UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, VINCULACIÓN Y POSGRADO
DIRECCION DE POSGRADO

Maestría/Especialización en: Restauración y Conservación de Bienes Culturales con mención en Patrimonio Edificado
Cohorte: Segunda

Trabajo de Titulación para optar al título de Magister Restauración y Conservación de Bienes Culturales, Mención Patrimonio Edificado

Tema: Análisis de Sistemas de Reforzamientos Estructurales en Cúpulas de Piedra, en Tres Iglesias Patrimoniales de la Zona 3 – Ecuador

Opción de Titulación: Proyecto de Investigación Aplicada y/o de Desarrollo

AUTOR:
Miguel Ángel Chávez Bedón

TUTOR:
MgSc. José Luis Fernández Melendres.

Riobamba, Ecuador, 2026.

Declaratoria de Autoría y Cesión de Derechos

Yo, **Miguel Ángel Chávez Bedón**, con número único de identificación **060291897-1**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: "**Análisis de Sistemas de Reforzamientos Estructurales en cúpulas de piedra, en tres Iglesias Patrimoniales de la Zona 3 – Ecuador**" previo a la obtención del grado de Magíster en Restauración y Conservación de Bienes Culturales, mención Patrimonio Edificado.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, octubre de 2026



Miguel Ángel Chávez Bedón
N.U.I. 060291897-1

ACTA DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En la ciudad de Riobamba, a los 21 días del mes de septiembre de 2026, los miembros del Tribunal designado por la Comisión de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo, reunidos con el propósito de analizar y evaluar el Trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de titulación con componente investigación aplicada y/o desarrollo, CERTIFICAMOS lo siguiente:

Que, una vez revisado el trabajo titulado: **"ANÁLISIS DE SISTEMAS DE REFORZAMIENTOS ESTRUCTURALES EN CÚPULAS DE PIEDRA, EN TRES IGLESIAS PATRIMONIALES DE LA ZONA 3 - ECUADOR"** dentro de la línea de investigación de Patrimonio y Saberes Ancestrales, presentado por el maestrante **Chávez Bedón Miguel Ángel**, portador de la cédula de ciudadanía No 060291897-1, estudiante del programa de Maestría en **RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE BIENES CULTURALES CON MENCIÓN EN PATRIMONIO EDIFICADO,** se ha verificado que dicho trabajo cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo cuanto podemos certificar, en honor a la verdad y para los fines pertinentes.

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE LUIS FERNANDEZ MELENDRES

José Fernández
TUTOR

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FREDY MARCELO RUIZ ORTIZ

Fredy Ruiz
MIEMBRO DEL TRIBUNAL 1

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DIEGO JAVIER BARAHONA RIVADENEIRA

Javier Barahona
MIEMBRO DEL TRIBUNAL 2

Campus La Dolorosa
Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-3) 373-0880, ext. 2002
Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec
un movimiento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO	CERTIFICADO DE SIMILITUD		SGC SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
	CÓDIGO: GD.07.04. P02.F11.	**VERSIÓN: 00**	
	FECHA: 14-04-2026		
	MACROPROCESO: GESTIÓN DE DOCENCIA **PROCESO:** GESTIÓN DE LA EJECUCIÓN CURRICULAR DE PROGRAMAS **SUBPROCESO:** EJECUCIÓN DE LA TITULACIÓN		

Yo, José Luis Fernándes Melendres, certifico que **MIGUEL ÁNGEL CHÁVEZ BEDÓN** con cédula de identidad No. 0602918971 estudiante del programa de Maestría Restauración y Conservación de Bienes Culturales con mención en Patrimonio Edificado, cohorte II presentó su trabajo de titulación bajo la modalidad de Proyecto de titulación con componente de investigación aplicada/desarrollo denominado: **ANÁLISIS DE SISTEMAS DE REFORZAMIENTOS ESTRUCTURALES EN CÚPULAS DE PIEDRA, EN TRES IGLESIAS PATRIMONIALES DE LA ZONA 3 – ECUADOR,** el mismo que fue sometido al sistema de verificación de similitud de contenido COMPILATION identificando el dos (2) por ciento de similitud en el texto, y el ocho (8) por ciento en inteligencia artificial.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE LUIS FERNANDEZ MELENDRES

_____
José Luis Fernández Melendres
CI: 0603010158
Adj.-
- Resultado del análisis de similitud (sistema)
- Certificado similitud (sistema)

Dedicatoria

A *Dios*, por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos de cansancio y la sabiduría para no rendirme cuando el camino parecía difícil.

A mi esposa *Sandra*, compañera incondicional de este proceso, gracias por tu paciencia, tu apoyo silencioso y tu amor firme en cada etapa de este proyecto.

A mis hijas, *Ariana* y *Andrea*, que son mi mayor motivación y el motor que impulsa cada uno de mis esfuerzos. Este logro también es suyo, porque cada sacrificio tuvo como propósito construir un mejor futuro para ustedes.

Con todo mi amor, les dedico este trabajo.

Agradecimiento

A la Universidad, por abrirme las puertas al conocimiento y brindarme el espacio académico para crecer profesional y personalmente.

A los docentes del programa de maestría, por compartir su experiencia, orientación y compromiso con la formación integral, dejando huellas que trascienden el aula.

De manera especial, a mi tutor, por su acompañamiento constante, sus observaciones precisas y su guía durante el desarrollo de esta investigación. Su apoyo fue fundamental para culminar este proceso con rigor y confianza.

Y a todos quienes, de una u otra forma, aportaron a la realización de este proyecto, mi sincero agradecimiento.

Miguel

Índice General

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS II
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL III
CERTIFICADO DE SIMILITUD IV
DEDICATORIA V
AGRADECIMIENTO VI
ÍNDICE GENERAL VII
ÍNDICE DE TABLAS XI
ÍNDICE DE FIGURAS XIII
ÍNDICE DE ANEXOS XIV
RESUMEN XV
ABSTRACT XVI
CAPÍTULO I ..... - 17 -
1. Introducción ..... - 17 -
1.1. Planteamiento del problema ..... - 17 -
1.2. Justificación ..... - 18 -
1.3. Objetivos ..... - 19 -
1.3.1. Objetivo General ..... - 19 -
1.3.2. Objetivos Específicos ..... - 19 -
1.4. Metodología ..... - 19 -
1.4.1. Enfoque de Investigación ..... - 19 -
1.4.2. Diseño de Investigación ..... - 19 -
1.4.3. Alcance de Investigación ..... - 20 -
1.4.4. Población de estudio y tamaño de muestra ..... - 20 -
1.4.5. Idea a defender ..... - 20 -
1.4.6. Métodos de análisis y procesamiento de datos ..... - 21 -
1.4.7. Técnicas de recolección de datos ..... - 22 -
1.4.8. Instrumentos ..... - 22 -
CAPÍTULO II ..... - 24 -
2. Marco Referencial ..... - 24 -
2.1. Marco Teórico ..... - 24 -
2.1.1. La cúpula ..... - 24 -
2.1.1.1. Contexto histórico ..... - 24 -
2.1.1.2. Principios de ingeniería estructural ..... - 25 -
2.1.2. Materiales y técnicas de construcción tradicionales para cúpulas ..... - 27 -
2.1.2.1. *Materiales de construcción tradicionales* ..... - 27 -
2.1.2.2. Técnicas de construcción tradicionales ..... - 32 -
2.1.3. Refuerzos estructurales en cúpulas de edificios históricos ..... - 39 -
2.1.3.1. Patologías comunes ..... - 39 -
2.1.3.2. Evaluación y diagnóstico ..... - 41 -
2.1.3.3. Daño estructural ..... - 43 -
2.1.3.4. Reforzamiento estructural ..... - 47 -
2.1.3.5. Medidas de conservación preventiva y monitoreo ..... - 49 -

2.1.4. Conservación del Patrimonio Arquitectónico ..... - 50 -
2.1.4.1. Patrimonio Arquitectónico ..... - 50 -
2.1.4.2. Conservación del Patrimonio ..... - 51 -
2.1.4.3. Legislación y normativas de conservación ..... - 51 -
2.1.4.4. Análisis de Riesgos Patrimoniales ..... - 57 -
2.2. Referente ..... - 61 -
CAPÍTULO III ..... - 65 -
3. Resultados y Discusión ..... - 65 -
3.1. Iglesia Matriz de Pujilí ..... - 66 -
3.1.1. Contexto Histórico ..... - 66 -
3.1.2. Valoración Funcional ..... - 68 -
3.1.3. Valoración Morfológica ..... - 70 -
3.1.4. Valoración Técnico-constructiva ..... - 71 -
3.1.5. Patologías ..... - 74 -
3.2. Iglesia Catedral de Latacunga ..... - 78 -
3.2.1. Contexto Histórico ..... - 78 -
3.2.2. Valoración Funcional ..... - 81 -
3.2.3. Valoración Morfológica ..... - 82 -
3.2.4. Valoración Técnico-constructiva ..... - 83 -
3.2.5. Patologías ..... - 86 -
3.3. Basílica de Riobamba ..... - 89 -
3.3.1. Contexto Histórico ..... - 89 -
3.3.2. Valoración Funcional ..... - 92 -
3.3.3. Valoración Morfológica ..... - 93 -
3.3.4. Valoración Técnico-constructiva. ..... - 94 -
3.3.5. Patologías ..... - 99 -
3.4. Análisis de Riesgos ..... - 102 -
3.4.1. Metodología aplicada ..... - 103 -
3.4.1.1. Fase 1: Establecer el contexto ..... - 103 -
3.4.1.2. Fase 2: Identificar los Riesgos (ABC + GRD) ..... - 104 -
3.4.1.3. Fase 3: Desarrollar una Matriz de Riesgos Integrada ..... - 105 -
3.4.1.4. Fase 4: Priorizar y Analizar los Riesgos ..... - 112 -
3.4.1.5. Fase 5: Determinar el Nivel de Confianza y Limitaciones del estudio .....- 115 -
3.4.2. Desarrollo ..... - 116 -
3.4.3. Resultados ..... - 119 -
3.4.3.1. Análisis por componentes de la metodología ABC-GRD ..... - 120 -
3.4.3.2. Síntesis general de los riesgos identificados ..... - 122 -
3.4.3.3. Matriz conglomerada de riesgos ..... - 123 -
3.4.3.4. Jerarquización comparativa del riesgo ..... - 126 -
3.4.3.5. Análisis de factores causales ..... - 130 -
CAPÍTULO IV ..... - 139 -
4. Mejores Prácticas Aplicables a Intervenciones de Bienes Patrimoniales Religiosos en Cúpulas de Piedra ..... - 139 -

4.1. Introducción ..... - 139 -
4.2. Criterios generales para intervenciones en cúpulas patrimoniales ..... - 140 -
4.2.1. Principios rectores ..... - 140 -
4.2.2. Caracterización previa del sistema constructivo ..... - 141 -
4.2.3. Evaluación del contexto territorial ..... - 145 -
4.3. Mejores prácticas para reforzamiento estructural ..... - 146 -
4.3.1. Sistemas de reforzamiento documentados para amenaza sísmica en la Zona V - 146 -
4.3.2. Diseño de interfaces en sistemas mixtos ..... - 149 -
4.3.3. Protección anticorrosiva de elementos metálicos ..... - 150 -
4.3.4. Compatibilización de materiales históricos y contemporáneos ..... - 154 -
4.4. Mejores prácticas para control del comportamiento hídrico ..... - 156 -
4.4.1. Especificación de sistemas de impermeabilización ..... - 156 -
4.4.2. Consideración de escenarios climáticos futuros ..... - 159 -
4.4.3. Integración con sistemas de evacuación pluvial ..... - 159 -
4.5. Gestión del riesgo post-intervención ..... - 160 -
4.5.1. Monitoreo instrumental especializado ..... - 160 -
4.5.1.1. Parámetros a monitorear ..... - 161 -
4.5.1.2. Implementación práctica ..... - 162 -
4.5.2. Protocolos de mantenimiento preventivo ..... - 163 -
4.5.2.1. Protocolo de inspección (Checklist) ..... - 163 -
4.5.2.2. Programa de mantenimiento preventivo ..... - 164 -
4.5.3. Documentación técnica exhaustiva ..... - 165 -
4.5.3.1. Contenidos obligatorios del expediente técnico ..... - 165 -
4.6. Criterios de preservación del valor patrimonial ..... - 166 -
4.6.1. Minimización de pérdidas materiales ..... - 167 -
4.6.1.1. Protocolo de decisión para sustitución vs conservación ..... - 167 -
4.6.1.2. Dosificación de intervenciones ..... - 168 -
4.6.2. Preservación de legibilidad histórica ..... - 168 -
4.6.2.1. Estrategias de diseño para preservar legibilidad ..... - 168 -
4.6.3. Reversibilidad y compatibilidad ..... - 170 -
4.6.3.1. Matriz de evaluación de reversibilidad ..... - 170 -
4.6.3.2. Protocolo de ensayos de compatibilidad ..... - 170 -
4.7. Síntesis de recomendaciones operativas ..... - 171 -
4.7.1. Protocolo integrado de intervención (Diagrama de flujo) ..... - 171 -
4.7.2. Lista de verificación pre-intervención (checklist obligatorio) ..... - 176 -
4.7.3. Indicadores de calidad de intervención ..... - 177 -
4.7.4. Recomendaciones para gestión institucional ..... - 177 -
4.8. Conclusiones ..... - 179 -
5. Conclusiones ..... - 180 -
5.1. Respecto a la identificación de sistemas de reforzamiento estructural - 180 -
5.2. Respecto al análisis de sistemas de reforzamiento y patologías ..... - 181 -
5.3. Respecto a la determinación de mejores prácticas ..... - 181 -
5.4. Conclusiones generales ..... - 182 -

6. Recomendaciones ..... - 183 -
6.1. Para los profesionales intervinientes ..... - 183 -
6.2. Para autoridades y técnicos del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) - 183 -
6.3. Para futuras investigaciones ..... - 184 -
Bibliografía ..... - 185 -
Anexos ..... - 192 -

Índice de Tablas

Tabla 1 Diferencias entre el Método ABC y el Manual GRD..... - 59 -
Tabla 2 Artículos de análisis para el estado del arte..... - 62 -
Tabla 3 Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Antigüedad"... - 66 -
Tabla 4 Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Entorno urbano natural" ..... - 68 -
Tabla 5 Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Histórico-testimonial-simbólico"..... - 68 -
Tabla 6 Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Tipológico Funcional" ..... - 70 -
Tabla 7 Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Estético formal" - 71 -
Tabla 8 Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Técnico constructivo"..... - 74 -
Tabla 9 Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Antigüedad" - 78 -
Tabla 10 Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Entorno urbano natural" ..... - 80 -
Tabla 11 Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Histórico-testimonial-simbólico"..... - 80 -
Tabla 12 Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Tipológico funcional" ..... - 82 -
Tabla 13 Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Estético formal"..... - 83 -
Tabla 14 Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Técnico constructivo"..... - 86 -
Tabla 15 Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Antigüedad" ..... - 90 -
Tabla 16 Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Entorno urbano natural" ..... - 91 -
Tabla 17 Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Histórico-testimonial-simbólico"..... - 92 -
Tabla 18 Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Tipológico funcional" ..... - 93 -
Tabla 19 Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Estético formal"..... - 94 -
Tabla 20 Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Técnico constructivo"..... - 99 -
Tabla 21 Variables del Método ABC ..... - 106 -
Tabla 22 Variables del Manual GRD ..... - 107 -
Tabla 23 Variables Adicionales Propuestas ..... - 107 -
Tabla 24 Valoración del Control Actual - CA..... - 108 -
Tabla 25 Otros campos de la matriz ..... - 108 -

Tabla 26 Justificación y fundamento teórico de la fórmula propuesta para Magnitud del Riesgo - MR..... - 110 -
Tabla 27 Matriz de Priorización de Riesgos propuesta ..... - 114 -
Tabla 28 Niveles de confianza propuestos para el análisis de riesgos ..... - 115 -
Tabla 29 Componentes de la metodología ABC-GRD por Caso de Estudio ..... - 121 -
Tabla 30 Distribución de Riesgos Identificados por Caso de Estudio..... - 122 -
Tabla 31 Categorización de Riesgos según Magnitud del Riesgo (MR)..... - 123 -
Tabla 32 *Matriz Conglomerada de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales - Zona 3 Ecuador* ..- 124 -
Tabla 33 *Amenazas Territoriales Identificadas: Caracterización y Capacidad de Respuesta Documentada*..... - 132 -
Tabla 34 *Vulnerabilidades Estructurales Críticas Identificadas: Patrones de Recurrencia y Efectividad de Mitigaciones Aplicadas*..... - 136 -
Tabla 35 *Evaluación de reversibilidad*..... - 170 -
Tabla 36 *Indicadores obligatorios*..... - 177 -
Tabla 37 *Indicadores de excelencia* ..... - 177 -

Índice de Figuras

Figura 1 *Cúpula – División en segmentos y curvatura transversal* ..... - 26 -
Figura 2 *Cúpulas de madera en el Palacio de los Cárdenas en Torrijos (S. XV)*..... - 28 -
Figura 3 *Cúpulas de barro en Valladolid*..... - 29 -
Figura 4 *Cúpulas de piedra* ..... - 30 -
Figura 5 *Cúpulas de adobe*..... - 31 -
Figura 6 *Cúpula de ladrillo de la Catedral de Florencia* ..... - 32 -
Figura 7 *Panteón de Roma extradós e intradós* ..... - 33 -
Figura 8 *Basílica de San Pedro en el Vaticano*..... - 33 -
Figura 9 *Tholos de Atreo o conocida como Tumba del Tesoro de Atreo* ..... - 34 -
Figura 10 *Pechina – ubicación respecto a la cúpula* ..... - 35 -
Figura 11 *Basílica de San Marcos*..... - 35 -
Figura 12 *Palacio de Ardashir I en Firuzabad, Irán*..... - 36 -
Figura 13 *Nervaduras y arcos ojivales de la bóveda gótica, Catedral de Notre-Dame de París*..... - 37 -
Figura 14 *Cúpula de la Iglesia Nuestra Señora de Sales con desprendimientos.* ..... - 40 -
Figura 15 *Cúpula del Santuario de Nuestra Señora de los Ángeles, parcialmente colapsada.*..... - 43 -
Figura 16 *Cúpula de la Iglesia del ex convento del Carmen del siglo XVIII*..... - 44 -
Figura 17 *Iglesia La Matriz de Pujilí – imagen histórica y actual* ..... - 66 -
Figura 18 *Sistema de cubiertas y cúpula principal de la Iglesia Matriz de Pujilí* ..... - 73 -
Figura 19 *Ficha de Análisis de Patologías - Iglesia Matriz de Pujilí* ..... - 75 -
Figura 20 *Iglesia La Catedral de Latacunga* ..... - 79 -
Figura 21 *Sistema de cubiertas y cúpula principal de la Iglesia Catedral de Latacunga*- 84 -
Figura 22 *Ficha de Análisis de Patologías - Iglesia Catedral de Latacunga* ..... - 87 -
Figura 23 *Basílica de San Ignacio de Loyola (Azpeitia) y la Basílica del Sagrado Corazón (Riobamba)* ..... - 89 -
Figura 24 *Sistema de cubiertas y cúpula principal de la Iglesia Basílica de Riobamba* .- 97 -
Figura 25 *Ficha de Análisis de Patologías - Iglesia Basílica de Riobamba* ..... - 100 -
Figura 26 *Análisis del Contexto - Capacidades locales*..... - 104 -
Figura 27 *Campos de la Matriz de Riesgos Integrada*..... - 106 -
Figura 28 *Corte transversal de la cúpula, Iglesia Matriz de Pujilí*..... - 142 -
Figura 29 *Corte transversal de la cúpula, Iglesia Catedral de Latacunga*..... - 143 -
Figura 30 *Corte transversal de la cúpula, Iglesia Basílica de Riobamba*..... - 143 -
Figura 31 *Diagrama de flujo de la Fase 1 – Diagnóstico*..... - 172 -
Figura 32 *Diagrama de flujo de la Fase 2 – Diseño* ..... - 173 -
Figura 33 *Diagrama de flujo de la Fase 3 – Validación*..... - 174 -
Figura 34 *Diagrama de flujo de la Fase 4 – Ejecución* ..... - 175 -
Figura 35 *Diagrama de flujo de la Fase 5 – Seguimiento*..... - 176 -

