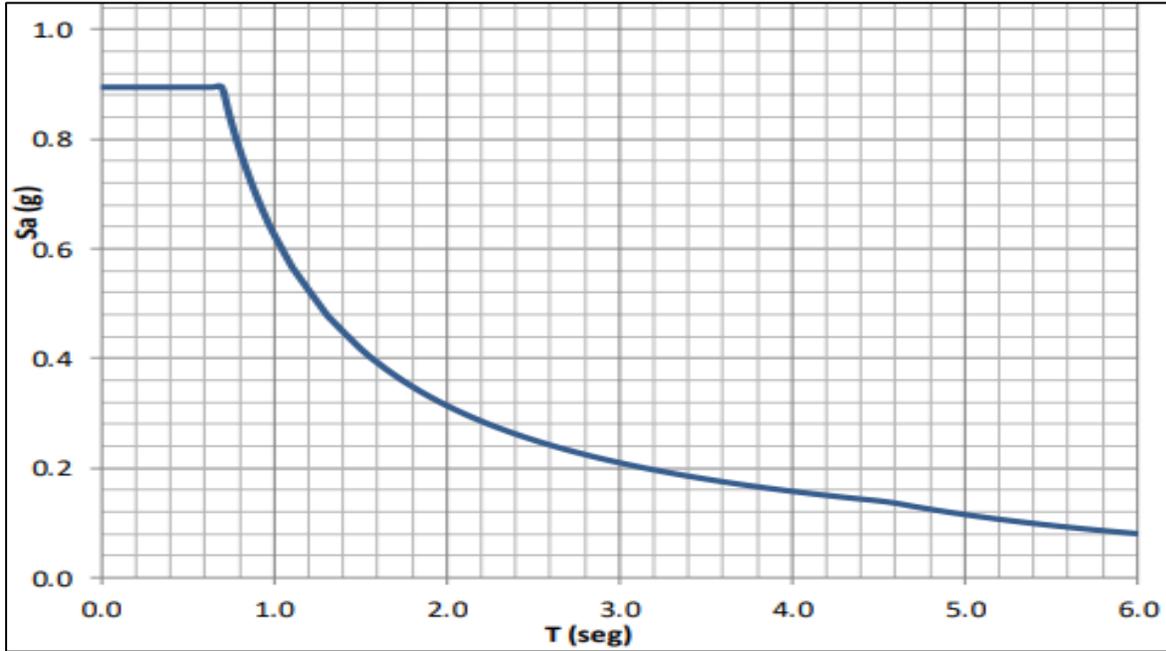
*Espectro grupo Uso 2- Evaluación-Datos de cálculo*

ESPECTRO GRUPO USO 2-DATOS DE CALCULO		
<b>I</b>	1.10	Coficiente de importancia
<b>Fa</b>	1.30	Ampliación del suelo para periodo corto
<b>Fv</b>	1.90	Ampliación del suelo para periodo intermedio
<b>Aa</b>	0.25	Aceleración pico efectiva
<b>Av</b>	0.25	Velocidad pico efectiva

Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**Figura 47**

*Espectro de diseño  $I=1.10$*



Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

**2.1.2.4. Derivas.**

La deriva total, es igual al cuadrado de la diferencia de los desplazamientos de los niveles consecutivos que involucran los desplazamientos de masa, efectos P-Delta y efectos torsionales, los cuales a su vez involucran variables internas como centro de masa, rigidez y torsión (Castillo, 2023).

**Figura 48**

*Diagrama de desplazamientos para el sismo SXY*

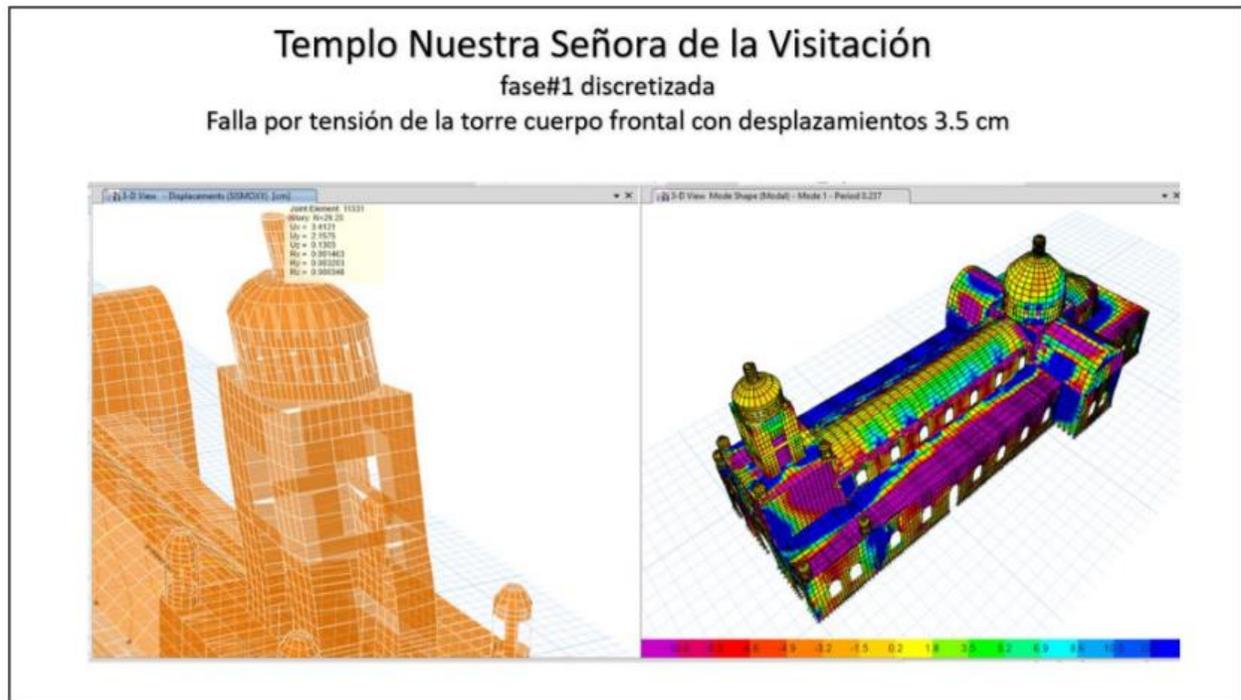
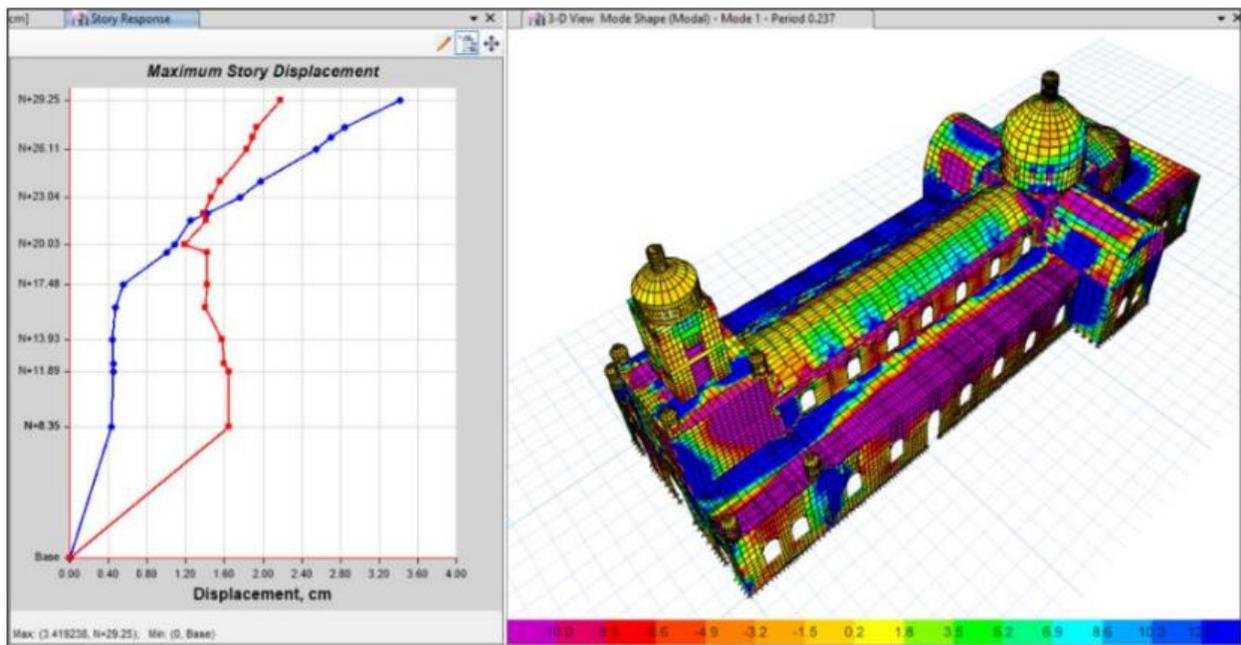


*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

Teóricamente se analiza el desplazamiento máximo para los casos dinámicos de sismo en las dos direcciones ( $S_x$ ,  $S_y$ ) y combinado ( $S_{xy}$ ), sin embargo, esta deformación no es la indicada ya que en el análisis no lineal la estructura falla con un desplazamiento bajo por la fragilidad de la mampostería (Castillo, 2023). A continuación, se presenta el diagrama de desplazamientos para el sismo SXY.