Índice de Anexos

Anexo 1. Guía de Observación ..... - 192 -
Anexo 2. Lista de Verificación para el Análisis de Riesgos en Cúpulas de Iglesias Patrimoniales ..... - 193 -
Anexo 3. Cuestionario de entrevista a profesionales intervinientes en las cúpulas estudiadas ..... - 203 -
Anexo 4. Cuestionario de encuesta a profesionales en restauración y conservación ... - 206 -
Anexo 5. Cuestionario de entrevista a tenedores de Iglesias Patrimoniales..... - 209 -
Anexo 6. Representación gráfica comparativa morfológica de las cúpulas de la Iglesia Matriz de Pujilí, Catedral de Latacunga y Basílica de Riobamba ..... - 213 -
Anexo 7. Resultados - Encuesta a profesionales en restauración y conservación..... - 214 -
Anexo 8. Respuestas de Entrevista – Tenedores de Iglesias Patrimoniales ..... - 228 -
Anexo 9. Respuestas de Entrevista – Profesionales intervinientes en las cúpulas estudiadas- 236 -
Anexo 10. Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Matriz de Pujilí .. - 271 -
Anexo 11. Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Catedral de Latacunga .- 309 -
Anexo 12. Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Basílica de Riobamba ..- 382 -
Anexo 13. Memoria Fotográfica de Intervenciones ..... - 460 -
Anexo 14. Lista de Verificación para el Cumplimiento de Mejores Prácticas..... - 471 -
Anexo 15. Análisis de sensibilidad del modelo de Magnitud del Riesgo (MR) ..... - 474 -

Resumen

El presente estudio surge de la necesidad de preservar los bienes inmuebles patrimoniales en un contexto sísmico como el ecuatoriano, considerando la vulnerabilidad inherente de estas estructuras. La normativa ecuatoriana y los tratados internacionales sobre patrimonio cultural establecen la obligación de salvaguardar y conservar bienes de relevancia histórica y arquitectónica. En la Zona 3 del Ecuador se identificaron tres iglesias patrimoniales con cúpulas de piedra: la Iglesia Matriz de Pujilí, la Catedral de Latacunga y la Basílica de Riobamba. En estos casos se analizaron los sistemas de reforzamiento estructural empleados en la restauración de sus cúpulas y se evaluaron los riesgos históricos, estructurales y residuales de sus intervenciones. La metodología integró el análisis documental, la observación científica y procesos técnicos de evaluación, mediante un enfoque analítico-sintético y comparativo. A través de la valoración tipológica, morfológica y técnico-constructiva, y la sistematización de resultados en una matriz de riesgos bajo la metodología ABC-GRD, se desarrolló una propuesta de mejores prácticas que integró los resultados al análisis técnico y experiencia profesional del autor. Se concluyó que el control hídrico es el desafío más crítico en las intervenciones, y que los sistemas de reforzamiento estructural que incorporan componentes metálicos evidencian alta efectividad en la reducción de la vulnerabilidad estructural frente a cargas sísmicas. La ausencia de monitoreo y mantenimiento sistemático favorece la reaparición de patologías y el incremento progresivo de la vulnerabilidad estructural. El uso de las directrices prácticas contribuirá a la preservación del patrimonio arquitectónico religioso del Ecuador en futuras intervenciones.

Palabras claves: reforzamiento estructural, cúpulas, piedra, patrimonio, Zona 3, restauración

ABSTRACT

This study arises from the need to preserve built heritage structures within Ecuador's seismic context, considering their inherent structural vulnerability. Ecuadorian regulations and international treaties on cultural heritage establish the obligation to safeguard and conserve assets of historical and architectural significance. In Zone 3 of Ecuador, three heritage churches with stone domes were identified: the Iglesia Matriz de Pujilí, the Cathedral of Latacunga, and the Basilica of Riobamba. In these cases, the structural reinforcement systems used in the restoration of their domes were analyzed, and the historical, structural, and residual risks associated with these interventions were evaluated. The methodology integrated documentary analysis, scientific observation, and technical assessment processes through an analytical-synthetic and comparative approach. Through typological, morphological, and technical and construction-related assessment, together with the systematization of the results in a risk matrix based on the ABC-GRD methodology, a set of best-practice guidelines was developed by integrating the findings with the author's technical analysis and professional experience. The study concluded that moisture control constitutes the most critical challenge in these interventions, while structural reinforcement systems incorporating metal components are highly effective in reducing structural vulnerability to seismic actions. Furthermore, the absence of systematic monitoring and maintenance contributes to the recurrence of deterioration problems and the progressive increase in structural vulnerability. The implementation of these practical guidelines will contribute to the preservation of Ecuador's religious architectural heritage in future interventions.

Keywords: structural reinforcement, domes, stone, heritage, Zone 3, restoration



Reviewed by:
MsC. Edison Damian Escudero
ENGLISH PROFESSOR
C.C.0601890593

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

Los sistemas de reforzamiento estructural son esenciales para la preservación y la seguridad de los bienes inmuebles patrimoniales. Estos deben ser cuidadosamente seleccionados y aplicados para no comprometer la autenticidad, originalidad, y el valor histórico de las estructuras. Además, es fundamental considerar la reversibilidad dentro de la intervención como una directriz clave en las propuestas o soluciones analizadas. Los distintos materiales y técnicas que existen, junto con las condiciones propias de cada edificio, hacen que esta tarea sea difícil.

En Ecuador, la arquitectura religiosa da cuenta de la historia, la cultura y la fe de sus habitantes. Las iglesias patrimoniales no solo son espacios de culto: también son monumentos históricos donde se lee la evolución arquitectónica y social de la región. Conservarlas no se reduce a restaurar lo físico, porque exige respetar su historia y lo que significan culturalmente.

En la Zona 3 de Ecuador, iglesias como la Iglesia Matriz de Pujilí, la Catedral de Latacunga y la Basílica de Riobamba han sido restauradas a nivel de sus cúpulas de piedra. En estas cúpulas, con sus complejas estructuras y materiales antiguos, debieron emplearse técnicas de reforzamiento que respetaran su integridad física y sus valores históricos, y que garantizaran además su estabilidad y seguridad. Sin un enfoque crítico y analítico, cualquier intervención pondría en riesgo tanto la estructura física como el valor patrimonial de estas edificaciones.

Restaurar bienes inmuebles patrimoniales ha sido siempre un problema central de la conservación arquitectónica. Se han hecho muchos esfuerzos, pero casi nunca se analizaron de forma sistemática las restauraciones anteriores, y por eso los aprendizajes que dejaron no se identificaron ni se documentaron. Esas experiencias, pese a su valor, en gran parte se han desaprovechado, y sin ellas resulta difícil construir un conjunto de buenas prácticas que oriente las intervenciones futuras.

Las iglesias de la región andina están expuestas a cambios de temperatura y humedad y a una actividad sísmica constante. Estas condiciones climáticas y geográficas deben tenerse presentes al diseñar cualquier sistema de reforzamiento estructural. Intervenir en construcciones tan antiguas obliga a equilibrar la innovación tecnológica con la tradición constructiva local, y a conservar los métodos y materiales originales siempre que sea posible.

Entre los sistemas de reforzamiento que hoy se aplican en cúpulas de piedra están los materiales compuestos, como las fibras de carbono o de vidrio, que aportan resistencia sin añadir mucho peso a la estructura (Kerakoll, 2020; Leyva & Urrego, 2019). Otra opción es el postensado, que comprime la piedra para que soporte más carga (Alegre et al., 2016).

Ambos métodos permiten tratar grietas, deformaciones y deterioro general sin alterar la integridad histórica ni la estética de la cúpula. Al combinar técnicas tradicionales y modernas se ha logrado conservar el patrimonio arquitectónico para las generaciones futuras, y también conciliar los principios de la conservación patrimonial con los avances actuales de la ingeniería estructural.

De este análisis surge la siguiente pregunta: ¿cuáles son las mejores prácticas aplicables a los sistemas de reforzamiento estructural en las cúpulas de piedra de las iglesias patrimoniales de la región andina de la Zona 3 del Ecuador? Una evaluación rigurosa de las técnicas utilizadas, su impacto en la integridad del patrimonio y la posibilidad de replicarlas en otros contextos similares, permitirá establecer directrices que aseguren la protección y conservación de estos valiosos monumentos arquitectónicos.

1.2. Justificación

La ley ecuatoriana reconoce como patrimonio cultural nacional a las "Art. 379 (…) edificaciones, espacios y conjuntos urbanos (…) que constituyan referentes de identidad para los pueblos o que tengan valor histórico, artístico, arqueológico, etnográfico o paleontológico" (Constitución de La República Del Ecuador, 2008) , y de manera específica a las " Art. 54 (…) edificaciones y conjuntos arquitectónicos como templos, conventos, capillas (…) construidos hasta 1940, que contengan un valor cultural e histórico que sea menester proteger" (Ley Orgánica de Cultura, 2016).

Identificar las mejores prácticas de reforzamiento estructural en cúpulas de piedra es indispensable para conservar las iglesias patrimoniales de manera efectiva y sostenible. Esto implica evaluar las técnicas de intervención, los materiales empleados y los métodos de ejecución que dieron buenos resultados en contextos parecidos. También hay que analizar hasta qué punto esas prácticas se adaptan a cada iglesia según su ubicación geográfica, su clima y sus características constructivas. Las prácticas identificadas servirán en futuras intervenciones en la Sierra Centro y podrán tomarse como referencia en proyectos de conservación de otras regiones con características similares.

Al desarrollar y documentar un análisis detallado y crítico de los sistemas de reforzamiento estructural, esta tesis pretende aportar a la preservación del patrimonio arquitectónico ecuatoriano, de modo que las cúpulas de piedra de sus iglesias patrimoniales sigan dando testimonio de la historia y la cultura de la región. La carta magna señala la protección del patrimonio cultural del país como deber primordial del Estado (Art. 3), su conservación como deber y responsabilidad de los ecuatorianos (Art. 83), así como su preservación como competencia exclusiva de los gobiernos municipales (Art. 264)(Constitución de La República Del Ecuador, 2008).

Así también la ley determina que la intervención a bienes patrimoniales "Art. 70 (…) deberá sujetarse a los principios técnicos nacionales e internacionales de conservación y consolidación y dejar reconocibles las adiciones que se realicen" (Ley Orgánica de Cultura, 2016). Es necesario revisar con criterio crítico los sistemas de reforzamiento usados en los

casos propuestos, para determinar qué prácticas resultaron efectivas y cuáles pueden mejorarse, sin dejar de lado el marco legal aplicable. Los resultados serán una guía útil para las entidades privadas dedicadas a la restauración y para los gobiernos autónomos descentralizados municipales, tanto en la ejecución como en el control técnico de futuras restauraciones.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar los sistemas de reforzamientos estructurales en cúpulas de piedra aplicados a tres Iglesias Patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador, para la determinación de mejores prácticas aplicables a futuras intervenciones del patrimonio arquitectónico religioso del Ecuador.

1.3.2. Objetivos Específicos

a. Identificar los sistemas de reforzamientos estructurales empleados en las cúpulas de tres iglesias patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador, mediante procesos de revisión técnica-documental y visitas de campo.

b. Analizar los sistemas de reforzamiento estructural y patologías, mediante su valoración funcional, morfológica y técnico-constructiva, y la sistematización de los resultados en una matriz de riesgos.

c. Proponer las mejores prácticas aplicables a intervenciones de bienes patrimoniales religiosos en cúpulas de piedra, a través del análisis técnico de los casos de estudio integrado al criterio y experiencia del autor, como parte de la investigación desarrollada.

1.4. Metodología

1.4.1. Enfoque de Investigación

El enfoque mixto permitió abordar la complejidad del tema desde múltiples perspectivas. El aspecto cualitativo se empleó en la identificación y descripción de los sistemas de reforzamiento, así como en la valoración funcional y morfológica de cada caso. El enfoque cuantitativo se aplicó en la evaluación técnico-constructiva y en la sistematización de resultados mediante una matriz de riesgos. Esta combinación de métodos garantizó una evaluación exhaustiva y holística, facilitando la identificación de mejores prácticas o soluciones aplicables y efectivas para futuras intervenciones en el patrimonio arquitectónico religioso del Ecuador.

1.4.2. Diseño de Investigación

El diseño transversal tiene por objetivo examinar una situación específica en un momento dado, y recopilar datos de manera simultánea de diversas fuentes o sujetos. La investigación responde a un diseño transversal, ya que se recopilará información en un solo momento en

el tiempo, sobre tres inmuebles patrimoniales de la región andina de la Zona 3 del Ecuador. Las visitas de campo y la revisión técnica-documental se llevarán a cabo en un período de tiempo específico, para cada inmueble.

1.4.3. Alcance de Investigación

La investigación descriptiva tiene como objetivo principal describir las características o propiedades de un fenómeno en un momento específico. En este caso, el análisis de los sistemas de reforzamientos estructurales, la identificación del sistema estructural menos invasivo, y la propuesta de mejores prácticas, implican describir y entender en detalle la situación actual de los inmuebles patrimoniales monumentales de la región andina de la Zona 3 del Ecuador en términos de sus sistemas de reforzamiento estructural.

El análisis se centra en evaluar la efectividad de las intervenciones ya ejecutadas mediante la valoración funcional, morfológica y técnico-constructiva de las cúpulas, junto con una metodología de gestión de riesgos ABC-GRD adaptada para este estudio. La presente investigación no contempla la aplicación de análisis estructural cuantitativo (modelación numérica, cálculo de capacidad, verificación de mecanismos de colapso, entre otros).

Delimitación territorial. El estudio se limita a tres iglesias patrimoniales ubicadas en la región andina de la Zona de Planificación 3: la Iglesia Matriz de Pujilí y la Catedral de Latacunga (provincia de Cotopaxi) y la Basílica de Riobamba (provincia de Chimborazo). Sus cúpulas son de piedra y se encuentran bajo condiciones ambientales andinas de altura y una amenaza sísmica alta (Zona V, PGA de 0.40 a 0.45 g). La Zona 3 incluye también territorios de la Amazonía (provincia de Pastaza), que no están representados en el estudio. Al tratarse de un diseño transversal de casos los resultados no son generalizables. Las mejores prácticas propuestas son aplicables a intervenciones en bienes patrimoniales religiosos con cúpulas de piedra y con condiciones materiales, climáticas y sísmicas similares a las analizadas. Su aplicación en otras regiones del país, como la Costa o la Amazonía, donde los materiales, el clima y las amenazas son distintos, requiere una adaptación y validación específicas que este estudio no respalda. Por ello, las referencias a "futuras intervenciones del patrimonio arquitectónico religioso del Ecuador" en los objetivos deben entenderse dentro de esta delimitación.

1.4.4. Población de estudio y tamaño de muestra

La población de estudio está constituida por 3 iglesias de la Zona de Planificación 3 del Ecuador: la Iglesia Matriz de Pujilí, la Catedral de Latacunga, y la Basílica de Riobamba. Al tratarse de un estudio de casos, no se requiere la definición de una muestra

1.4.5. Idea a defender

El análisis técnico de los sistemas de reforzamientos estructurales en cúpulas de piedra de tres Iglesias Patrimoniales de la Zonal 3 del Ecuador revelará mejores prácticas aplicables a futuras intervenciones del patrimonio arquitectónico religioso en contextos territoriales similares a la Sierra ecuatoriana.

1.4.6. Métodos de análisis y procesamiento de datos

A nivel teórico del conocimiento

Analítico-Sintético: Este método implica descomponer un todo en sus partes componentes para analizarlas y luego sintetizar estos componentes en una comprensión integral. Se utilizó para desarrollar una comprensión teórica profunda del tema de investigación, cuyos resultados fueron descritos en el Capítulo II de Marco Teórico.

Análisis metodológico para la construcción de la matriz de riesgos: Como parte del desarrollo de la investigación se realizó un análisis metodológico orientado a la definición de un instrumento adecuado para la evaluación de riesgos en cúpulas patrimoniales de piedra. Este proceso implicó la revisión y el análisis comparativo de metodologías utilizadas tanto en el estudio de riesgos aplicados al patrimonio cultural como en el ámbito de la gestión de riesgos de desastres.

A partir de este análisis, y ante la ausencia de una metodología específica para la evaluación de riesgos en cúpulas patrimoniales de piedra, se identificaron los elementos metodológicos más pertinentes para el estudio los cuales fueron integrados y adaptados al contexto específico de las cúpulas patrimoniales analizadas. Como resultado de este proceso se desarrolló una metodología propia denominada ABC-GRD, que integra el Método ABC del ICCROM y el Manual de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), complementada con escalas operativas específicas para el análisis de elementos cupulares. Esta metodología permitió estructurar una matriz de análisis de riesgos que sistematiza la relación entre amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones de deterioro observadas en los casos de estudio. Su descripción detallada se presenta en el apartado 3.4.1.

A nivel empírico del conocimiento

Observación científica: Involucra la observación sistemática y controlada de fenómenos específicos para obtener datos precisos y objetivos. Fue empleada durante las visitas técnicas de campo a las iglesias.

Análisis documental: Consiste en revisar documentos y registros existentes para extraer la información que interesa a la investigación. Se aplicó a las fichas técnicas de las iglesias disponibles en el Sistema de Información del Patrimonio Cultural del Ecuador (SIPCE) y a los proyectos de restauración de esos inmuebles.

Medición: Se refiere a un proceso de cuantificación de variables específicas, utilizando instrumentos y técnicas estandarizadas para asegurar la precisión y la fiabilidad de los datos recolectados. Este método fue aplicado para llenar la ficha de valoración de cada bien, así como la matriz de evaluación de riesgos.

1.4.7. Técnicas de recolección de datos

Análisis de casos: El análisis de casos se centró en tres iglesias patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador, seleccionadas por sus características arquitectónicas, y la existencia intervenciones previas en sus cúpulas de piedra. Con esta técnica se examinaron a fondo los sistemas de reforzamiento implementados en cada cúpula, combinando datos cualitativos y cuantitativos para tener una imagen completa de las intervenciones.

La observación directa en las iglesias, como parte del análisis de casos, permitió conocer de primera mano el estado de estos sistemas de reforzamiento. En las visitas de campo, el investigador revisó su condición actual y registró las características que observó.

Revisión documental: Implicó analizar documentos que aportaron información variada. Se revisó la información histórica, técnica y metodológica sobre los sistemas de reforzamiento empleados en las cúpulas de piedra. Se estudiaron proyectos y estudios previos, literatura académica y registros históricos del bien, además de normativas y guías locales e internacionales.

Entrevistas: Se hicieron entrevistas semiestructuradas a los profesionales que integraron los equipos técnicos de intervención en las cúpulas de las iglesias estudiadas, para entender las decisiones técnicas, las dificultades que surgieron durante las obras y los motivos por los que se eligió cada sistema de reforzamiento. Su experiencia ayudó a entender las particularidades de cada caso.

Encuestas: Se aplicaron a un grupo más amplio de profesionales de la restauración y conservación del patrimonio arquitectónico, para respaldar la propuesta de mejores prácticas. Recogieron opiniones, experiencias y recomendaciones sobre las técnicas de reforzamiento estructural en cúpulas de piedra. Los datos obtenidos permitieron validar los hallazgos obtenidos del análisis técnico y las entrevistas. Además, se identificaron tendencias y consensos entre los profesionales consultados.

1.4.8. Instrumentos

Guía de Observación: Facilitó la recopilación de información como: características generales, condición general de la cúpula, y observaciones sobre el sistema de reforzamiento. El formato de guía de observación se adjunta en el Anexo 1.

Ficha de valoración: Se empleó el formato de las Fichas de Registro e Inventario de Bienes Inmuebles del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC), conforme sus lineamientos e instructivo (INPC, 2015b). La elaboración de una ficha de valoración resulta necesaria porque es preciso determinar el estado de conservación de la construcción patrimonial, y además responde al cumplimiento del artículo 52 del Reglamento General a la Ley Orgánica de Cultura, el cual determina que el inventario de bienes del patrimonio cultural debe actualizarse de inmediato en caso de intervenciones, considerando que las fichas de inventario no se encuentran actualizadas en el SIPCE, con corte a septiembre de 2025.

Lista de Verificación para el Análisis de Riesgos: Permitió obtener información complementaria para el estudio de los sistemas de reforzamiento estructural y patologías, así como elaborar una matriz de riesgos que facilitó el análisis metódico y comparativo de la información. Se adjunta en el Anexo 2.

Cuestionarios de entrevista: Son instrumentos cualitativos que sirvieron para recabar información desde dos perspectivas: la de los profesionales que formaron parte de los equipos técnicos responsables de las intervenciones, y la de los tenedores o administradores de las iglesias estudiadas. Estas entrevistas complementaron la observación directa y la revisión documental, y aportaron criterios técnicos y valoraciones prácticas sobre la efectividad de las acciones realizadas. También permitieron identificar recomendaciones basadas en la experiencia de quienes gestionan cotidianamente los bienes, ampliando la perspectiva de conservación. Los cuestionarios aplicados se incluyen en los Anexos 3 y 5.

Cuestionario de encuesta: Instrumento cuantitativo utilizado para recoger opiniones y experiencias de un grupo amplio de profesionales del campo de la restauración y conservación del patrimonio arquitectónico. Los resultados de las encuestas fortalecieron la propuesta de mejores prácticas desde una perspectiva técnica experta y colectiva. El formato se adjunta en el Anexo 4.

CAPÍTULO II

2. Marco Referencial

2.1. Marco Teórico

2.1.1. La cúpula

Cúpula proviene del latín *cúpula* que significa "pequeño tonel", una descripción adecuada a su forma semiesférica o hemisférica (Jiménez, 2024). Es una estructura arquitectónica diseñada para cubrir un espacio interior, que está compuesta por una serie de arcos o nervaduras que se unen en un punto central llamado clave, proporcionando estabilidad y soporte a la estructura. Dependiendo de la época y el propósito de la construcción, las cúpulas pueden estar hechas de distintos materiales, como: piedra, ladrillo, concreto armado, metal o vidrio.

Se presenta como una imitación de formas naturales que brindan protección. Simbolizan la conexión entre el hombre y la divinidad mediante la representación de la bóveda celeste. Demuestran la jerarquía en los edificios dentro de una expresión visual de grupo (Vázquez & Muglia, 2015). Aunque en la actualidad han perdido parte de su valor simbólico directo fuera del ámbito religioso, siguen mostrando estatus social y funcionalidad institucional.

2.1.1.1.Contexto histórico

La cúpula es una estructura arquitectónica que ha evolucionado a lo largo de los siglos, innovándose y adaptándose conforme a la cultura y época. Su historia puede dividirse en varias etapas destacadas (Moya, 1987):

Mesopotamia: Las primeras estructuras abovedadas surgieron en Mesopotamia, con arcos, bóvedas y cúpulas hechos de ladrillo cocido o adobe. Sus técnicas de construcción eran ingeniosas, pues levantaban formas complejas sin cimbras, lo que habla del dominio estructural que ya tenían. Se empleaban barro, betunes y breas como morteros.

Egipto: Los egipcios son famosos por sus pirámides y templos, pero también construyeron cúpulas y otras formas abovedadas que, con el tiempo, se difundieron a otras culturas, aportando al desarrollo de la arquitectura abovedada en el Mediterráneo y fuera de él.

Antigüedad Clásica: En esta época destaca la cúpula del Panteón de Roma. Construida bajo el mandato del emperador Adriano, alrededor del año 126 d.C., esta cúpula destaca por su tambor estructural, un muro aligerado con hornacinas que soporta la masa de ladrillo y hormigón de la cúpula. A pesar de su gran masa, la cúpula ha perdurado más de 1800 años, resistiendo varios terremotos, lo que demuestra la precisión y habilidad de los ingenieros romanos.

Bizancio y el Islam: En la arquitectura bizantina, las cúpulas alcanzaron un alto grado de refinamiento, especialmente en los techos de las escaleras en Cataluña, Valencia y Baleares

durante el siglo XVIII. La versión hispano-árabe de las cúpulas bizantinas dejó huella también en la arquitectura vernácula; un caso es la Capilla de Talavera, en el claustro de la Catedral de Salamanca, donde se usaron bóvedas de arcos cruzados derivadas de la Mezquita de Córdoba.

Renacimiento y Barroco: En el Renacimiento se retomaron y reinterpretaron las cúpulas romanas y góticas, encontrando como referentes la Santa María dei Fiori en Florencia y San Pedro en Roma. El barroco llevó la cúpula hacia una complejidad y una ornamentación extraordinarias, encontrándose varios ejemplos sobre todo en Europa Central.

Era Moderna: Con la llegada del hierro y del vidrio, la cúpula entró en una nueva etapa, pues estos materiales permitían construir estructuras más ligeras y amplias. Entre sus ejemplos están la cúpula del Halle aux Blés en París y el Palacio de Cristal de Londres. Para el siglo XX, comenzó la utilización del hormigón armado con la finalidad de crear formas innovadoras y complejas, como paraboloides hiperbólicos e hiperboloides. Además, resolvió problemas acústicos y abrió nuevas posibilidades estéticas y funcionales.

2.1.1.2.Principios de ingeniería estructural

Las cúpulas poseen una característica estructural única que les confiere una capacidad superior a la de los arcos simples. Su geometría tridimensional permite una distribución de fuerzas más eficiente, donde cada meridiano actúa como un arco funicular (Figura 1-a), resistiendo las cargas principalmente a través de esfuerzos axiales, sin importar la distribución de las cargas aplicadas (Requena, 2004).

La forma de la cúpula condiciona en buena medida su comportamiento estructural:

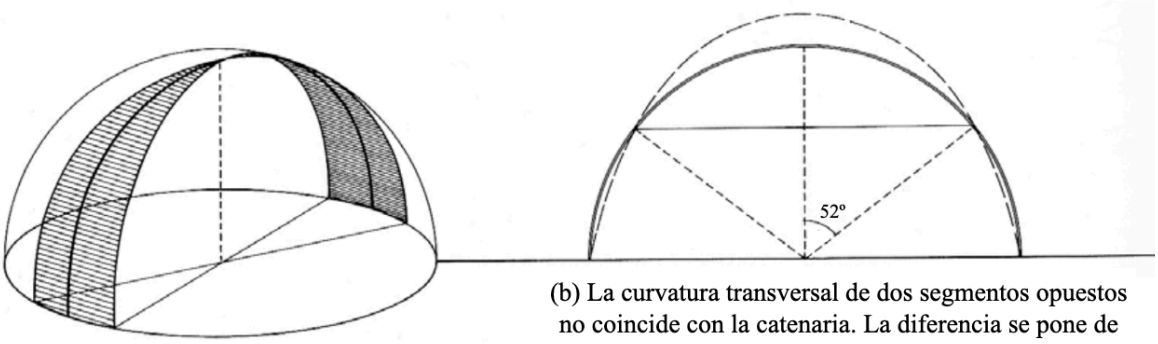
- **Cúpulas esféricas:** Producen tracciones en los paralelos.
- **Cúpulas rebajadas:** Necesitan estribos robustos en el anillo extremo para resistir las fuertes tracciones que se generan.

Los paralelos restringen el desplazamiento lateral de los meridianos y desarrollan tensiones anulares, lo que permite que la cúpula trabaje como una membrana. Este comportamiento varía según la geometría de la cúpula (Figura 1-b):

- **En cúpulas rebajadas (ángulo < 52°):** Los meridianos tienden a deformarse hacia el eje central, mientras que los paralelos se comprimen para contrarrestar esta deformación.
- **En cúpulas altas (ángulo > 52°):** Las cargas provocan que los puntos superiores se muevan hacia el interior, mientras que los inferiores se desplazan hacia fuera. Esto somete a los paralelos por debajo del ángulo de 52° a esfuerzos de tracción.

Figura 1

Cúpula – División en segmentos y curvatura transversal



(a) División en segmentos

(b) La curvatura transversal de dos segmentos opuestos no coincide con la catenaria. La diferencia se pone de relieve a la altura de 52º, medidos desde la cumbrera

Nota. Tomado de *Análisis de tipologías estructurales: bóveda, lámina, cúpula y paraboloide* (p.9) de Requena, 2004.

Para mejorar el funcionamiento de la membrana, los bordes de la cúpula deben permitir algo de movimiento horizontal en sus apoyos. Si los bordes están fijos, pueden aparecer pequeñas flexiones en la base. Sin embargo, la cúpula suele disiparlas rápido.

La cúpula se puede ver como un grupo de arcos meridianos. Los anillos o paralelos horizontales controlan su flexión. Cuando los segmentos tienden a hundirse, los paralelos soportan la compresión. Cuando los segmentos tienden a abrirse, los paralelos resisten por tracción.

Las deformaciones de la lámina no siempre pueden ignorarse. La superficie de la cúpula puede doblarse en los meridianos al interactuar con el anillo exterior. El anillo de borde se expande por las fuerzas radiales y obliga a la lámina a deformar sus meridianos para adaptarse. Como resultado, pueden aparecer grietas radiales en la zona periférica, causadas por las fuerzas de tracción alrededor de la cúpula. Una forma eficaz de reducir estos efectos es postensar el anillo, y así reducir la flexión meridiana.

Varios factores a considerar en el diseño de cúpulas, incluye:

- La retracción del mortero a base de cal y arena, que puede producir efectos similares a los mencionados.
- En cúpulas de espesor muy delgado, las diferencias de temperatura entre el trasdós y el intradós pueden ser significativas.
- El calentamiento desigual de diferentes zonas o la acción de sobrecargas distribuidas irregularmente pueden tener efectos más pronunciados en la estructura.

Diseñar y analizar cúpulas exige entender bien cómo trabajan estructuralmente y tener en cuenta la geometría, los materiales y el ambiente, para asegurar su estabilidad y eficiencia.

Para la restauración, las cúpulas de piedra son un reto por su geometría compleja y por las fuerzas que actúan sobre ellas. Heyman (1995) indica que el comportamiento estructural de las cúpulas de piedra depende sobre todo de su forma y de cómo están dispuestos los bloques.

La conservación de cúpulas de piedra requiere un conocimiento profundo de las técnicas constructivas históricas, así como de los mecanismos de deterioro específicos que pueden afectarlas, como la degradación de la piedra, los movimientos sísmicos o los asentamientos diferenciales.

2.1.2. Materiales y técnicas de construcción tradicionales para cúpulas

2.1.2.1.*Materiales de construcción tradicionales*

A lo largo de la historia, muchas cúpulas se han construido combinando materiales, debido a la necesidad de adaptarse e innovar frente a los retos estructurales y estéticos. Aun así, se pueden identificar los materiales que se usaron de forma tradicional en estas estructuras. En el Panteón de Roma, por ejemplo, predominan el ladrillo y el hormigón, mientras que la cúpula de Santa María del Fiore, en Florencia, es sobre todo de ladrillo.

La madera se empleó en las estructuras internas y de soporte de la cúpula la Iglesia de San Salvador, en Venecia. El adobe o barro en las cúpulas de regiones como el Medio Oriente, específicamente en mezquitas y viviendas tradicionales. La elección de estos materiales marcó el aspecto y la durabilidad de las cúpulas e influyó en las técnicas constructivas y en la ingeniería arquitectónica de cada época.

Madera

La madera es uno de los materiales más antiguos de las cúpulas; se usa en arquitectura desde tiempos remotos por su disponibilidad y versatilidad. Estas cúpulas suelen armarse con un entramado de vigas y listones (Figura 2) que forma una estructura resistente y ligera (Quesada, 2016). Al ser flexible, la madera admite formas curvas y superficies complejas, y por eso resulta adecuada para este tipo de construcciones. Tiene una calidez y una estética naturales distintivas respecto a otros materiales. Puede ser tratada de diversas maneras, desde pulidos finos hasta texturas rústicas, lo que añade un nivel adicional de atractivo visual que es adaptable a distintos estilos arquitectónicos.

Es ligera comparada con la piedra o el concreto, lo que facilita moverla y ensamblarla, y resiste lo suficiente como para levantar cúpulas robustas y duraderas, lo que beneficia su uso para la construcción. Esto es útil en regiones sísmicas, ya que las estructuras deben absorber y disipar la energía del movimiento del suelo.

Puede trabajarse con herramientas simples, por lo que artesanos con conocimientos básicos pueden levantar una cúpula de madera con herramientas manuales y técnicas tradicionales. Esto ha ayudado a conservar los métodos constructivos ancestrales.

Figura 2

Cúpulas de madera en el Palacio de los Cárdenas en Torrijos (S. XV)



Nota. Tomado de *Análisis constructivo de la cúpula de madera del desaparecido Palacio de los Cárdenas en Torrijos (S. XV)* de Nuere Matauco et al. (2020). (a) Trasdós de la cúpula de Torrijos sobre su tambor original octogonal, (b) Vista del intradós de la cúpula

La madera también se puede trabajar con herramientas simples, y por eso se ha usado en muchas culturas y contextos a lo largo de la historia. Artesanos con conocimientos básicos pueden levantar una cúpula de madera con herramientas manuales y técnicas tradicionales, y eso ha ayudado a conservar métodos constructivos ancestrales y a mantener vivas tradiciones arquitectónicas locales.

Barro

El barro es otro material tradicional de las cúpulas, sobre todo donde escasea la madera. Estas cúpulas se hacen por lo general con adobes, bloques de barro secados al sol, o con tapial, técnica en la que el barro se compacta en moldes para formar paredes sólidas (Abril & Lasheras, 2017). Ha sido básico en la arquitectura vernácula de muchas culturas por su abundancia y su bajo costo.

Su plasticidad en estado húmedo permite moldearlo y adaptarlo a distintas formas y superficies, y es una de sus mayores ventajas constructivas. En las cúpulas esto sirve para obtener superficies curvas y uniformes con relativa facilidad. Ya seco, el barro es bastante resistente y puede durar muchos años con buen mantenimiento, aunque el clima lo desgasta más que a materiales duros como la piedra.

La textura y el color del barro cambian con la composición del suelo y con el tipo y la cantidad de minerales. Esto provee a las construcciones un aspecto natural y rústico que se integra bien con el entorno (Figura 3). Además, su capacidad térmica es alta: regula la temperatura interior, con edificios frescos en verano y cálidos en invierno, lo que mejora el confort de los ocupantes.

Construir con barro también tiene beneficios ecológicos, pues es un material natural y abundante, y procesarlo causa menos impacto ambiental que los materiales industrializados. Además, las construcciones de barro son reciclables y biodegradables, en línea con las tendencias actuales de construcción sostenible.

Figura 3

Cúpulas de barro en Valladolid



Nota. Tomado de *Cúpulas de barro, de piedra y de barro y piedra en las construcciones auxiliares de la arquitectura popular del centro de Castilla y León* (p.9) de Abril & Lasheras, 2017.

Piedra

La piedra se usa en cúpulas desde la antigüedad por su durabilidad y resistencia (Abril & Lasheras, 2017). Las cúpulas de piedra se levantan por aproximación de hiladas: se colocan piedras irregulares en capas que se acercan hacia el centro hasta cerrar la cúpula arriba. El método exige oficio, porque el constructor debe elegir y asentar cada piedra para que se sostenga por compresión.

Al resistir bien la compresión, las estructuras soportan grandes cargas sin deformarse. En una cúpula eso pesa bastante, porque su integridad depende de que el material pueda manejar las fuerzas que se concentran en el punto más alto. La piedra es altamente resistente a los elementos, lo que garantiza una larga vida útil a las cúpulas construidas con este material.

La construcción en piedra tiene un valor cultural y patrimonial importante. Sus técnicas tradicionales se han transmitido de generación en generación, y muchas cúpulas históricas de piedra siguen en pie como testimonio de la habilidad y el ingenio de los antiguos constructores (Figura 4-a).

Las características organolépticas de la piedra dependen del tipo que se use, aunque en general tiene una textura rugosa y colores que van de claros a oscuros según su composición mineral. Da una sensación de solidez y permanencia a las estructuras, y su aspecto natural

se integra bien con el paisaje (Figura 4-b). Las superficies pueden trabajarse para lograr acabados distintos, desde pulidos suaves hasta texturas ásperas y rústicas.

Figura 4
Cúpulas de piedra



Nota. (a) Chozo en Corcos del Valle, Valladolid, tomado de *Cúpulas de barro, de piedra y de barro y piedra en las construcciones auxiliares de la arquitectura popular del centro de Castilla y León* (p.10) de Abril & Lasheras, 2017. (b) Cúpula en medio del techo de la Iglesia del Santo Sepulcro, Jerusalén, tomado de la biblioteca digital de imágenes freepik.

Adobe

El adobe, otro material de la construcción tradicional de cúpulas, es una mezcla de barro y paja secada al sol. Se ha usado sobre todo en zonas de clima cálido y seco, donde los recursos para construir son escasos. Las cúpulas de adobe se levantan con bloques moldeados que se ensamblan por capas y dan una estructura sólida y cohesiva (Minke, 2007).

Es fácil de trabajarlo en obra y no necesita herramientas sofisticadas, así que los constructores locales pueden hacer estructuras complejas con habilidades básicas. También se construye rápido, porque los bloques se producen en el mismo sitio con materiales locales. Una vez ensambladas, las cúpulas de adobe son sorprendentemente fuertes y resisten condiciones climáticas adversas si se les da mantenimiento. La paja refuerza los bloques y les da más resistencia y durabilidad.

Las características organolépticas del adobe se parecen a las del barro, y su textura y color reflejan la composición del suelo local. Su estética es rústica y natural, la cual se integra bien con el entorno y vuelve acogedores los espacios interiores.

Figura 5
Cúpulas de adobe



Nota. (a) Siestán, Afganistán, (b) Trulli, Italia. Tomado de *Cúpulas de adobe* (p.338) de Minke, 2007.

Los muros de adobe tienen alta inercia térmica: almacenan calor durante el día y lo liberan despacio por la noche, lo que mantiene un ambiente interior confortable. Regular así la temperatura sirve en regiones con grandes variaciones diarias, donde lograr confort térmico es difícil.

Ladrillo

El ladrillo es de arcilla cocida, con una superficie rugosa que ayuda a que el mortero agarre. Su color va del rojizo al marrón, según la arcilla y la cocción. Al natural huele ligeramente a tierra, y si es de buena calidad suena claro y metálico al golpearlo, señal de que es sólido.

Tiene una alta resistencia a la compresión, lo que lo hace adecuado para soportar las cargas de una cúpula. Su durabilidad está comprobada, pues hay estructuras de ladrillo que han durado siglos. Se puede moldear en formas y tamaños muy variados, lo que da mucha libertad al diseño arquitectónico (Figura 6) y resulta útil en cúpulas, que piden formas curvas y estructuras complejas. Además aísla bien térmicamente, así que ayuda a mantener estable la temperatura interior, y también aísla del ruido exterior

Es fácil de manejar y colocar, de modo que se pueden levantar estructuras complejas como las cúpulas sin equipo especializado. Las cúpulas de ladrillo tienen una estética atractiva y atemporal, y con sus patrones y colores se pueden lograr diseños llamativos.