Figura 49

Diagrama de desplazamientos para el sismo SXY



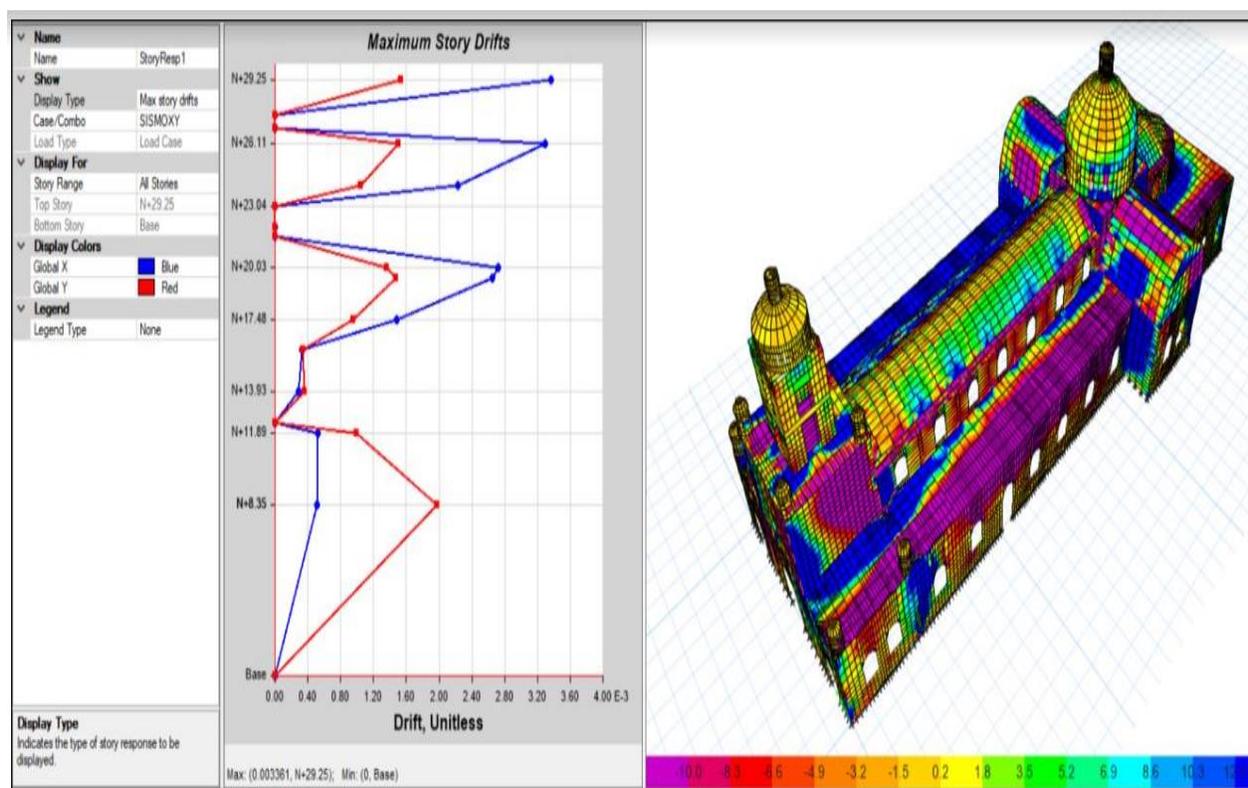
Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se contempla los desplazamientos de la estructura en el sismo x y sismo en y. Se observa de color rojo el sismo en Y y en color azul el sismo en X. Se identifican los puntos críticos en el sismo X a un nivel de 22 metros un desplazamiento de 1.20 cm y otro punto crítico a 29.25 metros con un desplazamiento de 3.50 cm, esto quiere decir que estos dos puntos con mayor desplazamiento presentan una mayor vulnerabilidad en el templo, causando que haya mayor movimiento vertical en estas partes del templo. También, se muestran los puntos críticos en el sismo Y a un nivel de 8.35 metros un desplazamiento de 1.62 cm y otro punto crítico a un nivel de referencia de 29.25 metros con un desplazamiento de 2.20 cm, con esto se analiza que, a estos niveles de referencia, estos presentan mayor movimiento horizontal, mostrando así una mayor vulnerabilidad en estos puntos.

Cuando se habla de un mayor desplazamiento en la estructura, hace referencia a la magnitud de los movimientos o separaciones que ocurren en los diferentes niveles o pisos de un edificio durante un evento sísmico. Estos desplazamientos en lo general se producen debido a la deformación de la estructura a fuerzas externas. Es decir, en el sismo X con un desplazamiento máximo de 3.50 cm y en el sismo Y con un desplazamiento máximo de 2.20 cm, puede causar daños a la estructura como fisuras en la nave principal, pandeo en las vigas, el revestimiento de paredes, también puede generar desplazamientos de elementos no estructurales por lo que puede causar lesiones a las personas o daños materiales.

Figura 50

Evaluación de derivas, desplazamientos para el sismo SXY



*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

El análisis de derivas de la Figura 49 los desplazamientos máximos que presenta la estructura en un evento sísmico, esto es esencial para garantizar que la estructura sea capaz de resistir cargas laterales como sismo y viento sin comprometer su seguridad y estabilidad. Según NSR-10 las derivas para estructuras en mampostería no deben ser mayor a 0.5% (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La estructura evaluada en el software de diseño, se obtuvo una deriva de 0.3% y la normativa establece un requisito mínimo de 0.5% para la mampostería, esto significa cumple con los requisitos establecidos en la norma, pero de acuerdo al levantamiento patológico realizado en el objetivo 1, se observan diversas patologías como fisuras, desprendimientos, corrosión, carbonatación entre otras, con esto, se dice que la estructura visualmente presenta alta vulnerabilidad debido a las diferentes lesiones que la estructura presenta.

### 2.1.2.5. Numero de modos de vibración.

Se incluyeron el análisis dinámico, todos los modos de vibración que contribuyen de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Según NSR – 2010, se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestra que, con el número de modos empleados, se ha incluido en el cálculo de la respuesta, de cada una de las direcciones horizontales principales, por lo menos el 90% de la masa participante de la estructura.

**Tabla 25**

*Modos de vibración y periodos de frecuencia*

<b>MODOS DE VIBRACION Y PERIODOS DE FRECUENCIA</b>			
<b>Modo</b>	Periodo (seg)	<b>Modo</b>	Periodo (seg)
<b>1</b>	0.237	<b>12</b>	0.085
<b>2</b>	0.176	<b>13</b>	0.077
<b>3</b>	0.168	<b>14</b>	0.076
<b>4</b>	0.148	<b>15</b>	0.074
<b>5</b>	0.144	<b>16</b>	0.07
<b>6</b>	0.128	<b>17</b>	0.067
<b>7</b>	0.113	<b>18</b>	0.064
<b>8</b>	0.099	<b>19</b>	0.063
<b>9</b>	0.095	<b>20</b>	0.062
<b>10</b>	0.091	<b>21</b>	0.061
<b>11</b>	0.086		

*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

En la estructura el primer modo de vibración, presenta un periodo de vibración de 0.2 segundos, eso significa que es un periodo corto por lo cual indica que la estructura es relativamente rígida y que su respuesta ante cargas dinámicas como un sismo, será rápida. Cuando una estructura tiene un periodo corto, implica que la estructura es más rígida por lo que tiene una alta frecuencia natural

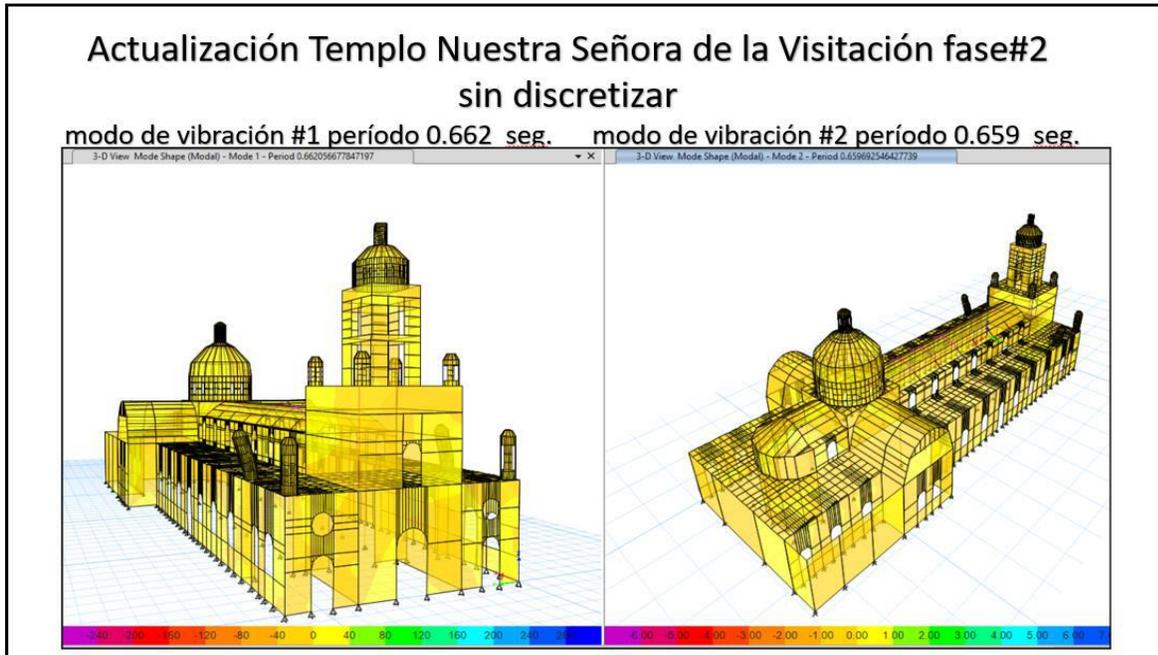
de vibración, esto a su vez puede ser beneficioso en términos de reducir las deformaciones y los desplazamientos laterales durante un evento sísmico u otras cargas dinámicas, pero también puede experimentar mayores aceleraciones en respuesta a cargas debido a su alta rigidez, por lo que al presentar esto, da lugar a tensiones más altas en los elementos estructurales.

Usualmente, las estructuras con un periodo de vibración corto pueden ampliar las fuerzas sísmicas esto debido a la coincidencia entre el periodo de la estructura y el periodo de las ondas sísmicas, por lo que puede resultar una mayor amplitud de los movimientos y fuerzas en la estructura. También, la estructura al presentar un periodo corto de vibración es propensa a experimentar torsión durante un evento sísmico, y puede ser más susceptible al colapso.