Figura 6

Cúpula de ladrillo de la Catedral de Florencia



Nota. Tomado de *La Catedral de Florencia, maravilla del Renacimiento* de Saga, 2020.

Se usa en cúpulas desde la antigüedad: hay registros en la arquitectura romana y bizantina (Moya, 1987), y todavía se emplea. En Roma el ladrillo servía para estructuras vistas y también como refuerzo interno de bóvedas de hormigón. En Bizancio se perfeccionó la bóveda de ladrillo, que permitió estructuras más ligeras y resistentes sin cimbras pesadas. Más tarde surgió la construcción a la catalana, que usa ladrillos finos y mortero de yeso para hacer bóvedas también sin cimbras. Esta técnica fue llevada a su máxima expresión por Rafael Guastavino en los Estados Unidos, donde construyó numerosas bóvedas de ladrillo de grandes dimensiones y formas complejas.

2.1.2.2.Técnicas de construcción tradicionales

Las técnicas para levantar cúpulas van desde las de adobe del antiguo Egipto hasta las geodésicas actuales. Cada una responde a los conocimientos técnicos de su época, a los materiales disponibles y al contexto cultural en que se construyó. Seguir esa evolución muestra cómo los constructores resolvieron problemas estructurales concretos. Varias de estas cúpulas fueron, además, símbolos religiosos y culturales.

Este recorrido por las técnicas tradicionales va desde métodos antiguos como la “aproximación de hiladas” y las “cimbras y bóvedas” hasta innovaciones recientes como el superadobe y las cúpulas geodésicas. Sea con pechinas en la arquitectura bizantina o con las bóvedas nubias de África, cada técnica muestra cómo distintas sociedades enfrentaron el problema de cubrir un espacio con una bóveda. En conjunto se ve la diversidad de enfoques y la continuidad de la creatividad humana en el uso de la geometría y los materiales.

a. Cimbra y Bóveda (Centering and Arching)

Época: Antigüedad Clásica (3000 a.C. - 500 d.C.)

Descripción: Esta técnica, ampliamente utilizada en la arquitectura romana y posteriormente en la bizantina, involucra el uso de cimbras, que son estructuras temporales de madera que soportan los materiales de la cúpula durante su construcción. Los ladrillos o piedras se colocan sobre el andamiaje en un patrón radial. Una vez que la cúpula está completa y los materiales se han asentado, la cimbra se retira, dejando la cúpula autoportante (Hurtado, 2009).

Figura 7

Panteón de Roma extradós e intradós



Nota. Fotografías tomadas por el autor, 2025.

Figura 8

Basílica de San Pedro en el Vaticano



Nota. Fotografías tomadas por el autor, 2025.

Ejemplos:

- Panteón de Roma (siglo II d.C.): La cúpula del Panteón, con su óculo central, es una de las mayores hazañas de la ingeniería romana (ver Figura 7).

- Basílica de San Pedro en el Vaticano (siglo XVI): Aunque pertenece al Renacimiento Italiano, utiliza técnicas de cimbras avanzadas para soportar su gran cúpula (ver Figura 8).

b. Aproximación de Hiladas (Corbelling)

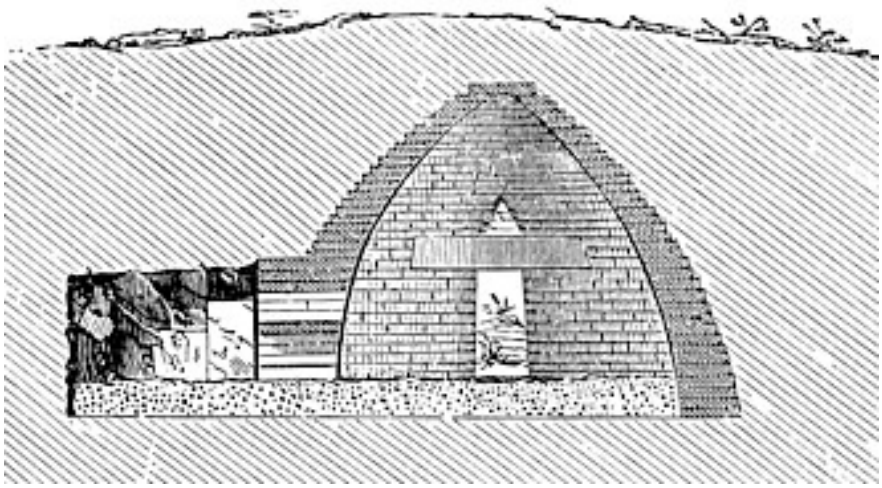
Época: Civilizaciones Antiguas (2000 a.C. - 500 d.C.)

Descripción: También se le conoce con los nombres de "falsa cúpula" o "falsa bóveda". La técnica de aproximación de hiladas implica colocar filas de ladrillos o piedras en capas horizontales, donde cada capa se proyecta ligeramente hacia adentro en comparación con la anterior (Glosario ilustrado de arte arquitectónico, 2024). Esto se repite hasta que las capas se encuentran en el centro superior de la cúpula. Esta técnica permite la construcción sin necesidad de cimbras complejas y crea una estructura autoportante.

Ejemplos:

- Tholos de Atreo en Micenas (siglo XIV a.C.): También conocido como la Tumba del Tesoro de Atreo, es un claro ejemplo de esta técnica en la arquitectura micénica (ver Figura 9).
- Iglesia de San Jorge en Lalibela, Etiopía (siglo XIII): Las iglesias talladas en roca de Lalibela utilizan aproximación de hiladas para formar techos abovedados.

Figura 9
Tholos de Atreo o conocida como Tumba del Tesoro de Atreo



Nota. Tomado de Lübke y Semrau (1908)

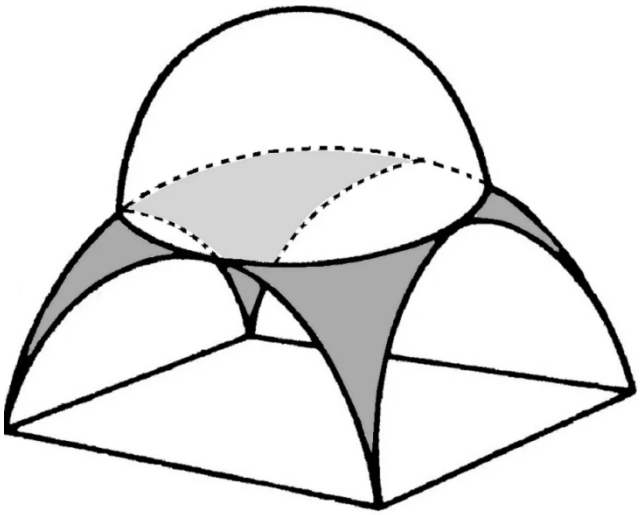
c. Pechinas (Pendentives)

Época: Arquitectura Bizantina (330 d.C. - 1453 d.C.)

Descripción: Las pechinas son triángulos esféricos que permiten la transición de una planta cuadrada a una base circular para la cúpula (ver Figura 10). Esto facilita la colocación de cúpulas sobre espacios cuadrados o rectangulares. Las pechinas distribuyen el peso de la cúpula hacia las esquinas del edificio, proporcionando estabilidad (Fernández, 2014; Romero, 2018).

Figura 10

Pechina – ubicación respecto a la cúpula



Nota. Tomado del *Glosario Ilustrado de Arte Arquitectónico*, 2024.

Figura 11

Basílica de San Marcos



Nota. Tomado de Zairon (2018), licencia CC BY-SA 4.0.

Ejemplos:

- Hagia Sophia en Estambul (siglo VI): La cúpula principal descansa sobre pechinas, permitiendo una transición suave desde la base cuadrada.
- Basílica de San Marcos en Venecia (siglo XI): Emplea pechinas para soportar sus múltiples cúpulas (ver Figura 11).

d. Trompas (Squinches)

Época: Arquitectura Persa, Islámica y Románica (siglo III a.C - siglo XII d.C)

Descripción: Las trompas son arcos o pequeños triángulos que permiten la transición de una base cuadrada a una circular. Son similares a las pechinas, pero se utilizan más en la arquitectura islámica y románica. Las trompas pueden ser simples arcos en las esquinas de una estructura cuadrada que soportan la base circular de la cúpula (Dokmak, 2009; Fernández, 2014).

Ejemplos:

- Palacio de Ardashir I en Firuzabad, Irán (siglo III d.C.): Un ejemplo temprano de trompas en la arquitectura persa sasánida (ver Figura 12).
- Mezquita de Ibn Tulun en El Cairo (siglo IX): Utiliza trompas para soportar las cúpulas.
- Catedral de Santa María de la Sede en Sevilla (siglo XV): Incorporación de trompas en la arquitectura gótica, mostrando la persistencia de esta técnica.

Figura 12
Palacio de Ardashir I en Firuzabad, Irán



Nota. Tomado de Dennison (2018), licencia CC BY-SA 4.0.

e. Técnica de Nervaduras y Arcos (Ribbed Vaulting)

Época: Arquitectura Gótica (siglo XII - siglo XVI)

Descripción: Evolucionó de las bóvedas románicas y se perfeccionó en el gótico. Esta técnica utiliza nervaduras estructurales para formar un esqueleto que soporta el peso de la cúpula (Rodríguez, 2020). Los arcos apuntados distribuyen el peso hacia abajo y hacia afuera, permitiendo cúpulas más altas y ligeras. Las nervaduras proporcionan una estructura rígida que puede cubrir grandes espacios.

Ejemplos:

- Catedral de Notre Dame en París (siglo XII): Utiliza nervaduras y arcos para soportar sus bóvedas y cúpulas (ver Figura 13).
- Catedral de San Esteban en Viena (siglo XIV): Ejemplo de bóveda de crucería con nervaduras góticas.

Figura 13
Nervaduras y arcos ojivales de la bóveda gótica, Catedral de Notre-Dame de París



Nota. Tomado de Durán Ortiz (2018), licencia CC BY-SA 4.0. Fotografía tomada antes del incendio de abril de 2019, que documenta la estructura original de la bóveda.

f. Bóveda Nubia (Nubian Vault)

Época: Antiguo Egipto (3100 a.C) y Revivida en el Siglo XXI

Descripción: La bóveda nubia utiliza ladrillos de barro secos al sol colocados en capas inclinadas que se sostienen por fricción y gravedad, sin necesidad de cimbras (Cao, 2020). Es una técnica autoportante y muy eficiente en términos de material. Se ha revivido recientemente en África para la construcción sostenible utilizando materiales locales.

Ejemplos:

- Antiguos almacenes y viviendas en Nubia, Egipto (siglo II a.C.): Utilización histórica de la bóveda nubia.
- Proyectos modernos en Sahel, África: Revivida por la Nubian Vault Association para construcciones sostenibles.

g. Técnica de Superadobe (Superadobe Technique)

Época: Finales del siglo XX (década de 1980)

Descripción: Desarrollada por el arquitecto Nader Khalili, esta técnica utiliza bolsas llenas de tierra compactada apiladas en capas para formar cúpulas y otras estructuras. Las bolsas se estabilizan con alambre de púas y se enlucen con barro. Es una técnica moderna inspirada en métodos tradicionales (Mompó, 2015).

Ejemplos:

- Casas en California y regiones áridas: Utilización de la técnica de superadobe para viviendas sostenibles.
- Proyectos de emergencia de la ONU: Usada para construir refugios rápidos y resistentes en zonas de desastre.

h. Cúpulas Geodésicas (Geodesic Domes)

Época: Siglo XX

Descripción: Aunque el concepto fue originalmente patentado por Walter Bauersfeld en 1922, fueron Popularizadas por Buckminster Fuller. Estas cúpulas se forman con una red de triángulos que reparte las tensiones de manera uniforme. Son ligeras y resistentes, y usan menos material que las tradicionales. Resultan eficientes en lo estructural y en lo energético (Mata, 2022).

Ejemplos:

- Domos geodésicos de invernaderos y viviendas ecológicas: Proyectos en todo el mundo que emplean la geometría geodésica.

- Epcot Center en Disney World (Florida): Famoso ejemplo de una estructura geodésica.

Conclusión:

Desde el Antiguo Egipto hasta la arquitectura contemporánea, la cúpula se ha mantenido como una solución constructiva capaz de resolver la cobertura de grandes espacios sin perder su valor simbólico; en su forma quedan expresadas jerarquía, escala, simetría e identidad. Su construcción ha dependido tradicionalmente de los materiales disponibles en cada región (como la piedra, adobe, ladrillo cocido y madera) y hoy se suma a estos la incorporación de materiales modernos, muchas veces combinados con las técnicas de origen. Esta evolución constructiva ha permitido cubrir luces cada vez mayores, lo que confirma que la cúpula no es un elemento del pasado, es un recurso vigente que sigue teniendo cabida en la actualidad.

2.1.3. Refuerzos estructurales en cúpulas de edificios históricos

Las cúpulas, elementos arquitectónicos emblemáticos en muchos edificios patrimoniales, presentan desafíos únicos en términos de conservación y restauración. Su geometría compleja, los materiales históricos utilizados en su construcción y las tensiones particulares a las que están sometidas requieren un enfoque especializado para su preservación.

2.1.3.1.Patologías comunes

Entre las patologías más comunes identificadas en cúpulas, se encuentran (Monjo & Maldonado, 2001):

Fisuración radial y meridional: Las cúpulas pueden presentar patrones de agrietamiento específicos (De Miguel, 2015; Vargas et al., 2021). Las fisuras radiales, que aparecen en la base de la cúpula, suelen ser indicativas de tensiones de tracción excesivas; estas tensiones pueden surgir debido a movimientos del terreno, sobrecarga o materiales inadecuados. Las fisuras meridionales, en cambio, aparecen en la parte superior y pueden indicar problemas de compresión, muchas veces por la deformación de los materiales con el tiempo o por un reparto desigual del peso.

Desprendimiento de revestimientos: El revestimiento (con mosaicos o frescos) puede perder adherencia a la estructura por varias causas, entre ellas: la humedad (Talavera, 2020), la contaminación ambiental, y movimientos estructurales. Al desprenderse, pone en riesgo la integridad estética de la cúpula y la conservación de elementos decorativos de valor, así como la seguridad de quienes visitan estos templos (Alzira, 2020).

Infiltraciones y problemas de humedad: Las cúpulas son vulnerables a infiltraciones de agua a causa de su geometría. La humedad acumulada genera varios efectos: degrada los materiales, favorece el crecimiento de microorganismos y acelera la erosión (García, 1995). Para evitar estos problemas en el Panteón de Roma, la lluvia entra por el óculo y luego se evacúa con un sistema de drenaje integrado en el pavimento, evitando que se acumulen el agua y la humedad en el interior (Jones, 2000).

Deformaciones geométricas: La curvatura de la cúpula puede cambiar por aplanamiento o por protuberancias. Entre sus causas están: compresión prolongada, fallos en la cimentación o materiales inadecuados (Lluis i Ginovart et al., 2022). Las deformaciones, al comprometer la estabilidad de la cúpula, exigen una intervención urgente.

Figura 14

Cúpula de la Iglesia Nuestra Señora de Sales con desprendimientos.



Nota. Tomado del Portal Web lasprovincias.es *Una iglesia de Sueca cierra al culto tras sufrir daños en la cúpula por las lluvias* de Talavera, 2020.

Degradación de materiales: La erosión de los morteros, la desintegración de ladrillos o piedras y la corrosión de los elementos metálicos son patologías comunes que afectan la integridad de las cúpulas. Un caso notable es la cúpula de Hagia Sophia, donde los restauradores han tenido que lidiar con la corrosión de sus materiales (Mizutani et al., 2015).

Biodeterioro: Cualquier tipo de planta superior (por ejemplo, líquenes o musgos) puede dañar la estructura de la cúpula de forma mecánica y química (Sameño, 2018). Al penetrar en las fisuras, contribuyen a la descomposición de los materiales. Ya en ellas retienen la humedad, agravando otros problemas estructurales.

En general, las lesiones del patrimonio cultural se pueden clasificar según su naturaleza en tres categorías: físicas, mecánicas y químicas (Fernández, 2023).

Las **lesiones físicas** agrupan problemas de humedad, erosión y suciedad. La humedad es de los problemas más frecuentes en edificaciones históricas y adopta distintas formas: la de obra viene desde la construcción original, la capilar sube del terreno por los poros del material, la de filtración entra directamente desde el exterior, y la de condensación se subdivide en superior interior, intersticial, higroscópica y accidental. Por otra parte, la erosión atmosférica desgasta progresivamente las superficies expuestas, mientras que la suciedad se acumula por depósito de partículas o aparece mediante lavado diferencial, comprometiendo la apariencia y conservación de los elementos constructivos.

En cuanto a las **lesiones mecánicas**, estas incluyen deformaciones, grietas, fisuras, desprendimientos y erosiones (mecánicas). Las deformaciones adoptan diferentes formas: las flechas producen desviaciones verticales en elementos horizontales, los pandeos resultan de esfuerzos de compresión excesivos, los desplomes generan inclinaciones fuera de la vertical, y los alabeos causan torsiones en los elementos. Las grietas, más severas que las fisuras, se originan sobre todo por exceso de carga o por los ciclos de dilatación y contracción que sufren los materiales con los cambios de temperatura y humedad. Las fisuras, de menor tamaño, reflejan movimientos del soporte o son propias del acabado aplicado. Por último, los desprendimientos y las erosiones mecánicas muestran la pérdida progresiva de material por desgaste físico

Las **lesiones químicas**, por su parte, incluyen varios fenómenos de degradación. Las eflorescencias son sales cristalizadas visibles en la superficie, que pueden venir del propio material de construcción o de fuentes externas. La oxidación y la corrosión afectan sobre todo a los elementos metálicos de la estructura. Los organismos vivos también causan daños importantes: entre los animales, las termitas y las carcomas atacan la madera estructural, y entre las plantas, los mohos y hongos proliferan con humedad elevada.

Esta clasificación es necesaria para diagnosticar el origen de los daños y determinar las intervenciones más adecuadas en cada caso particular de conservación patrimonial.

2.1.3.2.Evaluación y diagnóstico

La evaluación y diagnóstico de cúpulas históricas son pasos esenciales para garantizar su conservación y restauración adecuada. Estos procesos requieren una combinación de técnicas avanzadas y conocimiento profundo de los materiales y métodos constructivos originales. Entre las técnicas más usadas están el levantamiento geométrico preciso, el análisis de materiales in situ, la monitorización estructural, los ensayos de materiales, el análisis histórico-constructivo y el modelado estructural avanzado. Cada una aporta información necesaria para identificar patologías y planificar intervenciones eficaces, y así asegurar que estas estructuras emblemáticas lleguen a las próximas generaciones.

Levantamiento geométrico preciso: Es una técnica básica en la evaluación de cúpulas históricas. Emplea herramientas avanzadas, como la fotogrametría y el escáner láser 3D, para crear modelos digitales detallados de la estructura (Martínez et al., 2015). Con estos modelos los restauradores pueden analizar las deformaciones y compararlas con la geometría original de la cúpula.

La fotogrametría consiste en tomar fotografías desde muchos ángulos y procesarlas para generar un modelo tridimensional. Es un método muy preciso, capaz de captar detalles minuciosos de la superficie de la cúpula.

El escáner láser 3D lanza pulsos láser hacia la estructura y mide cuánto tarda el reflejo en volver, con lo que produce un mapa tridimensional detallado de la cúpula. Estos modelos

digitales ayudan a identificar zonas deformadas o dañadas y sirven de referencia para intervenciones y monitoreos posteriores.

Análisis de materiales in situ: El análisis de materiales in situ es importante para evaluar la integridad de los materiales constitutivos de la cúpula. Se emplean con frecuencia técnicas como la termografía infrarroja y la velocidad de propagación de ultrasonidos (Moropoulou et al., 2013). La termografía infrarroja detecta variaciones en la temperatura superficial de la cúpula, que pueden delatar humedades ocultas o zonas con distinta densidad de material. Es un método no destructivo y permite un diagnóstico preliminar rápido y eficaz. La velocidad de propagación de ultrasonidos mide con qué rapidez atraviesan las ondas sonoras los materiales, y las diferencias pueden dar información sobre la cohesión interna y la integridad estructural.

Monitorización estructural: Permite entender el comportamiento dinámico de una cúpula a lo largo del tiempo. Consiste en instalar sensores de deformación, inclinómetros y acelerómetros en puntos estratégicos de la estructura (Masciotta et al., 2017). Estos dispositivos registran de forma continua la deformación, la inclinación y la aceleración de la cúpula, y así dan información en tiempo real sobre su estado estructural.

Permite detectar cambios sutiles que anticipan problemas antes de que se conviertan en fallas importantes. La monitorización continua sirve además para validar la efectividad de las intervenciones y comprobar que la cúpula siga estable y segura.

Ensayos de materiales: Sirven para caracterizar los componentes históricos de una cúpula y diseñar intervenciones compatibles. Se recurre a técnicas como la toma de micromuestras para análisis petrográficos, la difracción de rayos X y la microscopía electrónica de barrido (Pérez, 2013). El análisis petrográfico examina la composición mineralógica de los materiales e identifica su origen y sus posibles alteraciones.

La difracción de rayos X y la microscopía electrónica de barrido dan información detallada sobre la estructura cristalina y la microestructura de los materiales. Con estos ensayos los restauradores entienden mejor las propiedades físicas y químicas de los materiales originales y pueden elegir materiales de reparación compatibles.

Análisis histórico-constructivo: Forma parte del diagnóstico de cúpulas históricas e implica estudiar documentos históricos, planos originales y registros de intervenciones anteriores para entender cómo evolucionó la estructura (Acale, 2016). Da un contexto muy valioso para decidir la restauración, porque ayuda a identificar las técnicas y los materiales originales de la cúpula.

Puede mostrar los cambios y adaptaciones que ha sufrido la cúpula con el tiempo, y también intervenciones pasadas que quizá afectaron su integridad estructural.

Modelado estructural avanzado: El análisis por elementos finitos (FEA) es una herramienta potente para evaluar la estabilidad y el comportamiento de cúpulas históricas (Cuadros, 2020). Permite simular las condiciones de carga y la respuesta estructural de la

cúpula en distintos escenarios. Los modelos FEA toman en cuenta la anisotropía y la heterogeneidad de los materiales, y así representan con precisión el comportamiento estructural.

Estos modelos identifican zonas de alta tensión y predicen cómo podría responder la cúpula ante terremotos o cambios en las cargas. Además, orientan las intervenciones de restauración y sirven para planificar futuras labores de conservación y monitoreo.

2.1.3.3.Daño estructural

El daño estructural se refiere a cualquier alteración en la integridad física o en el comportamiento mecánico de una estructura que pueda comprometer su estabilidad, seguridad o funcionalidad. En el contexto del patrimonio arquitectónico, el daño estructural puede ser resultado de diversos factores. Entre ellos se encuentran: el envejecimiento natural de los materiales, los eventos sísmicos, los asentamientos del terreno, sobrecargas e intervenciones inadecuadas.

Diversos tipos de daño afectan a estas estructuras. Entre ellas se encuentran: el colapso parcial, el desplazamiento de dovelas, el agrietamiento severo, el pandeo, la pérdida de material en zonas críticas y el fallo de los elementos de soporte (Huerta, 2004; Lourenço, 2006). Abordar los daños estructurales en las cúpulas patrimoniales exige un enfoque múltiple que integre el conocimiento histórico del bien y el uso de técnicas de diagnóstico avanzadas, para planificar intervenciones de conservación adecuadas.

Colapso parcial: Es la pérdida de secciones críticas de la cúpula, por lo general en el ápice o en la base. Puede deberse a una combinación de factores, como la degradación de los materiales, la sobrecarga y los sismos. Un ejemplo de colapso parcial de cúpula es el que ocurrió en el Santuario de Nuestra Señora de los Ángeles en México (Hernández, 2022).

Figura 15

Cúpula del Santuario de Nuestra Señora de los Ángeles, parcialmente colapsada.



Nota. Tomado de *Desafíos para la Reconstrucción del Santuario de Nuestra Señora de los Ángeles, Ciudad de México* (p.7) de Hernández, 2022.

En su intervención se refuerzan las áreas circundantes para evitar que el colapso avance, después se reconstruye la sección caída con materiales y técnicas compatibles con los originales. Para actuar con precisión se usan escaneos 3D y análisis estructurales avanzados. Un colapso parcial se debe atender de inmediato y con cuidado.

Desplazamiento de dovelas o ladrillos: Indica problemas en la transmisión de cargas y una posible pérdida de la acción de arco, lo cual es importante para la estabilidad de la estructura. Puede originarse en movimientos del terreno, asentamientos diferenciales o en el deterioro de materiales.

Corregir el desplazamiento exige estabilizar previamente la estructura circundante, para que no haya más movimientos. Después, se pueden reubicar las piezas desplazadas mediante técnicas de apuntalamiento e inyección de mortero que aseguren su posición. La iglesia de Santa María del Fiore (Florencia), por ejemplo, tuvo un desplazamiento en su cúpula (Ottoni & Blasi, 2014), que fue intervenida para evitar un colapso parcial. La monitorización continua con sensores ayuda a evaluar si la intervención funcionó y a confirmar que no se repitan los desplazamientos.

Agrietamiento severo: La Iglesia del ex convento del Carmen, del siglo XVIII, en España, presentaba en 2010 agrietamientos severos en su cúpula, de hasta 15 cm (Figura 10). Esto una señal de daño estructural importante. Entre sus causas se encuentran: sobrecargas, movimientos sísmicos o defectos de la construcción original. Las fisuras de más de 5 mm de ancho que muestran progresión activa requieren atención inmediata.

Para tratar un agrietamiento severo hay que identificar la causa del daño y aplicar técnicas de reparación adecuadas, como: inyecciones de resina epoxi para rellenar y estabilizar las fisuras, o el refuerzo de la estructura con elementos modernos que no comprometan la estética histórica.

Figura 16

Cúpula de la Iglesia del ex convento del Carmen del siglo XVIII



Nota. Intradós con grietas meridianas incompletas de 1.5 cm de ancho. Tomado del Blog *Albarracín y su Comarca* de Villalta, 2010

En general, las fisuras pueden originarse por varias causas, entre las cuales se pueden señalar (Binda et al., 2000; Croci, 1998; Heyman, 1995; Huerta, 2004):

- *Grietas por sobrecarga:* Suelen aparecer cuando la cúpula soporta más peso del que se diseñó para resistir. Pueden ser grietas verticales (meridianas) u oblicuas, que tienden a formarse en las zonas de mayor esfuerzo, como el anillo de apoyo o las nervaduras, o también horizontales (paralelas) en la parte inferior de la cúpula por esfuerzos de tracción. Si no se atienden, pueden comprometer la estabilidad estructural, y su tratamiento implica reducir la carga o reforzar la estructura

- *Grietas por asentamiento:* Cuando una cúpula experimenta asentamiento diferencial, es decir, cuando una parte del cimiento se hunde más que otra, se generan grietas que suelen ser diagonales o en zigzag. Estas grietas suelen concentrarse en las zonas de transición entre diferentes materiales o en los puntos de unión entre la cúpula y los elementos verticales de soporte. Las grietas por asentamiento pueden continuar expandiéndose si el problema de base no se corrige. En casos severos, pueden provocar la separación entre la cúpula y su estructura de soporte.

- *Grietas por retracción:* Este tipo de grietas se origina por la contracción del material de la cúpula, especialmente en estructuras de concreto o mortero de cal. Son comunes en los primeros meses después de la construcción, pero pueden aparecer también en estructuras antiguas si hay variaciones importantes de humedad o temperatura. Estas grietas son generalmente superficiales, formando patrones de mapa o red. Al combinarse con otros factores, como la infiltración de agua, pueden evolucionar hacia un daño más grave.

- *Grietas por movimientos sísmicos:* Las cúpulas ubicadas en zonas sísmicas tienden a agrietarse por los movimientos del terreno. Estas grietas suelen ser irregulares y pueden aparecer en cualquier parte, según la dirección y la magnitud del sismo. Las más preocupantes son las que se propagan rápido y cruzan las principales líneas de esfuerzo de la cúpula, como las meridianas o las del anillo base, porque si la estructura no se refuerza bien podrían llevar a un colapso parcial o total.

- *Grietas térmicas:* Se deben a la expansión y contracción diferencial de los materiales con los cambios de temperatura. En las cúpulas son más marcadas en la unión de materiales con distintos coeficientes de expansión térmica o en zonas expuestas a variaciones térmicas extremas

- *Fisuras por degradación del material:* Con el tiempo, los materiales de la cúpula se pueden deteriorar por factores ambientales como la humedad, la contaminación atmosférica o los ciclos de congelación y descongelación. Así se forman microfisuras (de tamaño microscópico o extremadamente pequeño) que, si no se tratan, pueden evolucionar a fisuras y grietas y llegar a comprometer la integridad estructural de la cúpula.

Pandeo: Son deformaciones importantes que alteran la geometría de la cúpula y comprometen su estabilidad. Pueden deberse a la sobrecarga, a la pérdida de resistencia de los materiales con el tiempo o a un diseño estructural inadecuado (Croci, 1998).

El tratamiento del pandeo requiere estabilizar la cúpula para evitar más daños, lo que puede requerir cimbras temporales o refuerzos internos. Luego se aplican técnicas de consolidación para corregir la deformación, como los refuerzos de fibra de carbono, que son livianos y poco intrusivos, para dar soporte adicional. Se deben monitorear a largo plazo para confirmar que las intervenciones funcionan. Si no se atiende adecuadamente puede provocar un colapso repentino (Zeballos, 2014).

Pérdida de material en zonas críticas: Cuando se pierde material en zonas críticas de una cúpula, como los nervios estructurales o la base, se puede alterar la distribución de cargas y afectar la estabilidad de toda la estructura. Entre sus causas están: la erosión, la acción de agentes atmosféricos o intervenciones inadecuadas del pasado (Monjo & Maldonado, 2001).

Se requiere evaluar con cuidado cuánto se extiende el daño y elegir materiales de reparación compatibles con los originales, por ejemplo morteros de restauración formulados para replicar las propiedades del material original. Además se debe proteger mejor la cúpula de los agentes que causaron la pérdida con sistemas de drenaje o tratamientos protectores.

Fallo en elementos de soporte: El fallo de elementos de soporte como tambores, pechinas o contrafuertes es un riesgo serio para la estabilidad de una cúpula (Huerta, 1990). Estos elementos reparten las cargas de la cúpula, y cualquier fallo en ellos puede llevar a un colapso parcial o total.

Para resolver estos fallos hay que evaluar en detalle la causa del daño y aplicar soluciones de refuerzo, como la inyección de morteros de alta resistencia en las juntas, la instalación de refuerzos metálicos internos o incluso la reconstrucción parcial de los elementos de soporte con técnicas tradicionales y materiales compatibles. Estas intervenciones tienen que reforzar la estructura, pero también respetar su valor histórico y estético.

Al restaurar edificios patrimoniales, el análisis del daño estructural debe atender a los aspectos técnicos y también al impacto sobre el valor histórico y cultural del bien.

2.1.3.3.1. Evaluación de daños estructurales

La evaluación de daños estructurales en edificios patrimoniales es un proceso sistemático para identificar, cuantificar y analizar las alteraciones que afectan la integridad estructural de un bien histórico. Según Binda & Saisi (2005), este proceso es primordial para determinar el estado de conservación de la estructura y planificar intervenciones de restauración adecuadas.

La evaluación de daños estructurales en el patrimonio arquitectónico implica típicamente:

- Inspección visual detallada

- Análisis histórico y documental
- Levantamiento geométrico y de materiales
- Ensayos no destructivos o mínimamente invasivos
- Monitoreo estructural
- Modelado y análisis estructural

En el contexto de la restauración, la evaluación de daños debe considerar, a más de los aspectos técnicos, el impacto de los daños en los valores históricos y culturales del bien. Esto requiere de un enfoque que combine la ingeniería estructural con la conservación arquitectónica y la historia del arte.

La interpretación de los resultados de la evaluación de daños es crucial para determinar la necesidad y el alcance de las intervenciones de reforzamiento, siguiendo siempre los principios de mínima intervención y respeto por la autenticidad del bien patrimonial.

2.1.3.4.Reforzamiento estructural

El reforzamiento estructural en el contexto de la conservación del patrimonio se refiere a las intervenciones destinadas a mejorar la capacidad portante, la estabilidad o el comportamiento sísmico de una estructura histórica, sin comprometer sus valores patrimoniales. Según Modena et al. (2011), el reforzamiento busca garantizar la seguridad estructural sin perder la autenticidad ni la integridad del bien patrimonial.

En la práctica, el reforzamiento estructural debe seguir los principios de mínima intervención, compatibilidad y reversibilidad. Es decir, se usan técnicas y materiales eficaces que respeten la naturaleza original de la estructura y dejen abierta la posibilidad de intervenir de nuevo si hace falta.

Las estrategias de reforzamiento pueden variar desde la consolidación de materiales existentes hasta la introducción de elementos estructurales adicionales, dependiendo de las necesidades específicas de cada caso y de los valores patrimoniales a preservar.

2.1.3.4.1. Tecnologías de reforzamiento estructural en patrimonio

Las tecnologías de reforzamiento en la conservación del patrimonio arquitectónico abarcan una amplia gama de técnicas y materiales diseñados para mejorar el comportamiento estructural de edificios históricos. Estas tecnologías han evolucionado con los años hacia soluciones cada vez más compatibles con los materiales y las técnicas constructivas tradicionales.

Binda et al. (1997), describen varias tecnologías de reforzamiento aplicables a estructuras históricas, entre ellas:

- Inyección de morteros: Para consolidar muros y cimientos.
- Refuerzo con materiales compuestos: Como fibras de carbono o vidrio.
- Pretensado externo: Para mejorar la resistencia a la tracción.

- Anclajes y tirantes: Para contrarrestar empujes horizontales.
- Refuerzo con elementos metálicos: Como placas o perfiles de acero.

La tecnología de reforzamiento adecuada depende de varios factores: el tipo de estructura, los materiales originales, el estado de conservación y los valores patrimoniales que se quieren preservar. Además de ser eficaz estructuralmente, debe respetar la autenticidad y la integridad del bien.

2.1.3.4.2. Sistemas de reforzamiento estructural para cúpulas patrimoniales

La conservación y restauración de las cúpulas patrimoniales imponen la aplicación de técnicas de reforzamiento estructural que respeten los principios de mínima intervención, compatibilidad y reversibilidad. A continuación se exploran diversas estrategias de consolidación y refuerzo (Croci, 1998) para la preservación de estas valiosas edificaciones.

Consolidación de materiales: Se basa en mejorar la cohesión interna de una cúpula deteriorada. Existen varias técnicas de consolidación, como la inyección de morteros de cal hidráulica natural o resinas epóxicas de baja viscosidad (Torraca, 2009). Estas sustancias penetran en las fisuras y huecos solidificando la estructura interna. Los materiales de inyección se eligen según la compatibilidad química y física con los materiales originales. En piedras y morteros degradados es mejor aplicar consolidantes a base de silicato de etilo. Este tratamiento penetra profundamente y forma un gel de sílice que refuerza la estructura interna. Estos consolidantes no deben alterar la difusión de vapor para que no se acumule humedad y no causen más daños.

Refuerzo con materiales compuestos: Es una técnica moderna y efectiva. Un ejemplo de materiales compuestos son los tejidos de fibra de carbono o de basalto. Se aplican con resinas compatibles, lo que aumenta la resistencia a la tracción sin añadir un peso significativo (Borri & Corradi, 2011; Modena et al., 2011). Entre los sistemas comerciales disponibles para este tipo de refuerzo se encuentran:

- EPOWRAP GFRT: Es un sistema Compuesto de reforzamiento estructural 200 B-D, conformado por el sistema epóxico Epofix 300 y el tejido de refuerzo de fibra de vidrio bidireccional. El Epofix 300 es un sistema epóxico de dos componentes sin solventes, de módulo alto y baja viscosidad
- CARBOWRAP: Sistema Compuesto SETMIX de refuerzo estructural, conformado por el sistema epóxico Epofix 300 y el tejido de refuerzo VCF -1800 de fibra de carbono unidireccional de alta resistencia (grado aeroespacial).

Su uso debe respetar la estética y la integridad histórica de la cúpula. Los refuerzos han de ser discretos y, de preferencia, reversibles.

Cosido de grietas: El cosido estabiliza las fisuras y evita que se propaguen (e-struc, 2015). Se usan varillas de fibra de vidrio o titanio, colocadas en perforaciones hechas con taladros de rotación para no generar vibraciones dañinas. Los materiales deben ser compatibles y las

técnicas, lo menos invasivas posible. El sellado de las grietas con morteros de cal hidráulica natural, formulados para igualar los materiales originales, deja una reparación discreta y eficaz, mantiene la permeabilidad al vapor y evita la acumulación de humedad, lo que cuida la salud de la cúpula.

Refuerzo de la base: El refuerzo de la base de una cúpula puede incluir la instalación de anillos de compresión para contrarrestar los empujes horizontales (Croci, 1998; Huerta, 2004). Estos anillos, preferiblemente ocultos, se utilizan para reforzar la estabilidad de la cúpula, y deben ser diseñados para integrarse discretamente en la estructura existente. En casos extremos, puede considerarse el postensado externo con cables de acero inoxidable. Este método resuelve problemas de estabilidad, aunque hay que planificar su aplicación para que no altere de forma visible la cúpula.

Mejora del comportamiento sísmico: Para mejorar el comportamiento sísmico de las cúpulas patrimoniales se instalan sistemas de disipación de energía, como amortiguadores viscosos, en puntos estratégicos (Modena et al., 2011). Estos sistemas reducen las vibraciones durante los terremotos y protegen la integridad estructural. Estas intervenciones no deben alterar el aspecto histórico de la cúpula. El refuerzo de conexiones entre la cúpula y los elementos de soporte debe realizarse con materiales y técnicas compatibles con el original, procurando que cualquier refuerzo añadido sea reversible.

2.1.3.5.Medidas de conservación preventiva y monitoreo

A diferencia de las técnicas de reforzamiento estructural, que modifican directamente la capacidad mecánica de la cúpula, las medidas de conservación preventiva buscan proteger la estructura de agentes de deterioro y vigilar su comportamiento en el tiempo sin alterar sus propiedades resistentes. Estas estrategias complementan cualquier intervención de refuerzo, ya que ayudan a que los beneficios se mantengan a largo plazo.

Control de humedad: Es clave para preservar las cúpulas patrimoniales (Cortés & Pardo, 2024). Implica diseñar sistemas de drenaje eficientes que respeten la estética original. Es común aplicar tratamientos hidrofugantes transpirables en las superficies exteriores, que protegen la cúpula de la infiltración de agua sin impedir que se evapore la humedad interna. Los productos deben ser compatibles con los materiales originales y aplicarse de modo que no cambien la apariencia de la cúpula.

Monitorización continua: Los sistemas de monitoreo en tiempo real sirven para evaluar la eficacia de las intervenciones y detectar problemas futuros (Lorenzoni et al., 2013). Pueden incluir sensores de deformación, inclinómetros y acelerómetros que entregan datos continuos sobre el comportamiento de la cúpula. Así se puede responder rápido a cualquier signo de deterioro y mantener la eficacia de las intervenciones a largo plazo. Los datos en tiempo real, además, facilitan el análisis detallado y la planificación de futuras acciones de conservación, y con ello la preservación de estas estructuras para las generaciones venideras.