A continuación, se presentan las figuras sin discretizar con los modos de vibración y su periodo de frecuencia, y la estructura discretizada en la siguiente figura se muestra el modo de vibración. Para los demás modos (*ver Anexos 7 y 8*).

### Figura 51

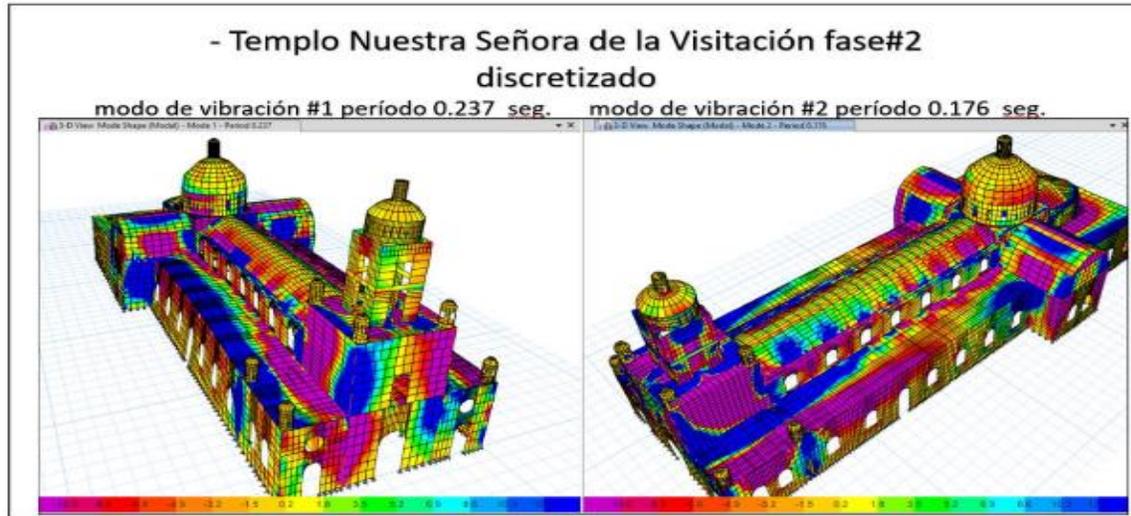
*Templo de Ancuya Nariño sin discretizar*



Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

### Figura 52

Templo de Ancuya Nariño discretizado



Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

#### 2.1.2.6. Análisis de la bóveda cañón longitudinal.

Se revisa las deflexiones teóricas por peso propio, en cada uno de los arco fajón y total para contrastar con las valoraciones topográficas constructivas, con la hipótesis de las deflexiones por fatiga del material.

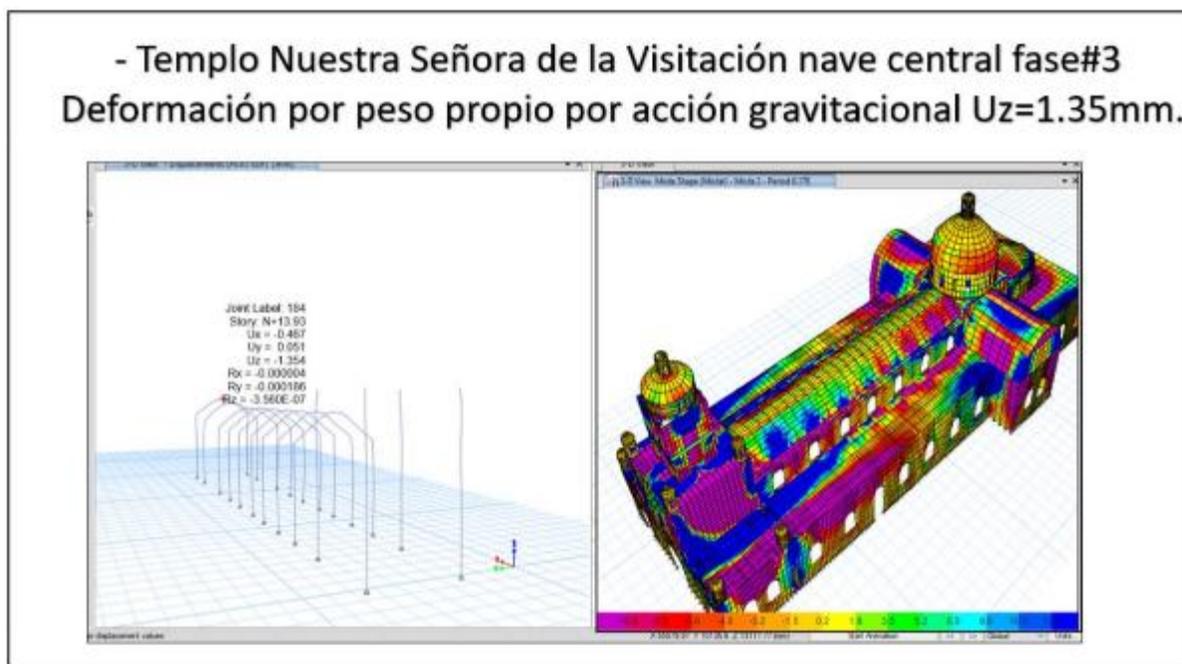
### Figura 53

Actualización del Modelo de la estructura en elementos finitos (FEA)



Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

Se observa los esfuerzos por flexión en el cañón de la bóveda, donde se fundió una losa en concreto sobre la clave de la nave central, lo que hace, que el arco tenga una descompensación por rigidez, reflejándose patológicamente en forma de fisuras paralelas al lado mayor de la bóveda de la nave central; las cuales, se reflejan por acción y reacción de la intervención posterior (Castillo Valencia, 2023). A continuación, se muestra una figura modelo de la deformación por peso propio por acción de la gravitacional (*Ver Anexos 9*).

**Figura 54***Deformación por peso propio por acción gravitacional*

*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

Se realiza un estudio del levantamiento topográfico que implica la comparación entre dos ejes para evaluar la trayectoria de construcción. Durante este proceso, se compara la presencia de problemas estructurales con la desviación calculada mediante el método de elementos finitos. De esta forma, se registran las discrepancias verticales en el lugar, la deformación del modelo estructural en ETABS y, en función de esto, se determina el posible desplazamiento teórico, que alcanza un valor máximo de 58.65 mm. Comparando con el modelo estructural el desplazamiento alcanza un valor de 35 mm. La discrepancia entre el desplazamiento teórico y el desplazamiento máximo obtenido en el modelamiento estructural plantea preocupaciones. En este análisis, se ha realizado un estudio detallado del levantamiento topográfico y se ha comparado con las desviaciones calculadas en el modelo estructural. Sin embargo, la falta de coincidencia entre el desplazamiento teórico, que alcanza un valor máximo de 58.65 mm, y el desplazamiento máximo del modelamiento, que se sitúa en 35 mm, indica que no es favorable. La diferencia entre estos

valores sugiere la presencia de problemas estructurales o imprecisiones en el modelo, lo que puede afectar la seguridad y estabilidad de la estructura.

### 2.1.2.7. Análisis de la nave lateral izquierda.

Se revisa las deflexiones teóricas por peso propio, en cada uno de los arcos para contrastar con las valoraciones topográficas constructivas, con la hipótesis de las deflexiones por fatiga del material (Castillo Valencia, 2023).

### Figura 55

*Actualización del Modelo de la estructura en elementos finitos (FEA)*



Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

A continuación, se muestra una figura modelo de la deformación por peso propio por acción de la gravitacional (*Ver Anexos 8*).

### Figura 56

*Deformación por peso propio por acción gravitacional nave lateral izquierda*



Nota. Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

Se lleva a cabo un examen del levantamiento topográfico de la bóveda lateral izquierda, donde se compara un eje con el siguiente para analizar la trayectoria de construcción. Durante este proceso, se compara la presencia de anomalías con la deformación calculada del modelo estructural mediante el método de elementos finitos. Esto implica registrar las discrepancias verticales en el sitio, las deformaciones del modelo estructural en ETABS y, en función de estos datos, determinar el posible desplazamiento teórico, que alcanza un valor máximo de 37.88 mm.

Comparando con el modelo estructural, el desplazamiento es similar ya que se obtiene un desplazamiento máximo de 35 mm. Es positivo que el desplazamiento teórico se asemeje al del modelado estructural. Esto es beneficioso porque indica que las deformaciones previstas en el modelo estructural son consistentes con las observadas en el levantamiento topográfico. Una similitud entre ambos sugiere una mayor precisión en el diseño y la construcción, lo que a su vez contribuye a la seguridad y estabilidad de la estructura. Por lo tanto, la concordancia entre el desplazamiento teórico y el desplazamiento real es un indicador alentador en la evaluación de la integridad de la bóveda lateral izquierda.

#### 2.1.2.8. Análisis de la nave lateral derecha.

Se revisa las deflexiones teóricas por peso propio de la nave lateral derecha, en cada uno de los arcos para contrastar con las valoraciones topográficas constructivas, con la hipótesis de las deflexiones por fatiga del material. A continuación, se muestra una figura modelo de la deformación por peso propio por acción de la gravitacional (*Ver Anexos 9*).

**Figura 57**

*Deformación por peso propio por acción gravitacional nave lateral derecha*



*Nota.* Fuente: Ing. M.Sc. William Castillo y colaboradores autores del presente trabajo-año 2023.

Se efectúa un estudio del levantamiento topográfico de la bóveda lateral derecha, donde se compara un eje con el siguiente con el fin de evaluar la alineación de la construcción. En el proceso, se contrastan las anomalías con la deformación del modelo matemático estructural a través del método de elementos finitos. De este modo, se toma nota del desplazamiento vertical en el lugar, las deformaciones del modelo estructural en ETABS, y a partir de estos datos se calcula el desplazamiento teórico máximo, que asciende a 18.53 mm. Comparando con el modelo, el desplazamiento máximo es de 35 mm, por lo que indica que no es favorable. La diferencia entre estos valores sugiere la presencia de problemas estructurales o imprecisiones en el modelo, lo que puede afectar la seguridad y estabilidad de la estructura.