La restauración y el refuerzo de cúpulas patrimoniales requiere de un enfoque especializado que combine el conocimiento sobre estructuras históricas y técnicas de conservación avanzadas, con una profunda sensibilidad hacia sus valores culturales y estéticos. El objetivo final es, además de estabilizar la estructura, preservar su autenticidad y el significado cultural de estas obras para las futuras generaciones.

2.1.4. Conservación del Patrimonio Arquitectónico

La conservación del patrimonio arquitectónico es un campo que ha evolucionado en las últimas décadas. Su enfoque busca preservar y proteger edificios, estructuras y sitios de importancia histórica, cultural y arquitectónica, e integrarlos además a la vida contemporánea. La conservación moderna entiende que el patrimonio arquitectónico no es un conjunto de estructuras estáticas, sino un recurso dinámico que puede aportar al desarrollo social y económico de las comunidades (Jokilehto, 2018).

En restauración, conservar el patrimonio arquitectónico supone equilibrar la autenticidad histórica con la adaptación a las necesidades y estándares actuales. Eso puede incluir tecnologías modernas para monitorear y mantener las estructuras históricas, y estrategias de conservación preventiva que reduzcan los riesgos antes de que ocurran daños importantes. La conservación debe atender a los aspectos físicos de las estructuras, pero también a su significado cultural intangible y a su papel en la formación de la identidad local y nacional (Feilden, 2003).

2.1.4.1.Patrimonio Arquitectónico

El patrimonio arquitectónico comprende desde monumentos individuales hasta conjuntos y paisajes culturales. Su importancia no se limita a sus valores estéticos o históricos, ya que también permite conocer técnicas constructivas, estilos artísticos y formas de vida de otras épocas. El patrimonio arquitectónico es un recurso no renovable, que requiere un enfoque de gestión cuidadoso y sostenible (Orbasli, 2008).

Incluye las edificaciones, los conjuntos urbanos y los paisajes culturales que tienen un valor histórico, artístico, científico, social o técnico significativo. Según Jokilehto (2018), incluye los entornos construidos completos con su contexto cultural. Es una evidencia tangible de cómo ha evolucionado la sociedad en lo histórico y cultural, y refleja sus propios valores constructivos a través del tiempo.

En Ecuador, este patrimonio refleja claramente su historia: hay huellas de las culturas precolombinas, y posteriormente de la época colonial y republicana. Al ser un país megadiverso, se encuentran edificaciones patrimoniales construidas con distintos materiales y técnicas. Las iglesias con cúpulas de piedra de la Zona 3, que son objeto del presente estudio, muestran las tradiciones constructivas europeas, y las técnicas y materiales de la localidad. La conservación de este patrimonio requiere de conocimiento técnico especializado, del entendimiento de los métodos constructivos tradicionales, y también de los desafíos específicos que se generan en entornos sísmicos con el de la región.

2.1.4.2.Conservación del Patrimonio

La conservación es un proceso que frena el deterioro de objetos y estructuras, y que prolonga su existencia sin perder su significado cultural (Feilden, 2003). Implica también la salvaguarda de su valor simbólico y su relevancia para las comunidades actuales y futuras (Orbasli, 2008). En restauración, esto se traduce en un enfoque que combina varios procesos, tales como: la investigación histórica, el análisis científico de materiales, la evaluación estructural, así como consideraciones éticas y culturales (Muñoz, 2005).

En edificaciones con sistemas constructivos complejos, las intervenciones pueden incluir labores sencillas de limpieza o mantenimiento preventivo como reparaciones estructurales de mayor alcance. La dificultad de los procesos de conservación se encuentra en equilibrar la estabilidad y la seguridad de la estructura con la preservación de su autenticidad histórica. En algunos casos, puede ser necesario recurrir a técnicas innovadoras de refuerzo que sean mínimamente invasivas y reversibles, y aplicar tratamientos de consolidación a los materiales deteriorados (Torraca, 2009).

La conservación del patrimonio maneja varios principios clave que guían el proceso de toma de decisiones; entre ellos se encuentran criterios como la mínima intervención, la compatibilidad de los materiales y técnicas, el respeto por la autenticidad y la documentación de las actuaciones (Feilden, 2003; ICOMOS, 2003). La aplicación de estos principios requiere de criterio técnico y de la capacidad de equilibrar la valoración de factores que pueden estar en tensión. Por ejemplo, la necesidad de asegurar la estabilidad estructural a largo plazo de un bien patrimonial podría requerir que se infrinja el principio de mínima intervención, sobre todo en zonas de actividad sísmica. De igual forma, el uso de materiales y técnicas tradicionales debería equilibrarse frente a la necesidad de mejorar la resistencia y la durabilidad de estas estructuras históricas (ICOMOS, 2003).

2.1.4.3.Legislación y normativas de conservación

Las normativas de conservación son el conjunto de leyes, reglamentos, cartas y recomendaciones que rigen la práctica de la conservación del patrimonio. Contemplan los principios éticos, estándares técnicos y procedimientos a seguir en las intervenciones del patrimonio arquitectónico.

A nivel internacional, los principios y criterios de conservación se han desarrollado en diferentes instrumentos, entre ellos la Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios (Carta de Venecia 1964), la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural (1972) y la Carta de Burra (1979). Estos documentos desarrollan los criterios de conservación, restauración, protección y gestión del patrimonio, pero lo hacen con un alcance y naturaleza distintos. Por su parte, cada país también ha desarrollado su propio marco jurídico y administrativo, al cual deben ajustarse las intervenciones en sus bienes patrimoniales. Las regulaciones locales han tomado como base los aspectos más generales de las normas internacionales, pero aterrizándolas en las características propias de sus territorios.

La Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios (Carta de Venecia 1964)

La Carta de Venecia contiene los de principios que orientan la conservación y restauración de los monumentos y sitios históricos del mundo. Propone una concepción amplia del "monumento" que incluye grandes obras arquitectónicas y también construcciones más modestas que han adquirido un significado cultural con el tiempo. Desde esta perspectiva, la conservación y restauración requieren el aporte de distintas disciplinas, así como de las ciencias y técnicas que puedan contribuir al estudio y la protección del patrimonio.

La Carta también destaca la importancia de cuidar el entorno tradicional del monumento y dice que no debe trasladarse, ni por completo ni en parte, salvo que sea necesario para protegerlo o por razones de interés nacional o internacional. Explica que la restauración debe apoyarse en un conocimiento suficiente del monumento y que no puede ir más allá de lo que la evidencia permita. Si es necesario agregar elementos nuevos, estos deben diferenciarse de las partes originales, procurando que tengan una relación adecuada con la composición arquitectónica que ya existe.

Otro punto es respetar las distintas etapas históricas que forman el monumento. La Carta dice que la restauración no debe buscar una unidad de estilo, porque las diferentes partes añadidas con el tiempo también tienen valor histórico. Sobre la documentación, pide que se detallen todas las intervenciones, con fotos y dibujos, y así queda un registro técnico de los trabajos y de las decisiones tomadas durante la conservación y restauración. Este último aspecto es de vital importancia, ya que la restauración de un bien puede complicarse severamente si no se posee el detalle de los diagnósticos y procesos efectuados en él a lo largo de su existencia, pudiendo llegar a afectar la efectividad de cualquier proceso a futuro.

La Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural (1972)

Fue adoptada por la UNESCO en 1972, y establece un marco internacional para la identificación, protección y conservación de bienes culturales y naturales que poseen un valor universal excepcional, es decir, que son de intereses global para todos los países. En este sentido su protección es responsabilidad de cada Estado, pero considera también la cooperación de la comunidad internacional para esta tarea. La Convención estableció para ello la Lista del Patrimonio Mundial, en la que se incluyen los bienes culturales y naturales considerados de valor universal excepcional de acuerdo con una serie de criterios establecidos. También se creó el Fondo del Patrimonio Mundial, destinado a proporcionar asistencia internacional para la protección y conservación de los bienes que forman parte de este sistema.

La Convención también contempla mecanismos de seguimiento del estado de conservación de los bienes inscritos. Entre ellos se encuentra la presentación de informes periódicos por parte de los Estados y la posibilidad de adoptar medidas cuando un bien se encuentre amenazado.

La Carta de Burra (1979), revisada en 2013

Elaborada por ICOMOS Australia, la Carta de Burra desarrolla un marco normativo de conservación y gestión de lugares con significación cultura; su singularidad radica en que amplía la mirada sobre el patrimonio al usar el concepto de "lugar" de manera inclusiva, ampliando la visión de la conservación más allá del "monumento". De esta manera considera además los valores, significados, asociaciones y otros elementos (naturales e inmateriales) que contribuyen a su importancia para las personas y las comunidades.

La Carta propone un proceso orientativo para las decisiones de conservación, el cual parte de la comprensión del lugar y su significación, continúa con la definición de una política de conservación y concluye con la gestión de acuerdo con las decisiones adoptadas. De esta manera, las intervenciones se plantean a partir del conocimiento de los valores que se busca conservar.

Este planteamiento incluye aspectos sociales e intangibles asociados con los lugares, así como a las asociaciones y significados que pueden atribuirles diferentes personas o grupos. Reconoce además que dentro del proceso de toma de decisiones de conservación debe considerarse a las personas que tienen vínculos con el lugar. Para las intervenciones establece que debe actuarse con cautela, y que los cambios deben limitarse a aquellos que sean necesarios para la conservación y el uso adecuado del lugar. Este último punto puede ser complejo cuando se trata de procesos de reforzamiento estructural, ya que las intervenciones requeridas pueden ser más invasivas que cautelosas.

En Ecuador, la legislación incluye:

La Constitución de la República del Ecuador (2008)

En su Art. 379, reconoce como parte del patrimonio cultural tangible e intangible relevante para la memoria e identidad de las personas y colectivos, y objeto de salvaguarda del Estado, entre otros: "Las edificaciones, espacios y conjuntos urbanos, monumentos, sitios naturales, caminos, jardines y paisajes que constituyan referentes de identidad para los pueblos o que tengan valor histórico, artístico, arqueológico, etnográfico o paleontológico."

Entre otros artículos relacionados, están:

- Art. 3, numeral 7: "Son deberes primordiales del Estado: (...) 7. Proteger el patrimonio natural y cultural del país."
- Art. 21: "Las personas tienen derecho a construir y mantener su propia identidad cultural, a decidir sobre su pertenencia a una o varias comunidades culturales y a expresar dichas elecciones; a la libertad estética; a conocer la memoria histórica de sus culturas y a acceder a su patrimonio cultural; a difundir sus propias expresiones culturales y tener acceso a expresiones culturales diversas."
- Art. 83, numeral 13: "Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley: (...) 13.

Conservar el patrimonio cultural y natural del país, y cuidar y mantener los bienes públicos."

- Art. 264, numeral 8: "Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: (...) 8. Preservar, mantener y difundir el patrimonio arquitectónico, cultural y natural del cantón y construir los espacios públicos para estos fines."
- Art. 380: "Serán responsabilidades del Estado: 1. Velar, mediante políticas permanentes, por la identificación, protección, defensa, conservación, restauración, difusión y acrecentamiento del patrimonio cultural tangible e intangible, de la riqueza histórica, artística, lingüística y arqueológica, de la memoria colectiva y del conjunto de valores y manifestaciones que configuran la identidad plurinacional, pluricultural y multiétnica del Ecuador."

La Ley Orgánica de Cultura (2016)

Establece el régimen jurídico para el desarrollo, preservación, promoción y difusión de la cultura, incluyendo la protección del patrimonio cultural. En el ámbito de la conservación de bienes inmuebles patrimoniales, destaca el siguiente artículo.

- Art. 69: "(…) El ente rector de la Cultura y el Patrimonio está facultado para exigir a las instituciones del sector público y a los Gobiernos Autónomos Descentralizados y de Régimen Especial, la adopción de medidas precautelatorias, preventivas y correctivas, para la protección y conservación del patrimonio cultural nacional, en arreglo a la presente Ley, su Reglamento y a la política pública nacional.
  De igual manera, podrá exigir a los propietarios, administradores, tenedores, poseedores y en general a cualquier persona natural o jurídica que tenga bajo su cargo bienes pertenecientes al patrimonio cultural, la adopción de medidas necesarias para su debida protección y conservación, en arreglo a la presente Ley, su Reglamento y a la política pública nacional. El incumplimiento de tales disposiciones será sancionado de acuerdo a las disposiciones establecidas en la Ley."

El Reglamento General a la Ley Orgánica de Cultura (2017)

Detalla los procedimientos para la gestión y conservación del patrimonio cultural. Destaca el siguiente artículo.

- Art. 52: "(…) El inventario de bienes y objetos del patrimonio cultural deberá ser actualizado periódicamente (…)". Esta actualización es vital para el seguimiento y conservación de los bienes inmuebles patrimoniales, ya que permite identificar intervenciones necesarias

EL Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) y las Ordenanzas Municipales

El COOTAD constituye el marco jurídico que regula la organización territorial del Estado y establece las competencias de los diferentes niveles de gobierno. En su artículo 4, literal e), establece como uno de los fines de los gobiernos autónomos descentralizados la protección y promoción de la diversidad cultural, así como la recuperación, preservación y desarrollo de la memoria social y el patrimonio cultural (COOTAD, 2010, art. 4). De manera específica, el artículo 55, literal h), atribuye a los gobiernos autónomos descentralizados municipales la competencia exclusiva de preservar, mantener y difundir el patrimonio arquitectónico, cultural y natural del cantón, así como de construir los espacios públicos destinados a estos fines (COOTAD, 2010, art. 55).

El ejercicio de esta competencia se desarrolla en el artículo 144 del mismo Código, que asigna a los gobiernos autónomos descentralizados municipales la responsabilidad de formular, aprobar, ejecutar y evaluar los planes, programas y proyectos destinados a la preservación, mantenimiento y difusión del patrimonio arquitectónico, cultural y natural de su circunscripción, así como de construir los espacios públicos para estos fines. La norma establece, además, que este patrimonio comprende sus expresiones tangibles e intangibles. En este marco, la preservación comprende las acciones orientadas a su conservación, defensa y protección; el mantenimiento garantiza su sostenimiento integral en el tiempo; y la difusión procura la propagación permanente en la sociedad de los valores que representa (COOTAD, 2010, art. 144).

En cuanto a la transferencia y desarrollo de esta competencia, la Resolución No. 0004-CNC-2015 del Consejo Nacional de Competencias transfirió a los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales la competencia para preservar, mantener y difundir el patrimonio arquitectónico y cultural, así como para construir los espacios públicos destinados a estos fines. Posteriormente, la Resolución No. 006-CNC-2017 reformó la Resolución No. 0004-CNC-2015 y actualizó las atribuciones y actividades del ejercicio de esta competencia, en el marco de la normativa cultural vigente (Resolución No. 0004-CNC-2015, 2015; Resolución No. 006-CNC-2017, 2017).

A nivel local, esta atribución se concreta en ordenanzas específicas que regulan las intervenciones en inmuebles patrimoniales. Varias ciudades ecuatorianas con centros históricos importantes han establecido en sus ordenanzas municipales normas propias para proteger y conservar su patrimonio arquitectónico. En el contexto de la presente investigación, destacan las siguientes ordenanzas:

- El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Pujilí no cuenta a la presente fecha con una ordenanza propia en esta materia.
- Del GADM del cantón Latacunga, la “Ordenanza Que Regula La Preservación, Conservación, Mantenimiento y Difusión Del Patrimonio Cultural En El Cantón Latacunga” (2026), la cual mantiene un enfoque de gestión integral del bien patrimonial clasificándolo en material e inmaterial, mueble e inmueble, y que

organiza sus procedimientos principalmente en torno al registro, inventario y control de intervenciones sobre los bienes ya declarados.

- En cuanto al GADM del cantón Riobamba, se encuentra la Ordenanza Nro. 016-2020, "La Ordenanza que Norma el Ejercicio de la Competencia para Preservar, Mantener y Difundir El Patrimonio Arquitectónico, Cultural y Construir los Espacios Públicos para estos Fines en el Cantón Riobamba" (2020), la cual tiene un enfoque institucional y de modelo de gestión, estructurando la competencia municipal en facultades diferenciadas (rectoría, planificación, regulación, gestión y control) y complementándola con un sistema de niveles de protección e incentivos financieros (reembolsables) para la intervención en bienes privados.

Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (2024)

Fija los principios, definiciones y competencias de las acciones para proteger la vida, los bienes y el patrimonio frente a amenazas naturales o antrópicas. Aplicada a las cúpulas de piedra de las iglesias patrimoniales, esto tiene sentido por dos razones: son físicamente vulnerables y tienen un alto valor simbólico, cultural y comunitario.

El artículo 5 define la gestión integral del riesgo de desastres como un proceso con varias etapas: "(…) previsión, prevención, reducción, mitigación, preparación, respuesta, rehabilitación, recuperación, reconstrucción (…)" (Art. 5, numeral 10). Este enfoque parte de que la gestión del riesgo no se reduce a reaccionar ante emergencias, sino que implica acciones planificadas y sostenidas para reducir vulnerabilidades, identificar amenazas y mejorar la resiliencia de los territorios y sus infraestructuras.

En la misma línea, la ley se apoya en varios principios establecidos en el artículo 4, que refuerzan el sentido patrimonial del territorio y la necesidad de tomar medidas preventivas integrales. Entre ellos, destacan:

- El principio de plurinacionalidad e interculturalidad (Art. 4, numeral 12), exige que los procesos de gestión del riesgo sean respetuosos de la integralidad del territorio, las particularidades culturales y la cosmovisión de los pueblos y nacionalidades del Ecuador. Esta disposición incluye el deber del Estado de proteger los lugares rituales y sagrados, lo cual puede interpretarse extensivamente para incluir bienes religiosos como las iglesias históricas, cuya conservación representa una obligación técnica, así como compromiso con la memoria colectiva.
- El principio de precaución (Art. 4, numeral 14), que establece que, en caso de amenazas que puedan generar daños graves o irreversibles a la vida, a los bienes o a los medios de vida, deben adoptarse medidas incluso en ausencia de certeza científica absoluta. Esto respalda la intervención temprana en edificaciones patrimoniales deterioradas o vulnerables, priorizando la prevención frente a la incertidumbre estructural.

Estos principios complementan las disposiciones operativas de la ley. La normativa impulsa que el análisis técnico del riesgo se incorpore a la planificación territorial (Art. 7) y promueve

la gestión prospectiva (para evitar nuevos riesgos) y la gestión correctiva (para intervenir sobre riesgos ya existentes). Esta última importa sobre todo en edificaciones antiguas o deterioradas, donde la intervención estructural es urgente para evitar colapsos o más deterioro.

La ley obliga a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) a actuar de forma coordinada y responsable al identificar, evaluar y mitigar el riesgo (Arts. 6, 9, 10 y 11), lo que incluye aplicar medidas estructurales que reduzcan los daños en edificaciones expuestas. Al hacerlo, no solo se atiende a las responsabilidades técnicas y territoriales, también se da cumplimiento al principio de protección de las personas (Art. 4, numeral 13), el cual obliga al Estado a garantizar la seguridad de las comunidades frente a emergencias o desastres, incluyendo aquellas que se congregan en torno a infraestructuras patrimoniales de uso comunitario.

La ley establece también que toda acción de reconstrucción post desastre debe evitar la reproducción de errores estructurales previos y promover criterios de seguridad y resiliencia (Art. 16). Esta disposición respalda el uso de buenas prácticas técnicas en la intervención sobre bienes patrimoniales religiosos, respetando tanto su valor histórico como los principios de integridad estructural.

Por último, todas las entidades públicas y privadas deben contar con unidades de gestión del riesgo (Art. 20) e incorporar estos criterios en su planificación y presupuesto. Esto habilita legalmente que instituciones académicas, especialistas técnicos y actores locales participen en el análisis y tratamiento de edificaciones vulnerables, dentro del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión del Riesgo.

Conclusión

Estas leyes y normativas forman el marco legal de la conservación del patrimonio arquitectónico en Ecuador, incluidas las iglesias con cúpulas de piedra que son el foco de este estudio. Fijan los procedimientos para declarar bienes patrimoniales, los requisitos para intervenirlos y las sanciones por dañar el patrimonio.

Toda intervención en una iglesia patrimonial de Ecuador, incluido el reforzamiento estructural de sus cúpulas, debe cumplir estas normativas y contar con las aprobaciones de las autoridades competentes, como el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) y los gobiernos locales correspondientes.

2.1.4.4.Análisis de Riesgos Patrimoniales

El análisis de riesgos patrimoniales forma parte de la gestión integral del riesgo aplicada al patrimonio cultural. La norma ISO 31000 (2018) establece que el análisis forma parte del proceso estructurado de gestión de riesgos, y que es una herramienta que permite fundamentar el diseño de intervenciones eficientes y adecuadas a la magnitud de los riesgos.

Su propósito es reconocer las amenazas que pueden afectar la integridad y el significado de los bienes, para luego valorar sus posibles consecuencias. Para ello el análisis debe combinar enfoques cuantitativos y cualitativos en la evaluación de los procesos de deterioro progresivo y eventos catastróficos. Al final, el análisis de riesgos ayuda en la identificación de prioridades de actuación, que se plasman en los proyectos de intervención y guían el accionar de los profesionales.

2.1.4.4.1. Enfoques Integrados para el análisis de riesgos

La protección del patrimonio cultural y natural requiere considerar diferentes tipos de riesgos, tanto aquellos relacionados con procesos de deterioro que se desarrollan de manera gradual, como los asociados con eventos repentinos que pueden provocar daños significativos. En este contexto, el Método ABC y el Manual de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD) para el Patrimonio Mundial ofrecen herramientas que pueden complementarse para abordar el análisis y la gestión de riesgos desde diferentes escalas.

El Método ABC (ICCROM & CCI, 2023) se enfoca en manejar los riesgos que afectan al patrimonio, como colecciones, objetos y edificios. Su evaluación se basa en tres elementos: A representa la frecuencia o probabilidad de que ocurra un riesgo, B se relaciona con la pérdida de valor que podría pasar, y C corresponde a la proporción o alcance de esa pérdida. Al combinar estos elementos, se estima la magnitud de los riesgos y se fijan prioridades para decidir cómo y dónde usar los recursos en conservación.

Por su parte, el Manual de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD) para el Patrimonio Mundial (UNESCO et al., 2014) trata la gestión de los riesgos ligados a desastres que pueden afectar a los bienes inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial. Incluye temas como la identificación y evaluación de riesgos, la prevención y mitigación, la preparación, la respuesta y la recuperación. Por eso, ofrece una forma de gestión que pueden usar los administradores de sitios, autoridades y otros responsables de la protección del patrimonio.

Aunque ambos enfoques parten de identificar y evaluar los riesgos para guiar la toma de decisiones, presentan diferencias en la forma de tratarlos y en la escala en que se aplican. El Método ABC hace una evaluación más detallada de los riesgos que afectan a un bien. Por otro lado, el Manual de GRD incluye una visión más amplia de gestión y preparación ante desastres. Usar ambos juntos puede dar una visión más completa de las amenazas y vulnerabilidades que afectan al patrimonio.

En Ecuador, la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (LOGIRD, 2024) crea un marco legal que permite esta integración. Indica que para prevenir el riesgo de desastres se debe actuar sobre la amenaza, la vulnerabilidad, las capacidades y el nivel de exposición. Así, respalda el uso conjunto de distintas herramientas de evaluación y gestión de riesgos para tratar todos los factores que pueden afectar al patrimonio.

Similitudes, diferencias y relación de ambos métodos

El Método ABC y el Manual de GRD tratan la gestión de riesgos del patrimonio desde puntos de vista diferentes. Sin embargo, comparten aspectos que los conectan. Es importante revisar en qué se parecen y en qué se diferencian, para ver si es posible relacionarlos e incluirlos en el análisis de riesgos del patrimonio edificado.

Similitudes

Ambos parten de la necesidad de reconocer los riesgos que pueden afectar a los bienes patrimoniales y de valorar sus posibles consecuencias, lo que ayuda a orientar las decisiones de conservación. Para lograrlo, proponen procesos organizados que permiten pasar de la identificación de los riesgos a la definición de medidas para reducirlos o gestionarlos. También consideran amenazas de origen natural y las que se relacionan con la actividad humana. Su aplicación exige tener en cuenta las características propias del bien, su contexto y las condiciones que pueden aumentar su vulnerabilidad.

Otro punto de coincidencia es la necesidad de involucrar a diferentes actores en la gestión del patrimonio. Las decisiones pueden requerir la participación de administradores, autoridades, instituciones y personas o comunidades vinculadas con los bienes. Sin embargo, cada enfoque desarrolla esta participación y organiza la gestión de los riesgos de acuerdo con sus propios objetivos y niveles de aplicación.

Diferencias

Cada manual responde a objetivos específicos y contextos de aplicación diferentes (ver Tabla 1). Estas diferencias los convierten en herramientas complementarias según el tipo de riesgo y la escala de análisis.

Tabla 1
Diferencias entre el Método ABC y el Manual GRD

Característica	**Método ABC (2023)**	**GRD para Patrimonio Mundial (2014)**
Enfoque principal	Gestión de riesgos preventiva y cuantitativa del deterioro.	Gestión de riesgos ante desastres repentinos (naturales o humanos).
Metodología	Usa escalas ABC (frecuencia, pérdida de valor, alcance).	Basado en fases: identificación, prevención, preparación, respuesta y recuperación.
Ámbito de aplicación	Bienes patrimoniales: objetos, edificios, colecciones.	Bienes culturales y naturales inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial.
Énfasis temporal	Riesgos de deterioro acumulativo o a largo plazo.	Eventos repentinos, catastróficos o emergencias.
Orientación institucional	Guía práctica para instituciones culturales y profesionales.	Dirigido a administradores de sitios del Patrimonio Mundial y gobiernos.

Nivel técnico	Alta formalización con cálculos, mapas de riesgo y matrices.	Más estratégico, con orientación política y de gobernanza.

Relación

Los aportes de ambos enfoques pueden relacionarse para un análisis complementario de los riesgos del patrimonio, lo que resulta útil cuando un bien puede estar expuesto a procesos de deterioro progresivo y también a eventos repentinos (por ejemplo, un desastre natural o un atentado propiciado por personas). Ambos cuentan con la participación de ICCROM en su desarrollo y difusión, junto con otras instituciones especializadas en la gestión y conservación del patrimonio.

En el patrimonio edificado pueden existir riesgos de deterioro lento y amenazas ligadas a eventos inesperados. Por ejemplo, una cúpula en una zona sísmica puede tener daños en sus materiales y, al mismo tiempo, estar en riesgo por sismos. En estos casos, puede ser más efectiva la realización de una evaluación detallada de los riesgos con medidas de preparación y respuesta.

En este estudio, ambos enfoques se usan como base para el análisis de riesgos de las tres cúpulas patrimoniales. El Método ABC aporta los agentes de deterioro que se usan para valorar los riesgos. El enfoque de GRD ayuda a identificar y entender las amenazas. Esta integración también se relaciona con el principio de precaución de la normativa ecuatoriana. Este principio toma en cuenta medidas preventivas cuando hay dudas sobre los posibles efectos de un riesgo, siendo particularmente aplicable si la información disponible sobre el comportamiento estructural es limitada.

2.1.4.4.2. Gestión de Riegos vs Análisis de Riesgos

El análisis de riesgos se refiere específicamente a la fase cuantitativa y cualitativa de evaluación, la cual incluye:

- La aplicación de fórmulas para la cuantificación del riesgo.
- Elaboración de matrices de evaluación con escalas definidas
- Aplicación de cálculos (por ejemplo, para la evaluación del impacto)
- El mapeo y priorización de riesgos específicos

Por otra parte, la Gestión de Riesgos es el proceso integral y continuo que comprende varias fases:

- Prevención (medidas antes del evento)
- Preparación (planes de emergencia, capacitación)

- Respuesta (durante el evento de riesgo)
- Recuperación (post-evento, rehabilitación)

El análisis es una herramienta dentro de la gestión, no un proceso paralelo (ISO 31000, 2018). Esta distinción se alinea con la definición de gestión integral del riesgo establecida en la LOGIRD (2024), que contempla un proceso continuo que abarca desde la previsión y prevención hasta la recuperación y reconstrucción, confirmando que el análisis es una herramienta específica dentro del proceso más amplio de gestión.

2.2. Referente

En la búsqueda de la literatura, no se han identificado estudios específicos relacionados al análisis de reforzamientos estructurales sobre cúpulas de piedra patrimoniales. Pero se encontraron varios estudios amplios sobre iglesias nacionales y extranjeras, cuyas principales características de investigación se sintetizan en la Tabla 2.

De estos proyectos se desprende que hay que tener en cuenta la actividad sísmica al analizar las intervenciones en este tipo de bienes, sobre todo en regiones vulnerables como Ecuador. Las investigaciones aportan metodologías útiles para evaluar la vulnerabilidad sísmica y analizar parámetros estructurales clave, como el comportamiento de las cúpulas y la irregularidad en las alturas de estructuras antiguas.

Ofrecen enfoques metodológicos específicos que se pueden adaptar al contexto ecuatoriano, como el análisis de mecanismos de colapso y la evaluación del índice de vulnerabilidad. Con estos métodos se analizarían con más detalle las estructuras patrimoniales y se podrían evaluar los sistemas de reforzamiento implementados.

En el análisis deberá tenerse en cuenta la complejidad de las intervenciones estructurales y la necesidad de usar técnicas compatibles con los materiales existentes, con equilibrio entre métodos tradicionales y modernos. Se destaca la importancia de analizar la reversibilidad en las intervenciones, ya que es un principio fundamental para preservar la autenticidad de las estructuras patrimoniales, pese a que muchas técnicas de refuerzo resultan ser irreversibles.

Tabla 2
Artículos de análisis para el estado del arte

Investigación	Objetivo	Metodología	Hallazgos	Aportes al proyecto
Desafíos para la Reconstrucción del Santuario de Nuestra Señora de los Ángeles, Ciudad de México (Hernández, 2022)	Presentar un análisis de los trabajos de consolidación del templo, así como definir los principales daños que han incidido en la estructura a lo largo de diferentes etapas constructivas. Proponer criterios para las siguientes etapas de preservación del santuario y resaltar la importancia de la participación del Estado y de la población en este proceso	Se basó en la consulta de literatura especializada y en archivos históricos, incluyendo información de archivos parroquiales y del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Esta metodología permitió realizar un análisis de los procedimientos y técnicas constructivas empleadas a lo largo de la vida del inmueble, así como diagnosticar los daños causados por el colapso parcial de la cúpula y el impacto de la actividad sísmica desde el evento de septiembre de 2017.	Los daños actuales no son solo el resultado de los efectos acumulados de sismos pasados, sino de una serie de deficiencias estructurales que han perdurado a lo largo de los años. Se ha utilizado un procedimiento innovador en el país, incorporando una columna helicoidal como soporte central, además de cuatro apoyos exteriores, para permitir una base sólida en el templo. Este enfoque se considera un primer paso hacia la consolidación y eventual restauración integral de la cúpula.	*Impacto de la Actividad Sísmica:* La investigación subraya la necesidad de responder a la actividad sísmica y sus efectos en la infraestructura patrimonial. Este conocimiento es valioso en una región como Ecuador, que también es vulnerable a sismos, y puede guiar las futuras intervenciones en las cúpulas de piedra.
Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca – 2017 (Díaz, 2019)	Evaluar la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén en Cajamarca, con el fin de determinar el grado de daño que podría sufrir la estructura en caso de un evento sísmico y contribuir a la mejora de su seguridad estructural.	La metodología incluye varias etapas, como la revisión de la literatura existente, el análisis de datos obtenidos mediante inspecciones en el sitio, la utilización de modelos de elementos finitos para crear simulaciones del comportamiento estructural ante sismos, y una evaluación integral de los materiales y condiciones de la iglesia. También se menciona un	Entre los hallazgos más importantes se identificaron los diferentes niveles de vulnerabilidad de la iglesia ante sismos, así como los factores que contribuyen a este riesgo, como la calidad de los materiales y la configuración estructural. Se realizó un análisis de la respuesta estructural a los esfuerzos sísmicos, que incluyó la identificación de posibles puntos de fallo en la edificación. Estos	*Evaluación de Parámetros Estructurales:* El proyecto aborda parámetros claves en la configuración estructural y la evaluación de vulnerabilidad sísmica, como el comportamiento de las cúpulas y la irregularidad en las alturas de las estructuras antiguas. Esta información podría servir de referencia para evaluar el comportamiento de cúpulas de piedra en otras iglesias. *Metodología de Evaluación:* La metodología utilizada para determinar

Investigación	Objetivo	Metodología	Hallazgos	Aportes al proyecto
		enfoque en la recolección de información sobre el estado de conservación y las técnicas de refuerzo utilizadas.	hallazgos subrayan la necesidad de implementar sistemas de reforzamiento más efectivos para mejorar la resistencia sísmica de la iglesia.	la vulnerabilidad sísmica, que incluye la evaluación de la cimentación y la posición del edificio, podría ser replicada o adaptada en el contexto ecuatoriano. Este enfoque ayudará a establecer un marco coherente para analizar otros templos similares.
Evaluación de mecanismos de colapso generados por acciones sísmicas en la catedral de Puno 2019 (Apaza, 2018)	Evaluar los mecanismos de colapso generados por acciones sísmicas en estructuras de mampostería de piedra de la Catedral de Puno.	Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre la evaluación sísmica mediante mecanismos de colapso. Se identificó un índice de vulnerabilidad analizando la capacidad estructural y los mecanismos de colapso potencialmente activables. Se llevó a cabo análisis cinemáticos para evaluar la capacidad de la estructura frente a solicitaciones sísmicas.	La identificación de mecanismos de colapso más probables, que permiten entender cómo las estructuras podrían fallar bajo cargas sísmicas. Se presentan recomendaciones para el reforzamiento de las estructuras con base en los mecanismos de colapso identificados, lo que permite establecer un enfoque pragmático para mejorar la seguridad sísmica de las iglesias patrimoniales.	*Metodología de Análisis Estructural:* La metodología de mecanismos de colapso utilizada en la evaluación de la catedral de Puno se puede aplicar o adaptar para el análisis de las cúpulas de piedra en las iglesias ecuatorianas. La identificación de mecanismos críticos de colapso y vulnerabilidad permitirá hacer un análisis más exhaustivo de las estructuras patrimoniales. *Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica:* El enfoque aplicado en la evaluación del índice de vulnerabilidad de la catedral de Puno puede servir como modelo para las iglesias en Ecuador. Esto permitirá establecer un marco de referencia para determinar qué sistemas de reforzamiento son necesarios en cada caso en particular.
Análisis de las intervenciones patrimoniales en Quito	Identificar aspectos teóricos y prácticos relacionados con la intervención estructural en	Se efectuó el análisis histórico y arquitectónico de cada iglesia,	La eficacia de las intervenciones estructurales varía según la técnica y el tipo de degradación	*Técnicas de Reforzamiento Estructural*: El trabajo menciona la complejidad de las intervenciones

Investigación	Objetivo	Metodología	Hallazgos	Aportes al proyecto
(Ecuador). Los casos de las iglesias de San Francisco y de la Compañía de Jesús (Cajas, 2016)	edificios patrimoniales aplicables a casos similares.	con base en procesos de revisión documental. Cada edificación fue evaluada en sus intervenciones, de acuerdo a sus características constructivas y situaciones particularizadas, considerando las ventajas y desventajas de diferentes opciones según el estado del arte.	de las estructuras. Se concluyó que los métodos de refuerzo deben ser selectivos y ajustarse a las necesidades específicas de cada edificación. Se enfatizó la importancia de realizar mínimas intervenciones y asegurarse de que los métodos empleados sean reversibles para preservar la autenticidad del patrimonio, aunque muchas técnicas de refuerzo resultan ser irreversibles. Se destacó que los nuevos materiales, como el uso de FRP (polímero reforzado con fibra), requieren más estudios para evaluar su eficacia y asegurar que no afecten negativamente a las estructuras patrimoniales.	estructurales y la necesidad de emplear técnicas compatibles con los materiales existentes. Se subraya la importancia de métodos tradicionales, pero también la necesidad de modernizarse cuando sea necesario. *Principios de Restauración y Reversibilidad*: El documento destaca la importancia de llevar a cabo intervenciones reversibles cuando sea posible, lo cual puede ser un principio fundamental en el análisis de los sistemas de reforzamiento estructural para no comprometer la autenticidad de las cúpulas de piedra.

CAPÍTULO III

3. Resultados y Discusión

El presente capítulo expone los resultados obtenidos del proceso de valoración patrimonial de tres Iglesias Patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador seleccionadas como objetos de estudio, focalizando el análisis en sus cúpulas de piedra.

La información base de esta valoración proviene de tres fuentes documentales. Las fichas de inventario de las tres iglesias publicadas en el SIPCE (INPC, 2015a; INPC, 2018; INPC, 2022) que registran principalmente el estado de conservación e información histórica de los bienes. Los estudios técnicos subidos al Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP), que forman parte de la documentación de los proyectos de intervención. Y los informes de control técnico del INPC, los cuales responden a procesos de inspección llevados a cabo desde el ente rector. Con esta documentación se pudo establecer un marco referencial sobre el estado de conservación, las características constructivas y los valores patrimoniales ya identificados.

Primero se analizó el contexto histórico de cada bien patrimonial, para entender su evolución en el tiempo y las circunstancias que definieron su configuración actual. Se adoptó como instrumento el baremo del Instructivo para Fichas de Inventario del INPC (INPC, 2024), aplicando sus criterios en los componentes de: valoración funcional, que analiza el uso y la adaptabilidad de los espacios; valoración morfológica, que examina las características formales y estilísticas; y valoración técnico-constructiva, que evalúa los sistemas estructurales, los materiales y las técnicas empleadas en la edificación. Las fichas se aplicaron durante visitas de campo, enmarcadas en la Guía de Observación descrita en el Anexo I.

Además se hizo un análisis de riesgos de los inmuebles, con una metodología propuesta por el autor que permitió desarrollar una matriz de riesgos. Este instrumento sirve para identificar las amenazas potenciales que pueden afectar la integridad de las cúpulas de estas edificaciones patrimoniales.

La valoración patrimonial corresponde al estado actual de los inmuebles a la fecha de desarrollo de esta investigación. Se han incorporado datos históricos complementarios, así como la descripción detallada de las patologías identificadas previo a los procesos de intervención ejecutados en estas iglesias. Esta información retrospectiva permite analizar la efectividad de los sistemas de reforzamiento estructural implementados y, conjuntamente con la matriz de riesgos, son el fundamento técnico para la propuesta de mejores prácticas del siguiente capítulo.

El Anexo 6 presenta una comparación morfométrica de las tres cúpulas de piedra objeto de estudio, mostrando sus diferencias dimensionales y proporcionales. Esta representación

gráfica permite visualizar las particularidades geométricas de cada caso, cuyas características específicas se detallan en las secciones subsiguientes.