En el segundo objetivo de este estudio, se llegó a la conclusión de que la estructura analizada exhibe una vulnerabilidad sísmica notable, tanto en términos conceptuales como visuales. Este diagnóstico se fundamenta en la identificación de patologías significativas que resaltan la necesidad apremiante de evaluar su capacidad para resistir movimientos sísmicos. Además, la evaluación teórica de los desplazamientos ha arrojado indicios de que podrían generar fisuras en la mampostería y otros daños potenciales en la estructura. A pesar de la gravedad de estas observaciones, se ha corroborado la hipótesis inicial de que la estructura presenta una elevada vulnerabilidad. Esto destaca la urgencia de tomar medidas inmediatas para fortalecer y preservar la integridad de este valioso patrimonio arquitectónico. El riesgo sísmico es claro, y es imperativo que se lleven a cabo intervenciones de refuerzo con el propósito de garantizar la seguridad y durabilidad a largo plazo de esta estructura histórica.

### ***2.1.3. Análisis tercer objetivo***

En asesoría del Ing. John Jairo Campo e Ing. Oscar Oswaldo Melo, especialistas en patología y proceso documental de fichas patológicas previamente elaborado, se pudo encontrar la solución a estas afecciones presentes en el Templo Nuestra Señora de la Visitación en el municipio de Ancuya. Se presenta una tabla resumen en donde se indica la causa, el diagnóstico y la posible solución de dichas patologías.



**Tabla 26***Solución a patologías presentadas en el Templo*

<b>LESIÓN</b>	<b>TIPO</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>	<b>POSIBLE SOLUCIÓN</b>
<b>HUMEDADES EN - INTRADÓS DE LA NAVE</b>		PARTE INTERNA DEL TEMPLO EN EL INTRADÓS DE LA NAVE (BOVEDAS, CUPULA Y CAMPANARIO )	El intradós del templo está bajo unas capas de la estructura principal compuesta principalmente por mampostería, la parte superior cuenta con un pañete en mortero como capa principal impermeabilización, con el transcurrir de los años se han aplicado más barreras de	Se presenta bajo saturación en la mampostería presente en las bóvedas. En primer lugar, se debe a que las capas impermeabilizantes presentes ya han cumplido su vida útil, generando filtración del agua y acumulación de la misma.	Se debe realizar un proceso de limpieza exhaustivo tanto en la parte superior retirando las membranas y material que cumplieron su vida útil y en la parte inferior retirar pañetes y estucos sueltos y afectados. Posteriormente se debe permitir la ventilación de los estratos de tal manera que

---

impermeabilización que a la fecha ya han perdido eficiencia por lo cual ya no son capaces de repeler la humedad de las capas vulnerables.

empiece su proceso de secado, se inyectan las fisuras y se aplica externamente poliuretano pura adicionando recubrimiento de poliuretano alifático (el cual debe permitir pintar) y posteriormente se pinta. Para la parte interna se realiza la limpieza y retiro de pañetes y estucos, los cuales serán remplazados con un pañete que genere adherencia, posteriormente se

---

				realizan los acabados necesarios.
<b>HUMEDADES EN TERRAZAS DE LA CUBIERTA</b>	<b>EN LA CUBIERTA</b>	<b>PARTE INTERNA Y EXTERNA DEL TEMPLO EN TERRAZAS UBICADAS EN LOS LATERALES DE LA CUBIERTA</b>	Se presenta saturación en la mampostería y material de relleno presente en las bóvedas y terrazas del templo. En primer lugar, se debe a que la membrana impermeabilizante presente ya ha cumplido su vida útil, generando filtración del agua y acumulación de la misma siendo una barrera ineficiente en la	Se debe realizar un proceso de limpieza exhaustivo tanto en la parte superior retirando las membranas PVC y material que cumplieron su vida útil y en la parte inferior retirar pañetes y estucos sueltos y afectados. Posteriormente se debe permitir la ventilación de los estratos de tal manera que empiece su proceso de secado, para ello, es necesario inyectar CAL como un

---

principal de actualidad. La elemento que impermeabilización condición en la permitirá ayudar al n, con el transcurrir que actualmente se secado. de los años estas encuentra la Después, se capas de membrana, no y fisuras impermeabilización brinda solución, importantes y n ya han perdido por el contrario, sellarlas con un eficiencia por lo genera un daño producto epóxido de cual ya no son mayor, ya que está de baja viscosidad. De capaces de repeler permitiendo que el igual manera, es la humedad de las agua entre en necesario corregir la capas vulnerables. contacto con la bajantes con un estructura, pero no mortero le permite salir, tradicional con provocando un estancamiento del e o mortero impermeabilizante e. Luego, se agua entre la impermeabilizante e. Luego, se membrana y la estructura. impermeabiliza la poliuria pura pendiente de las adiciendo recubrimiento de terrazas no es la poliuretano

---

				<p>adecuada y los puntos de desagüe se encuentran a un nivel más alto del piso, generando empozamientos en distintas zonas de las terrazas.</p>	<p>alifático. Para la parte interna de la zona de las terrazas, después de retirar pañetes afectados, realizar una limpieza y ventilación del material, se aplica mortero nuevo con mejorador de adherencia y finalmente se dan los acabados necesarios.</p>
<p><b>HUMEDADES EN LOS MUROS</b></p>	<p><b>EN CAPILARIDAD-DISTANCIAS MENORES A 1 M DEL SUELO.</b></p>	<p><b>PARTE INTERNA DEL TEMPLO A DISTANCIAS MENORES A 1 M DEL SUELO.</b></p>	<p>Los muros son en su totalidad de mampostería de arcilla cocida, lo que provoca que, al estar en constante exposición a la</p>	<p>Teniendo en cuenta que los muros son de mampostería de arcilla cocida, se puede hablar de</p>	<p>en los procesos de limpieza y retiro de material afectado (estucos y pañetes) hasta llegar a la capa sana</p>

---

humedad ambiente, dos orígenes para y dejar ventilar por salpicaduras y esta patología: 24 horas, humedad del 1. Salpicadura del posteriormente terreno, este agua lluvia aplicar morteros material absorba el 2. Humedad por impermeabilizantes agua teniendo capilaridad y aplicar la capa de como consecuencia teniendo en cuenta terminados la generación de que los muros se deseados (estucos y humedades, lo que encuentran pinturas) se evidencia en la desplantados del •Cara externa cara interna de los nivel 0+00 y su (ladrillo visto): Es muros, presentando base se encuentra recomendable variedad de en aplicar un lesiones típicas de contacto directo hidrófugo que logre esta patología. con el terreno repeler el agua que natural y su llega al elemento humedad. producto de la Además, se salpicadura o evidencia falta de directamente de la impermeabilizante lluvia. sobre la cara expuesta

---

					directamente al agua lluvia.
<b>EFLORESCENCIA</b>	-	PARTE INTERNA DEL TEMPLO CERCANO AL SUELO Y ZONA INTRADÓS DEL TEMPLO	Son una causa directa previa la aparición de humedad por capilaridad. Los materiales contienen sales solubles que son arrastradas por el agua hacia el exterior durante su evaporación y se cristalizan en la superficie del material, es así, como esta humedad causada por el suelo contribuye al deterioro de los materiales	Las paredes de los muros y la zona intradós de las naves del templo, presentan manchas blancas y/o cristales en la superficie de ellas. Lo anterior como consecuencia de las humedades que se presentan en las paredes y techo del templo.	Es necesario realizar una limpieza y retiro del material afectado, siendo este el estuco y pañete del templo, se deja ventilar por 24 horas, posteriormente se aplica un sellado de la superficie con el impermeabilizante y se realiza los acabados deseados. Es necesario el uso de materiales resistentes a la eflorescencia y humedades como el

			<p>minerales del acabado. También se puede decir que se debe a una falta de mantenimiento y limpieza en las diferentes zonas.</p>	<p>uso del producto tipo mortero bi componente flexible.</p>	
<b>FISURAS Y GRIETAS</b>	LONGITUDINALE S	BÓVEDA CENTRAL	<p>Su principal causa es debido a la diferencia de rigidez entre dos materiales, ya sea entre el material antiguo y el nuevo; puesto que, como está plasmado en la historia del templo, la placa presente sobre la bóveda central en concreto reforzado, fue</p>	<p>Debido a la diferencia de comportamiento elástico entre el concreto y la mampostería, se han presentado estas fisuras longitudinales a lo largo de la nave central, lesiones bastante comunes cuando hay cambios de</p>	<p>Se debe limpiar las fisuras y realizar el proceso de inyección de resina epoxica de ultra baja viscosidad, capaz de llenar todos los espacios vacíos que ha dejado la fisura, después se realiza el proceso de intervención estructural, el cual</p>

construida tiempo materialidad sin consiste en la después de la ningún elemento instalación de construcción de la conector que clavos de acero, bóveda, la cual, soporte esos tiene una técnica esfuerzos.

constructiva en mampostería. En definitiva, el problema es la incompatibilidad en la capacidad de deformación, o elástica de los distintos materiales presentes, cuyo grado de rigidez es distinto.

MAPEO	GENERAL EN BÓVEDAS	La variación térmica y la falta de mantenimiento en la cubierta del templo, ha	Debido a la falta de mantenimiento y la constante exposición de la estructura	Se debe realizar un proceso de limpieza, las fisuras más críticas deberán ser
-------	--------------------	--	---	---

		<p>generado que se cambio de reparadas con una produzcan un temperatura, se ha resina, por el mapeo general de generado un contrario, se fisuras, las cuales, mapeo general de reparará con un abarcan toda la fisuras a lo largo sellador y se zona de las de toda la cubierta aplicará bóvedas. del templo, en posteriormente la especial abarcando impermeabilizante la zona de poliuria pura bóvedas. adicionando recubrimiento de poliuretano alifático.</p>
GRIETAS EN CAMPANARIO CAMPANARIO	Su causa principal es debido a dimensiones estructurales.	Se debe realizar la consolidación estructural.
<b>DESPRENDIMIENTO S</b>	PARTE INTERNA DEL TEMPLO CERCANO AL SUELO Y	Esta patología se presenta como una consecuencia a una lesión previa, en este caso al Ya que se presenta una humedad critica en muros y techos del templo, ha generado que Después de ejecutar lo correspondiente al tratamiento para humedad, es necesario retirar

	<p>ZONA INTRADOS DEL TEMPLO</p>	<p>encontrar desprendimiento de mortero o pañete, se debe a la humedad severa que presenta el templo en sus paredes internas, al igual que en la zona externa del mismo.</p>	<p>los materiales se debiliten, provocando que las capas de pintura o revestimiento se desprendan.</p>	<p>todo el material afectado, preparar la superficie antes de aplicar pintura o revestimientos, incluyendo la limpieza y el lijado si es necesario.</p>
<p><b>EROSION</b></p>	<p>-</p> <p>PARTE INTERNA Y FACHADA DEL TEMPLO</p>	<p>La erosión presente en la fachada del templo es a causa de agentes externos como el agua y viento, generando una sedimentación, en este caso de la piedra que se encuentra en la fachada del templo.</p>	<p>Ya que el material de la fachada de 0,00 m hasta la altura de 2,00 m es en piedra, se encuentra expuesta a factores externos como el agua y viento generando que la roca se erosione.</p>	<p>Se debe realizar una limpieza del material afectado, posterior a ello es necesario usar selladores específicos para piedra que ayuden a protegerla contra la infiltración de agua y los agentes atmosféricos.</p>

<b>MOHO Y HONGOS</b>	PARTE EXTERNA DEL TEMPLO	Esta patología se presenta como consecuencia a una lesión previa, en este caso debido a la humedad presente, además del mal mantenimiento y aseo.	Teniendo en cuenta la humedad presente en el templo, es posible evidenciar la presencia de moho y hongos en las zonas afectadas. Por otro lado, en la parte externa del templo se debe a la falta de mantenimiento y aseo en cubierta por lo que es más propenso a generarse esta patología.	Se debe realizar una limpieza adecuada de las zonas afectadas con una solución de hipoclorito de sodio para posteriormente aplicar el producto ya sea resina epódica o sellador poliuretano que permita que esta lesión no proliferen.
<b>CORROSIÓN</b>	ZONA DE CAMPANARIO	Se evidencia acero expuesto con un alto nivel de corrosión a tal	La baja calidad del concreto de los elementos reforzados y la	La propuesta de intervención se hace desde el componente

---

punto de llegar a la humedad ambiente estructural, ya que desintegración del han permitido que es necesario elemento perdiendo las barras de acero realizar un recalce todas sus que conformaban estructural, características las columnas y reposición de acero físico mecánicas de vigas del de refuerzo y resistencia. campanario hayan construcción de iniciado su nuevos elementos proceso de que sean corrosión y ante la encargados de nula intervención soportar las su estado es tan solicitudes de avanzado que cargas. prácticamente la corrosión acabo con las barras de refuerzo. el diagnostico de esta lesión es severo ya que los elementos no cuentan con refuerzo a flexión

---

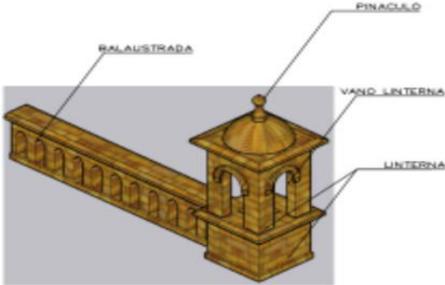
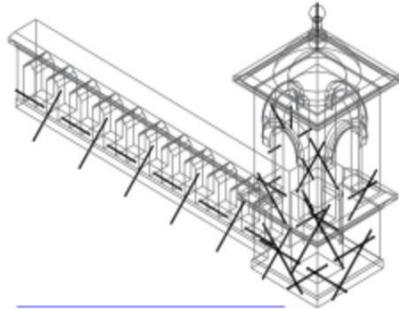
---

y se encuentran  
expuestos a un  
gran riesgo.

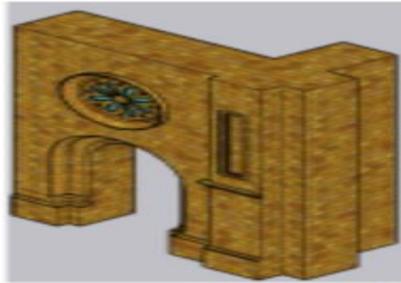
---

**Tabla 27**

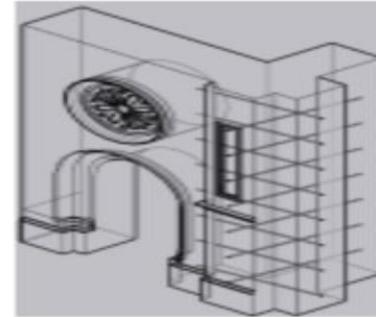
*Consolidación con clavos estructurales*

<b>CONSOLIDACIÓN CON CLAVOS ESTRUCTURALES</b>			
<p>Son varillas de acero cuya función es esencial al entrelazar los mampuestos, lo que permite contrarrestar los esfuerzos cortantes, flexo tracción y flexo compresión. Esto, a su vez, genera una respuesta estructural más dúctil ante eventos sísmicos.</p>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>COMPOSICIÓN DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS</b>	<b>CONSOLIDACIÓN</b>
<p><b>Consolidación linterna, vano de linterna, pináculo y balaustrada</b></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mampostería: arcilla cocida.</li> <li>2. Calicanto: mezcla de cal y arena</li> </ol>	

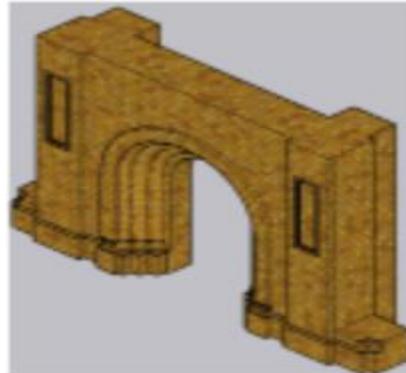
**Consolidación de esquina**



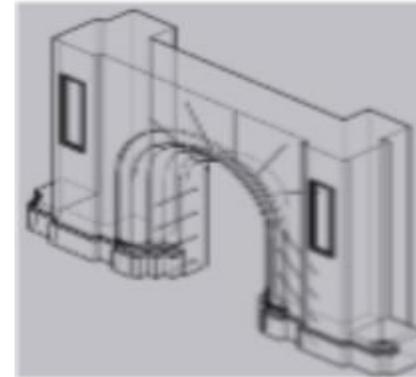
1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



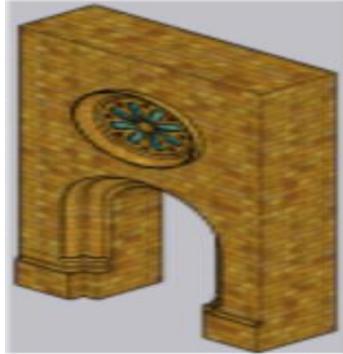
**Consolidación arquivolta central**



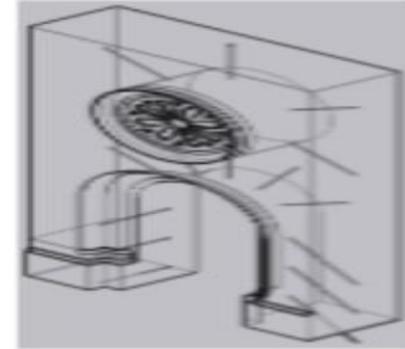
1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



**Consolidación  
arquivolta lateral  
y rosetón**



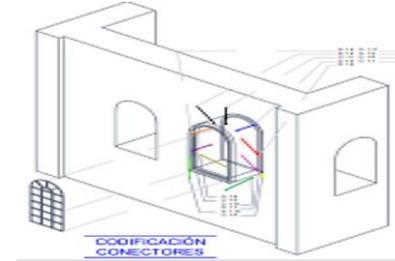
1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



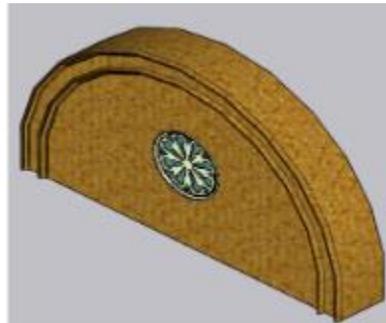
**Consolidación  
vano de ventana  
tipo 1**



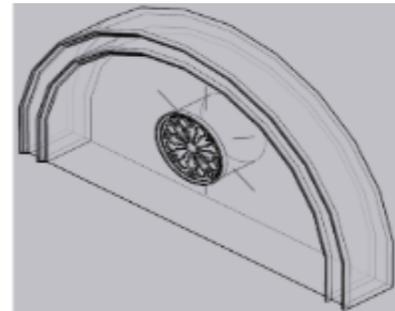
1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



**Consolidación de  
vacío zona de  
rosetón**



1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena

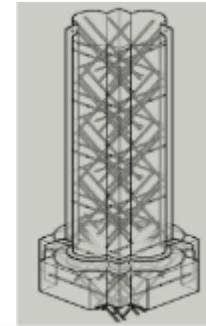


---

**Consolidación de columna lobulada**



1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena

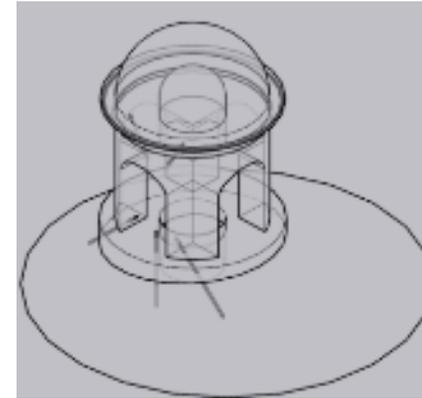


---

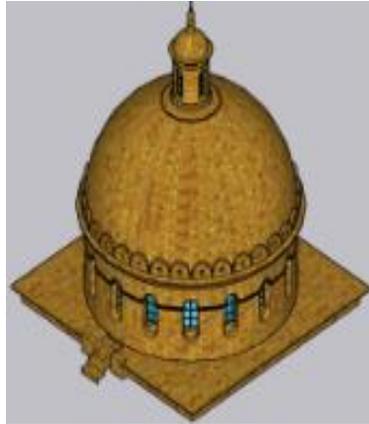
**Consolidación de vano de ventana en linterna de nave central**



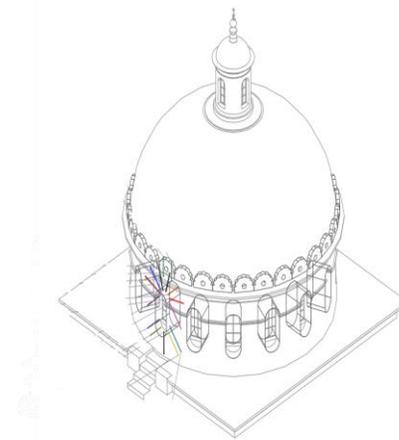
1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



**Consolidación de ornamento y vano de ventana en tambor de cupulo de presbiterio**



1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



**Consolidación de ornamento y vano de ventana en cúpula de torre del coro**



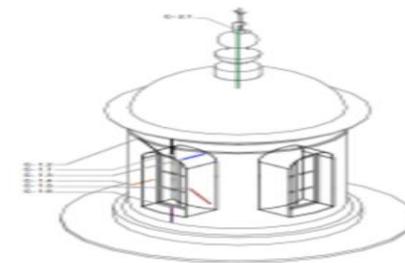
1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



**Consolidación de pináculo y vano de linterna en cúpula presbiterio**



1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



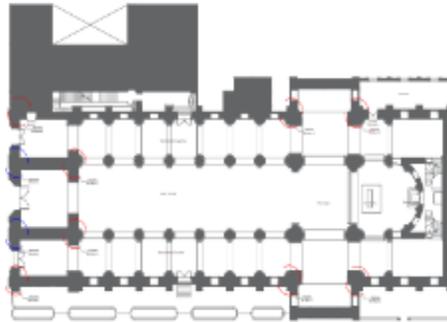
**Consolidación de pináculo y vano de linterna en torre-coro**



1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



**Consolidación de esquinas**



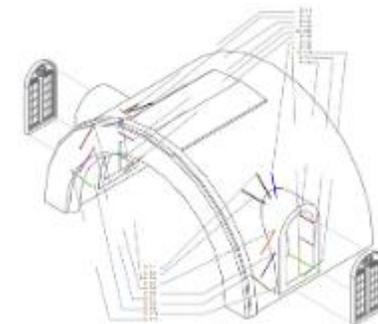
Sin material específico



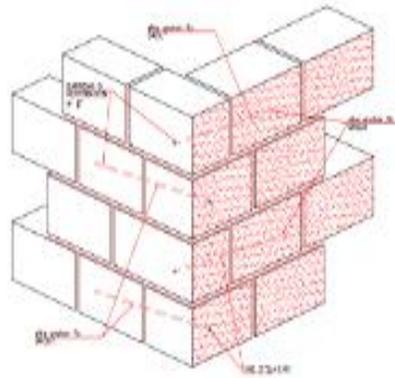
**Consolidación de ventana bóveda cañón**



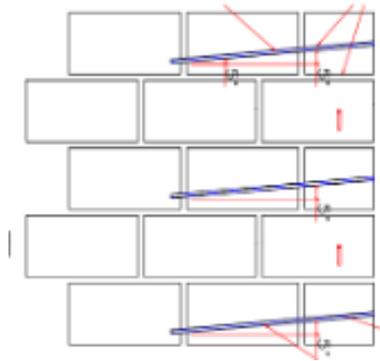
1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



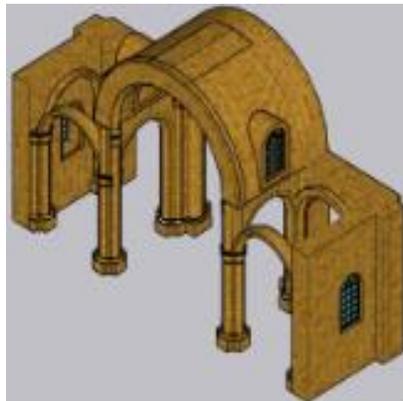
**Refuerzo de esquina y reparación de columnas corridas**



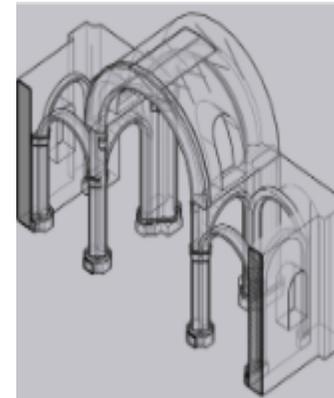
Mampostería: arcilla cocida.



**Consolidación de arco fajón, toral y plementos**



1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena

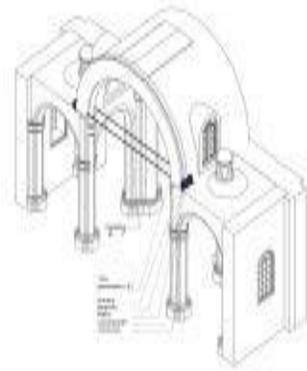


**Tabla 28**

*Consolidación templete*

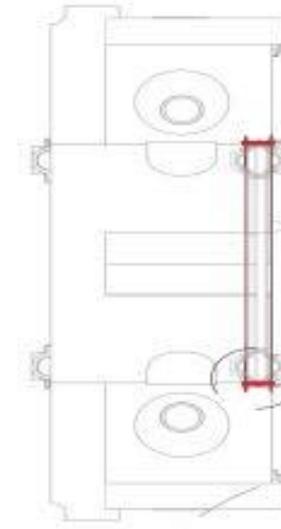
<b>CONSOLIDACIÓN TEMPLETE</b>				
<p>Son varillas de acero que están diseñadas principalmente para absorber esfuerzos de tracción, y su función principal es prevenir la inclinación o deflexión de los elementos estructurales, lo que a su vez protege las bóvedas, arcos o cupulas que transmiten cargas a estas varillas.</p>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>COMPOSICIÓN DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS</b>	<b>FACTORES A CONTRARRESTAR</b>	<b>CONSOLIDACIÓN</b>

**Templetes pasivos  
reversibles -  
consolidación arcos  
fajón en bóveda de  
cañón**

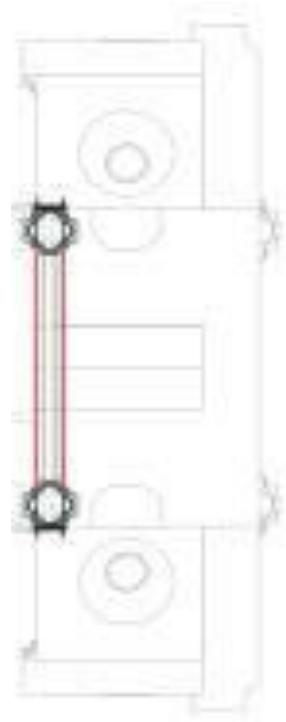


1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena

En la bóveda se presentan fisuras perpendiculares a la sección del arco principal, lo que indica una deflexión en el sentido importante de esfuerzos, la cual debe ser neutralizada mediante tensores pasivos, para mitigar el riesgo por efecto sísmico durante un evento dinámico, por componente vertical que causaría el desplome de la bóveda de cañón.

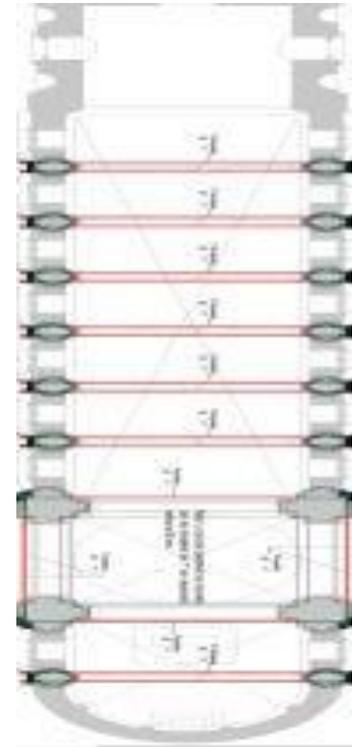


**Planta de consolidación de arcos fajón y toral, con templetes pasivos reversibles.**

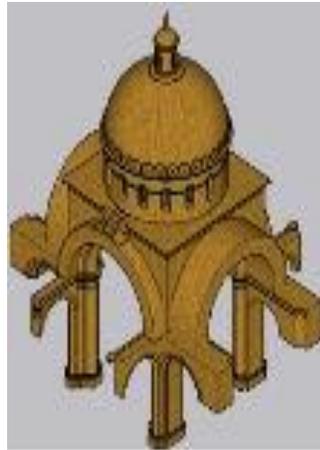


1. Mampostería: arcilla cocida.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena

En la bóveda se presentan fisuras perpendiculares a la sección del arco principal, lo que indica una deflexión en el sentido importante de esfuerzos, la cual debe ser neutralizada mediante tensores pasivos, para mitigar el riesgo por efecto sísmico durante un evento dinámico, por componente vertical que causaría el desplome de la bóveda de cañón.

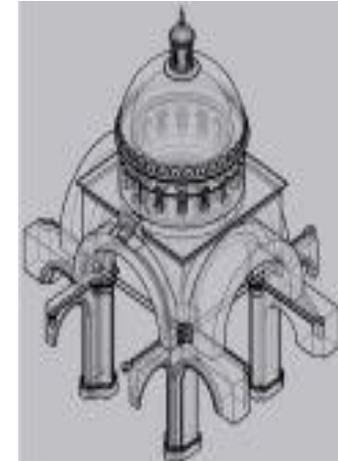


**Consolidación arcos toral en presbiterio**



1. Mampostería: encuentra asociado con la arcilla cocida.
2. Calicanto: que indica una deflexión, la mezcla de cal y arena

El presbiterio, el cual se encuentra asociado con la bóveda presenta fisuras, lo cual debe ser neutralizada mediante tensores pasivos, para mitigar el riesgo por efecto sísmico durante un evento dinámico.



**Tabla 29**

*Consolidación con platinas de carbono fibras*

**CONSOLIDACIÓN CON FIBRA DE CARBONO**

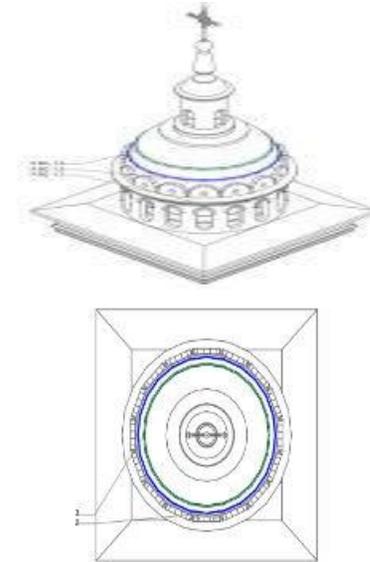
Fibras de carbono de alta resistencia y alto modulo, usado para el reforzamiento de elementos estructurales. Además de ser un material versátil conocido por su peso ligero y alta resistencia tanto a esfuerzos de tracción como a esfuerzos de flexión.

DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN	COMPOSICIÓN DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS	FACTORES A CONTRARRESTAR	CONSOLIDACIÓN
-------------	--------------	--	--------------------------	---------------

**Consolidación  
de cúpula- torre  
del coro**



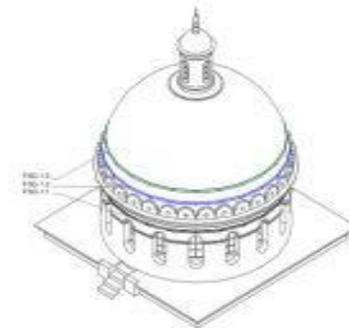
1. Mampostería: arcilla cocida. Prevención de ensanchamiento o deformación de los elementos, para mitigar el riesgo por efecto sísmico durante un evento dinámico.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



**Consolidación  
de cúpula  
presbiterio**



1. Mampostería: arcilla cocida. Prevención de ensanchamiento o deformación de los elementos, para mitigar el riesgo por efecto sísmico durante un evento dinámico.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena

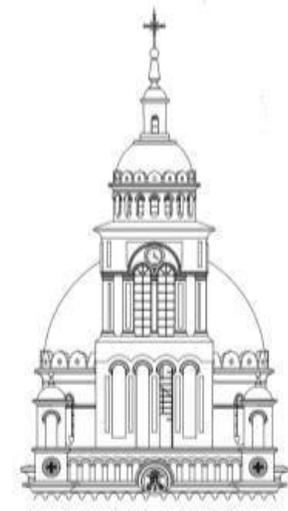
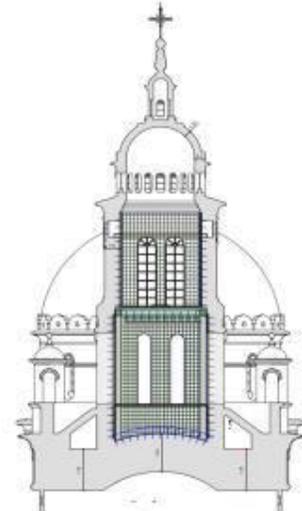


**Tabla 30**

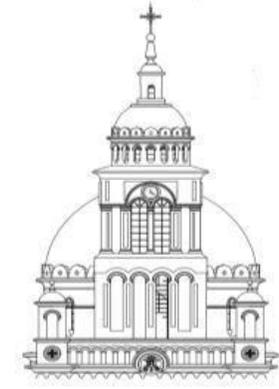
*Consolidación en el campanario*

**CONSOLIDACIÓN EN EL CAMPANARIO**

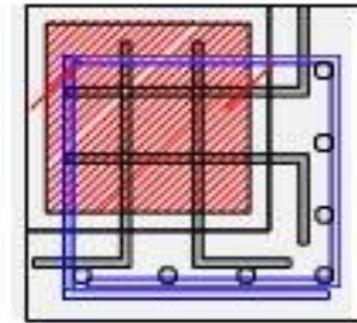
Las placas de concreto reforzado son consideradas como elementos estructurales bidimensionales planos, la edición de refuerzo de acero mejora la resistencia y la durabilidad de la placa de concreto lo que permite soportar cargas pesadas y resistir tensiones. Su espesor es pequeño en comparación a su largo y alto.

DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN	COMPOSICIÓN DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS	FACTORES A CONTRARRESTAR	CONSOLIDACIÓN
<p><b>Consolidación interna en muros de la torre del campanario.</b></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mampostería: arcilla cocida.</li> <li>2. Calicanto: mezcla de cal y arena</li> </ol>	<p>Mejorar la capacidad de respuesta de la estructura ante fuerzas sísmicas.</p>	

**Consolidación  
de las columnas  
esquineras de la  
torre del  
campanario**



1. Mampostería: Mejorar la capacidad de respuesta de la estructura ante fuerzas sísmicas.
2. Calicanto: mezcla de cal y arena



### **3. Conclusiones**

Al realizar las fichas patológicas y el mapa de lesiones se pudo identificar que las zonas con más patologías críticas presentes son la torre del campanario y la cubierta del Templo incluyendo corrosión, humedad, fisuras y grietas; la presencia de corrosión en la torre del campanario podría comprometer la estabilidad de la estructura, poniendo en riesgo la seguridad de quienes se encuentren en sus inmediaciones. Además, la humedad detectada en la cubierta del Templo podría provocar daños adicionales, como la proliferación de hongos y la degradación de los materiales, afectando la longevidad del templo. Las fisuras y grietas identificadas también indican debilidades estructurales, y deflexiones significativas que, si no se abordan adecuadamente, podrían dar lugar a un deterioro progresivo y costoso. En términos generales, estas patologías no solo representan amenazas inmediatas para la seguridad, sino que también plantean desafíos significativos para la conservación a largo plazo del patrimonio arquitectónico del Templo. Estas patologías pueden ser tratadas de la siguiente manera:

- **Humedad:** Se aplica externamente poliuria pura añadiendo recubrimiento de poliuretano alifático, se realiza un proceso adecuado de limpieza, se deja ventilar por 24 horas y posteriormente se aplica mortero impermeabilizante.
- **Fisuras y grietas:** se realiza inyección de fisuras con resina epóxica de baja viscosidad, se aplica posteriormente impermeabilización poliuria pura añadiendo recubrimiento de poliuretano alifático. Por último, se debe realizar un proceso de repotenciamiento de las columnas y demás elementos afectados.
- **Corrosión:** la propuesta de intervención se hace desde el componente estructural ya que es necesario un recalce estructural, reposición de acero de refuerzo y construcción de nuevos elementos que sean encargados de soportar las solicitudes de cargas.

El análisis integral realizado en el estudio del templo de Ancuya, ubicado en el departamento de Nariño, ha revelado que el templo presenta una alta vulnerabilidad sísmica. Este veredicto se fundamenta en análisis patológicos y experimentales minuciosos que se llevaron a cabo. Dichos análisis identificaron diversas patologías, como fisuras, desprendimientos de revestimiento y degradación de los materiales, así como debilidades estructurales que plantean una amenaza evidente para la integridad de la edificación. A pesar de que se cumplieron con las pautas

establecidas en la normativa, la inspección visual reveló una discrepancia significativa entre los resultados del análisis patológico y experimental, y el modelamiento estructural.

El periodo corto de 0.2 segundos del primer modo de vibración de la estructura sugiere que esta posee una rigidez considerable. Esta rigidez resulta beneficiosa al reducir deformaciones y desplazamientos laterales durante eventos sísmicos o cargas dinámicas. Sin embargo, es importante señalar que una estructura muy rígida puede experimentar mayores aceleraciones en respuesta a dichas cargas, generando tensiones más elevadas en sus elementos estructurales. La rigidez de la estructura implica una alta frecuencia natural de vibración, lo que contribuye a una respuesta rápida ante cargas dinámicas.

En conclusión, hasta el momento, las alternativas planteadas para reducir la vulnerabilidad del Templo son principalmente conceptuales. Sin embargo, para cuantificar y mejorar esta consolidación es crucial llevar a cabo un modelado estructural de la iglesia implementando las soluciones propuestas. Una de las mayores estructuras vulnerables sísmicamente son los arcos fajones y torales los cuales componen el sistema principal de carga, los cuales las transmiten a las columnas lobuladas y estas al suelo; las cuales por las patologías presentes necesitan la consolidación conceptual por clavos más ligante epóxico para evitar el riesgo por cortante en un evento sísmico.

Además, se utilizaron consolidaciones no convencionales, dado que, no todas las tecnologías de reforzamiento estructural son aplicables en este contexto patrimonial, ya que se requieren soluciones reversibles, en la cuales se encuentra la consolidación con:

- **Templetes pasivos:** existen fisuras en la bóveda cañón longitudinal y transversal que indican de flexión en el sentido importante de esfuerzos; esta se recomienda ser neutralizada por los tensores pasivos propuestos en la consolidación conceptual para evitar el posible desplome en un evento sísmico; teniendo en cuenta que por condición patrimonial estos se pueden retirar en cualquier momento.
- **Fibra de carbono:** Se utiliza para mitigar el riesgo sísmico para la prevención de ensanchamiento o deformación de los elementos en la cúpula torre del coro y presbiterio.

Sin embargo, esta propuesta se encuentra respaldada por antecedentes satisfactorios en estructuras notables como las del Vaticano y la Catedral en la ciudad de Pasto. Estas

consideraciones subrayan la importancia de abordar la vulnerabilidad del Templo de manera integral, combinando soluciones conceptuales y prácticas, adaptadas a su contexto patrimonial.

Dadas las limitaciones estructurales y patrimoniales, no es posible cumplir con los requisitos de la NSR 10 para un reforzamiento. Por lo tanto, se pueden implementar medidas estratégicas públicas en eventos sísmicos. Es esencial tener pleno conocimiento de que el templo no es un espacio apto para la presencia de personas durante un evento sísmico, en caso de ocurrencia de uno de estos, se debe tener un plan estratégico de evacuación, para minimizar el riesgo de accidentes y víctimas en este suceso. El templo de Ancuya cuenta con dos tipos de macro elementos como la superestructura en mampostería en ladrillo con ligante en calicanto presente en 99% de ella y en concreto presente en un 1% de ella; teniendo en cuenta que el campanario en donde se encuentra el concreto reforzado tiene una patología severa por corrosión que se debe solucionar lo más pronto posible por estabilidad; acogiendo así el planteamiento conceptual de las platinas de concreto en esta zona al mejorar la capacidad de respuesta de la estructura ante fuerzas sísmicas.

#### **4. Recomendaciones**

Teniendo presente que hasta el momento las alternativas planteadas para la reducción de la vulnerabilidad sísmica son solo conceptuales se recomienda llevar a cabo proyectos consolidados para materializar las soluciones. En este caso, se considera fundamental elaborar un modelado estructural de la iglesia, debido a que en la misma prevalece la ausencia de técnicas de restauración adecuadas, por lo que es vital crear un proyecto que, si bien tome medidas sobre la vulnerabilidad sísmica en la iglesia conjuntamente con las técnicas de restauración, se tenga presente la relevancia de conservar el tejido histórico de la misma.

Por otra parte, el estudio permitió reconocer que el templo puede ser un espacio inadecuado para albergar personas en caso de eventos sísmicos, lo que da paso a la recomendación preventiva sobre contar con un plan estratégico de evacuación, pues mas allá de su restauración y la necesidad de ejecutar proyectos que permitan reducir la vulnerabilidad sísmica, el plan de evacuación es vital y debe añadirse y estructurarse acorde a las modificaciones que se realicen en el templo.

## Referencias

- Arciniegas, A. W. (2023). *Localización general templo de la Virgen de la Visitacion de Ancuya Nariño*. <https://informativodelguaico.com/celebracion-a-nuestra-senora-de-visitacion-de-ancuya-con-alegria-y-devocion/>
- Arellano, M. (2019). *Arquitecta y youtuber 'Ter' explica la estructura de la Catedral de Notre-Dame a través de diagrama*. <https://www.archdaily.cl/cl/918266/la-arquitecta-y-youtuber-ter-explica-la-estructura-de-la-catedral-de-notre-dame-a-traves-de-diagramas>
- Arregocés, A. C. (2022). *Creación de fichas patológicas para la evaluación, diagnóstico* (tesis de pregrado). Universidad del Magdalena. <https://repositorio.unimagdalena.edu.co/items/e319eec4-5c10-4fa2-8588-22cbd77685e6/full>
- Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios aplicación a entornos urbanos en zona de amenaza alta y moderada* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cataluña. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6230#page=1>
- Castillo Benavides, J. F., y Sánchez Cerón, Y. A. (2021). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica del Museo de Taminango*. San Juan de Pasto.
- Castillo Valencia, I. W. (2023). *Evaluación estructural Templo Nuestra Señora de la Visitacion Ancuya*. San Juan de Pasto.
- Castillo, F. G. (1999). *Métodos de elementos finitos mixtos con deformaciones supuestas en elastoplasticidad* (tesis de doctorado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos. <https://oa.upm.es/116/>
- Chavez, M. F. (2012). *Determinación Preliminar De La Vulnerabilidad Sísmica Del Bloque*. Universidad de Nariño.

Correa Parra, L. M., y Quijano Galvis, S. (2018). Análisis estadístico de modos de vibración en columnas (tesis de pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana. [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5309/digital\\_36477.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5309/digital_36477.pdf?sequence=1)

Díaz Barreiro, P. (2014). *Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12694/DiazBarreiroPatricia2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ferrer, R. (2019). *Ensayos no Destructivos (END): ¿Qué son?* [https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/252588-Ensayos-no-Destructivos-\(END\)-Que-son.html](https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/252588-Ensayos-no-Destructivos-(END)-Que-son.html)

Gonzales, J. (2016). Evaluación geotécnica de suelos en estructuras patrimoniales. *Rev. de geotecnia aplicada*, 117-130.

Hernandez, R. (2019). El uso de acero en estructuras históricas. *Rev. de Ingeniería Civil*, 75-88.

Hilti. (s.f.). *Ferro scan PS 300-ficha técnica*. [https://www.hilti.com.mx/medias/sys\\_master/documents/h97/h7f/9660051783710/Documentacion-ASSET-DOC-LOC-3111058.pdf#:~:text=El%20sistema%20sirve%20para%20detectar,etc.%2C%20mediante%20campo%20magnético](https://www.hilti.com.mx/medias/sys_master/documents/h97/h7f/9660051783710/Documentacion-ASSET-DOC-LOC-3111058.pdf#:~:text=El%20sistema%20sirve%20para%20detectar,etc.%2C%20mediante%20campo%20magnético)

OM Ingeniería. (2021). *Teoría de la corrosión y oxidación*. San Juan de Pasto.

Jorguera, N., Ruiz, J., y Torres, C. (2017). Análisis de criterios de diseño sísmico de la iglesia de Santo Domingo, Patrimonio Colonial de Santiago de Chile. *Rev. de la construcción*, 16(3).  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2017000300388&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2017000300388&script=sci_arttext)

Karanikoloudis, G., y Lourenco, K. (2018). *Structural assessment and seismic vulnerability of earthen historic structures. Application of sophisticated numerical and simple analytical models.*

[https://www.researchgate.net/publication/323074179\\_Structural\\_assessment\\_and\\_seismic\\_vulnerability\\_of\\_earthen\\_historic\\_structures\\_Application\\_of\\_sophisticated\\_numerical\\_and\\_simple\\_analytical\\_models](https://www.researchgate.net/publication/323074179_Structural_assessment_and_seismic_vulnerability_of_earthen_historic_structures_Application_of_sophisticated_numerical_and_simple_analytical_models)

Méndez, J. M. (2013). *Metodología con base en macroelementos para la evaluación de resistencia y mecanismos de colapso de iglesias antiguas en mampostería* (tesis de posgrado). Universidad Nacional Autónoma de México.  
[http://www.ciencianueva.unam.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/97/16\\_metodologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.ciencianueva.unam.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/97/16_metodologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MinVivienda. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR-10. Decreto 926 de marzo 19 de 2010.*  
<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Paulay, T., y Priestley, M. (1992). *Seismic Design Of Reinforced Concrete And Masonry Buildings.*  
[https://www.academia.edu/31645700/SEISMIC\\_DESIGN\\_OF\\_REINFORCED\\_CONCRETE\\_AND\\_MASONRY\\_BUILDINGS\\_A\\_WILEY\\_INTERSCIENCE\\_PUBLICATION](https://www.academia.edu/31645700/SEISMIC_DESIGN_OF_REINFORCED_CONCRETE_AND_MASONRY_BUILDINGS_A_WILEY_INTERSCIENCE_PUBLICATION)

Perez, F. (2018). Impacto de la humedad en la conservación de edificios patrimoniales. *Rev. de Conservación del Patrimonio*, 105-120.

- Quispe, V., y Bily, E. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la iglesia catedral del distrito de Huancavelica mediante el código FEMA-310 (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/e7e5ccc5-3b59-43e5-8057-0611cc3b748c>
- Rodriguez, S. (2021). Estudio de patología en edificios históricos: casos de estudio. *Rev. de Patrimonio Histórico*, 55-58.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Galeras*.  
[https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanGaleras/PDF/Memoria Actualizacion Mapas Amenaza Volcanica Volcan Galeras 2015.pdf](https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanGaleras/PDF/Memoria_Actualizacion_Mapas_Amenaza_Volcanica_Volcan_Galeras_2015.pdf)
- Smith, A. (2018). La importancia del patrimonio cultural en la sociedad moderna. *Rev. de Patrimonio Cultural*, 45-62.
- Rivera, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural. *Rev. De estudios sobre patrimonio cultural*, 25(2).  
<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8763>
- Ugel, R. (2015). *Vulnerabilidad sísmica en edificaciones porticadas* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Catalunya. <https://www.tdx.cat/handle/10803/321353>
- Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Vulnerabilidad sísmica y patológico de la institución universitaria, tecnológico de Antioquia*.  
[https://www.tdea.edu.co/images/tdea/galeria/planeacion/estudio\\_vulnerabilidad\\_sismica.pdf](https://www.tdea.edu.co/images/tdea/galeria/planeacion/estudio_vulnerabilidad_sismica.pdf)

Castillo, W., Palma, G., y Moncayo, H. (2018). Evaluación de vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño Colombia), Caso teatro Imperial. Rev. Entre Ciencia e Ingeniería, 12(24). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672018000200077](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672018000200077)

Zanni, E. (2008). Patología de la construcción y restauración de obras arquitectónicas. Brujas. <https://books.google.co.ve/books?id=5wbqw8YG1C4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

**Anexos**

*Anexo A Planos arquitectónicos*

*Anexo B Informe de resultados FerroScam*

*Anexo C Fichas patológicas*

*Anexo D Mapa de lesiones*

*Anexo E Materialidad del Templo de Ancuya*

*Anexo F Ensayos de laboratorio*

*Anexo G Modos de vibración sin discretizar*

*Anexo H Deformación del peso propio por acción gravitacional*

*Anexo I Consolidación estructural*