3.1. Iglesia Matriz de Pujilí

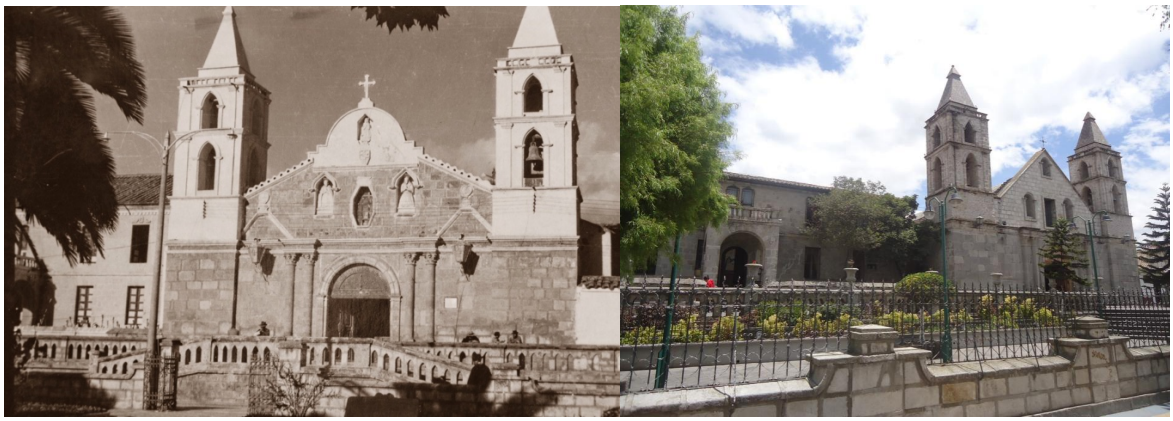
La Iglesia Matriz de Pujilí, con su rica historia que se remonta a los albores de la época colonial en Ecuador, representa un ejemplo excepcional de arquitectura religiosa y un símbolo de la identidad cultural de la región. Su evolución a través de los siglos, marcada por reconstrucciones y adaptaciones, refleja los desafíos enfrentados por la comunidad y su compromiso con la preservación de su patrimonio cultural y religioso.

3.1.1. Contexto Histórico

La Iglesia Matriz de Pujilí está ubicada en la provincia de Cotopaxi (Ecuador), en el centro histórico de Pujilí, frente al parque central Luis Fernando Vivero. Su origen se remonta a la época colonial (ver Tabla 3), entre los siglos XVI y XVII (INPC, 2022; Ministerio de Turismo, 2013), lo que la convierte en uno de los edificios religiosos más antiguos de la región.

Figura 17

Iglesia La Matriz de Pujilí – imagen histórica y actual



Nota. De izquierda a derecha: a) Fotografía de la iglesia, tomada entre 1970 y 1980. B) Fotografía actual de la iglesia. a) Tomado de *la cuenta de X del INPC x.com/INPC Ecuador/status/1237440068442361857*
b) Tomado de *la cuenta de Facebook de la Municipalidad de Pujilí*
https://www.facebook.com/photo/?fbid=857821909724894&set=pcb.857822229724862

Tabla 3

Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Antigüedad"

Antigüedad				**Puntuación**	
Prehispánica hasta 1534	PH	PH	15		
Colonial siglo XVI - XIX (1534-1829)	CO	CO	15	x	15
Republicana 1 - Siglo XIX (1830-1900)	RP1	RP1	12		
Republicana 2 - Siglo XX (1901-1960)	RP2	RP2	8		
Republicana 3 - Siglo XX-XXI (1961-1980)	RP3	RP3	4		
			Total	**15**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

A lo largo de su historia la iglesia ha pasado por varias dificultades, sobre todo por los terremotos que han sacudido la región (INPC, 2022). Los sismos de 1949 y 1998 dañaron con severidad las torres, que aun así conservan su estructura esencial. Una intervención importante se dio en 1996-1997, cuando se desplomaron el remate de fachada de estilo barroco y una torre de campanario. Esta reconstrucción logró mantener en gran medida la composición formal e identificación estilística original de la iglesia.

Características Arquitectónicas

La Iglesia Matriz de Pujilí es reconocida como la única con influencia del estilo románico en el país, destacándose por la esbeltez de sus torres, bóvedas y cupulines que resaltan en el perfil de la ciudad. Su diseño sigue el patrón de una cruz latina, típico de las iglesias románicas (INPC, 2022).

La estructura tiene un estilo ecléctico, con fuerte influencia románica. La fachada se compone de cuatro pilastras de fuste liso y capitel corintio, y una imposta moldurada corona el dintel de piedra. Dos torres de sección cuadrada flanquean la fachada; tienen vanos de arcos apuntados y remates en pináculos que albergan los campanarios.

Un elemento distintivo es el frontón triangular de piedra que alberga tres nichos y un ventanal rectangular central, este último sustituyendo al vano ovalado original. La portada románica de acceso, muy decorada en madera tallada, es un elemento típico de los templos románicos y marca el paso del mundo secular al sagrado.

El interior conserva su disposición original. Se entra por un amplio atrio de piedra que da al parque central. El nártex, separado de la nave principal por tres arcos de medio punto de ladrillo, alberga las criptas y los accesos a los campanarios. La nave principal está cubierta por una bóveda de cañón y tiene cuatro vanos de arcos de medio punto a cada lado.

Sobre el crucero se levanta una cúpula de piedra con lucernario que ilumina el altar. El conjunto lo completan el presbiterio, construido en madera sobre niveles de piedra, y la sacristía anexa, cubierta por una bóveda de cañón de menor tamaño.

La iglesia se construyó con un sistema de muros portantes de piedra pishilata, pómez y andesitas. Las bóvedas de cañón que cubren la nave en cruz son de piedra y las sostiene una estructura de arcos, con un arco toral que soporta la cúpula sobre el crucero. Las bóvedas y el remate de las torres de campanario están cubiertos con tejuelo vidriado.

En intervenciones posteriores se nota el uso de ladrillo y hormigón, sobre todo en la reconstrucción de arcos de medio punto y en el reforzamiento estructural. También se incorporaron materiales contemporáneos, como los paños de vidrio adaptados en los vanos laterales de la nave principal.

Importancia Histórica y Cultural

La Iglesia Matriz de Pujilí trasciende su función religiosa para convertirse en un símbolo de identidad y un hito urbano de gran importancia. Su ubicación en el centro histórico de Pujilí, frente al parque central Luis Fernando Vivero, la convierte en parte integral del conjunto de valor patrimonial de la ciudad (ver Tabla 4). La iglesia Matriz de Pujilí ha sido clave en la difusión del catolicismo en la región, destacando el Corpus Christi como una celebración con más de 400 años de antigüedad (Ministerio de Turismo, 2013).

Tabla 4
Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Entorno urbano natural"

Entorno urbano natural				**Puntuación**	
Integrada tramo homogéneo con valor	ITHOV	ITHOV	10	x	10
Integrada tramo homogéneo	ITHO	ITHO	8		
Tramo homogéneo	THO	THO	7		
Tramo heterogéneo	THE	THE	3		
Destaca en tramo	DT	THO+NINT	5		
No integrada al tramo	NINT	THE+NINT	1		
Integrada entorno natural	IEN	THE+CAUMT	5		
Conserva el ambiente utiliza materiales tradicionales	CAUMT	CAUMT+IEN	5		
		IEN	3		
			Total	**10**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

Por ser el único ejemplo de arquitectura románica en Ecuador, la iglesia tiene un valor histórico y arquitectónico (ver Tabla 5). Domina el paisaje urbano y su historia de construcción, reconstrucción y adaptación la vuelve un testimonio tangible de la evolución histórica y cultural de Pujilí y de la región de Cotopaxi en general.

Tabla 5
Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Histórico-testimonial-simbólico"

Histórico-testimonial-simbólico				**Puntuación**	
Valor simbólico socio cultural (identidad)	VHSC	VHSC	10	x	10
Inmueble de interés histórico testimonial	IIHT	IIHT	8		
Hito urbano	HU	HU	6		
Autor representativo	AR	AR	4		
Distinciones del inmueble	DI	DI	6		
Innovación tecnológica significativa	ITS	ITS	4		
			Total	**10**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.1.2. Valoración Funcional

El inmueble se ubica en el área central del centro histórico de Pujilí, con una tipología y morfología de iglesia. Actualmente es un hito arquitectónico y urbano de la ciudad y la

provincia; conservando su uso original (valoración en Tabla 6). La cúpula cumple la función de cobertura del crucero que es un espacio cerrado, y permite el paso de iluminación cenital y de ventilación a través de cinco ventanas ubicadas por medio del cupulín.

Tipología: Arquitectura Monumental Religiosa - Iglesia Doctrinera.

Uso original: Culto religioso y evangelización indígena.

Uso actual: Culto religioso.

Características funcionales originales:

La iglesia fue concebida como templo misionero e iglesia doctrinera de estilo románico tradicional, con características específicas para la evangelización:

- **Planta en cruz latina**: Configuración tradicional que facilita las funciones litúrgicas
- **Arcos laterales para evangelización**: En cuyos muros laterales aparecen una serie de arcos de medio punto que permitían en la época colonial la evangelización y adoctrinamiento del indígena a través de su participación en los actos religiosos desde la parte exterior de la iglesia (Silva et al., 2020).
- **Atrio amplio**: Elemento arquitectónico que antecede la fachada principal y se integra al tránsito peatonal mediante escalinatas

Configuración espacial actual:

- **Nave principal**: 28,15 x 8,95 m con acceso desde el atrio central.
- **Transepto**: 25,15 m de extensión.
- **Área total de construcción**: 695,3 m².
- **Presbiterio**: Limitado desde el ábside hasta el crucero.
- **Capillas laterales**: Generadas al ampliar la zona de acceso de los fieles.

Adaptaciones funcionales:

- **Recuperación de transparencia original**: Los arcos laterales fueron liberados y recuperada la transparencia original, característica de la antigua iglesia a través de vidrios que permiten la comunicación con el exterior (Silva et al., 2020).
- **Sacristía anexa**: Elemento rectangular abovedado integrado al conjunto.

Estado de conservación funcional actual: Mantiene su función original, con adaptaciones menores para optimizar el uso litúrgico contemporáneo (ver Tabla 6).

Tabla 6

Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Tipológico Funcional"

Tipológico funcional				**Puntuación**	
Conserva identificación tipológica	CIT	CIT+CUO	5	x	5
Conserva uso original	CUO	CIT+CUO+AM	4		
Nuevo uso	UN	CIT+CUO+AA	2		
Nuevo uso no compatible	NUNC	CIT+AM	3		
Alteraciones medias	AM	CIT+AA	1		
Alteraciones altas	AA	CIT+NUNC	1		
		CIT+NUNC+AM	1		
		CIT+UN	3		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.1.3. Valoración Morfológica

Valiosa por su escala monumental, por el diseño de sus elementos constitutivos, y por la utilización de materiales tradicionales. Conserva la forma con que fue concebido el inmueble. Desde el aspecto de diseño se determina la aplicación de categorías de la forma plástica como es el caso del equilibrio simétrico, simetría axial, destaque, ritmo arquitectónico aplicados en llenos y vacíos, texturas (lisa y rugosa), y escala (el edificio es clasificado como GRANDE en función de su tamaño respecto a las edificaciones que se localizan en el contexto urbano inmediato). La cúpula arranca directamente del cuadrángulo de la base dando una forma semi- elíptica.

Estilo dominante: Románico (único en Ecuador).

Época: Colonial XVII (construcción 1640).

Elementos compositivos destacados:

Fachada principal:

- **Composición**: Recta con simetría axial respecto al parque central.
- **Torres gemelas**: Dos cuerpos que sobresalen en altura sobre el segundo cuerpo, y tienen conexión con el primer cuerpo de la fachada por la base misma del arranque de las torres (Silva et al., 2020).
- **Elementos decorativos**: Cuatro medias columnas adosadas con pedestal y capitel corintio.
- **Portada monumental**: Arco de medio punto con archivolta decorativa.

Volumetría característica:

- **Bóveda de cañón corrido**: Elemento dominante que define el perfil urbano.

- **Cúpula del crucero**: Forma cuadrada que se eleva sobre el crucero del templo, y presenta una doble función: la primera para iluminar el interior a través del cupulín, y la segunda para realzar el eje central del espacio (Silva et al., 2020).

- **Torres con remate piramidal**: Coronadas con "chapitel" de forma piramidal.

Características cromáticas:

- **Material visto**: Piedra vista natural tras la intervención de los años 70.

- **Cubiertas**: Tejuelo vidriado en gamas de verde esmeralda, veronés, rosado y ocre amarillento.

- **Textura**: Rugosa por el aparejo irregular de piedra.

Alteraciones morfológicas identificadas:

- **Retiro de enlucidos (1973-1976)**: Dejó en evidencia la fábrica de piedra original (Silva et al., 2020).

- **Modificación del frontón:** El cuerpo central de la fachada, que originalmente lucía un remate curvo de influencia Neorománico, fue sustituido por un diseño triangular. Los nichos destinados a esculturas transformaron sus arcos apuntados en arcos de medio punto. Destaca el nicho central, cuya geometría octogonal primigenia fue reemplazada por un formato rectangular con protección de vidrio (ver Figura 17).

- **Modificaciones en el presbiterio**: Limitación del espacio litúrgico y ampliación de la zona de fieles (Silva et al., 2020).

Estado de conservación morfológica actual: Sólido, con intervenciones que han respetado la integridad arquitectónica original (ver Tabla 7).

Tabla 7
Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Estético formal"

Estético formal				**Puntuación**	
Identificación estilística	IE	IE+CF	5	x	5
Composición formal	CF	IE+CF+AM	3		
Alteraciones altas	AA	IE+CF+AA	2		
Alteraciones medias	AM	IE+AM	2		
		CF+AM	1		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.1.4. Valoración Técnico-constructiva

La edificación presenta un sistema constructivo tradicional basado en muros de piedra portantes, bóvedas, cúpula sin la utilización de pechinas dando una forma semi-elíptica, y

naves solucionadas en forma de cruz latina; utilizando materiales tradicionales propias del sector. El tejuelo artesanal vidriado que, según la sensación térmica que genera, corresponde al grupo de los colores cálidos en la gama de los verdes, naranja y amarillos. Los tejuelos más deteriorados fueron retirados y reemplazados por gres colombiano de color natural y verde obscuro (Silva et al., 2020).

Sistema constructivo: Arquitectura tradicional de Cotopaxi donde los muros de piedra funcionan como elementos de una caja estructural portante.

Técnicas constructivas principales:

1. **Mamposterías de sillería**: El aparejo del muro es de sillería que van colocadas paralelamente las partes externas del muro en forma de piezas rectangulares y el interior del muro relleno con piedra de canto rodado de menor dimensión (Silva et al., 2020).

2. **Materiales pétreos utilizados**:

    - **Andesita ploma y rosada**: Para estructura muraría principal.
    - **Piedra pómez (pishilatas)**: Para bóvedas y elementos de cobertura.
    - **Riolita y toba volcánica**: Para elementos complementarios.
    - **Piedra de canto rodado**: Para relleno interior de muros.

3. **Sistema de bóvedas**: Para la construcción de las bóvedas, cúpulas y cupulines, se puede evidenciar el uso de la piedra pómez con mortero de cal y arena.

Características técnicas específicas:

- **Cúpula del crucero**: Se construyó sin la utilización de las pechinas, la cúpula arranca directamente del cuadrángulo de la base dando una forma semi-elíptica (Silva et al., 2020).

- **Arcos estructurales**: Combinación de piedra y ladrillo en los arcos torales.

- **Cimentación**: Piedra con técnicas tradicionales.

Sistema de reforzamiento estructural

La edificación presenta una cúpula con linterna en el crucero, con el siguiente sistema estructural (Silva et al., 2020):

Sistema de cubierta principal:

- **Bóveda de cañón corrido**: La nave principal se cubre con una bóveda de cañón corrido de piedra pómez, que es el elemento estructural dominante.

- **Cúpula con linterna en el crucero**: En la intersección de las naves se eleva una cúpula con cupulín que funciona como linterna y da iluminación natural al crucero.

- **Material de construcción**: Piedra pómez para las bóvedas y cúpulas.

Elementos de reforzamiento identificados:

- **Arcos fajones estructurales**: La bóveda de cañón corrido de la nave principal está reforzada por arcos fajones, los mismos que son un elemento estructural que forma parte de la bóveda de cañón corrido a manera de un costillar que faja la bóveda.

- **Machones en el crucero**: Los arcos del crucero descansan sobre machones en sus cuatro ángulos, distribuyendo las cargas de manera eficiente

- **Muros portantes masivos**: Grandes muros soportantes que sostienen la bóveda de cañón corrido de la nave principal, cuya altura de muros sobrepasan a los que conforman el crucero.

Figura 18

Sistema de cubiertas y cúpula principal de la Iglesia Matriz de Pujilí



Nota: De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: a) Vista lateral mostrando la cúpula del crucero con recubrimiento de tejuelo hexagonal vidriado y los muros de mampostería de piedra. En primer plano se observan materiales pétreos utilizados en trabajos de mantenimiento. b) Vista general del sistema de cubiertas evidenciando las dos torres campanario con cúpulas hexagonales y la cúpula principal del crucero, todas revestidas con tejuelo vidriado en tonos verde, rosado y ocre que constituyen el sistema de protección de las estructuras subyacentes. c) Cúpula principal del crucero con linterna superior, muestra el patrón hexagonal del tejuelo vidriado que recubre y protege los elementos estructurales internos donde se han realizado reforzamientos históricos. Elaboración propia basada en levantamiento fotográfico del INPC, 2016.

Sistema de cubiertas:

- **Recubrimiento**: Tejuelo vidriado hexagonal en colores verde esmeralda, veronés, rosado y ocre amarillento (ver Figura 18).

Reforzamientos históricos:

- **Anillos de hormigón armado (1973-1976):** Se construyeron anillos interiores de hormigón armado que siguen el perfil transversal de las naves, por los fisuramientos que presentaban las bóvedas.

- **Sistema "espina de pez" (2020):** Reforzamiento con varillas de acero inoxidable de 16 mm, con perforaciones en forma de "X" cada 20-40 cm a lo largo de las fisuras. Se aplicó en bóvedas de cañón, corrido de nave principal y crucero.

Estado de conservación técnico-constructivo actual: sólido; uso de tecnología y materiales contemporáneos (ver Tabla 8).

Tabla 8
Valoración actual de la Iglesia Matriz de Pujilí, componente "Técnico constructivo"

Técnico constructivo				**Puntuación**	
Tecnología y materiales tradicionales	TMT	TMT	5	x	5
Tecnología y materiales contemporáneos	TMC	TMT+ECR	4		
Tecnología y materiales mixtos	TMX	TMT+ECM	2		
Estado de conservación regular	ECR	TMT+SMTM	3		
Estado de conservación malo	ECM	TMT+SMTA	1		
Sustitución materiales y tecnología alto	SMTA	TMT+STMM+ECR	2		
Sustitución materiales y tecnología medio	SMTM	TMC	3		
		TMC+ECR	2		
		TMC+SMTM	1		
		TMX	2		
		TMX+ECR	1		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.1.5. Patologías

Las patologías identificadas en varias visitas de control técnico efectuadas por el autor (como restaurador zonal del INPC) previas a la última intervención técnica de la cúpula fueron: lesiones físicas y mecánicas localizadas en el intradós y extradós, cuya ubicación, identificación y clasificación se describe en la siguiente ficha de análisis de patologías (ver Figura 19):

Figura 19

Ficha de Análisis de Patologías - Iglesia Matriz de Pujilí

FICHA DE ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS

Ficha Nº: 01	**Denominación del Inmueble Patrimonial:**	Iglesia Matriz de Pujilí	
PAÍS:	Ecuador	**PARROQUIA:**	Pujilí
PROVINCIA:	Cotopaxi	**DIRECCIÓN:**	Calle Olmedo
CANTÓN:	Pujili	**Código de Inventario SIPCE:**	IBI-05-04-50-000-000045

ORIGEN DE LA PATOLOGÍA		
Naturales	Tormentas/erupciones volcánicas	
Naturales	Movimientos sísmicos	
Antrópicos	Falta de inadecuada legislación	
Antrópicos	Falta de mantemientoperiódico	

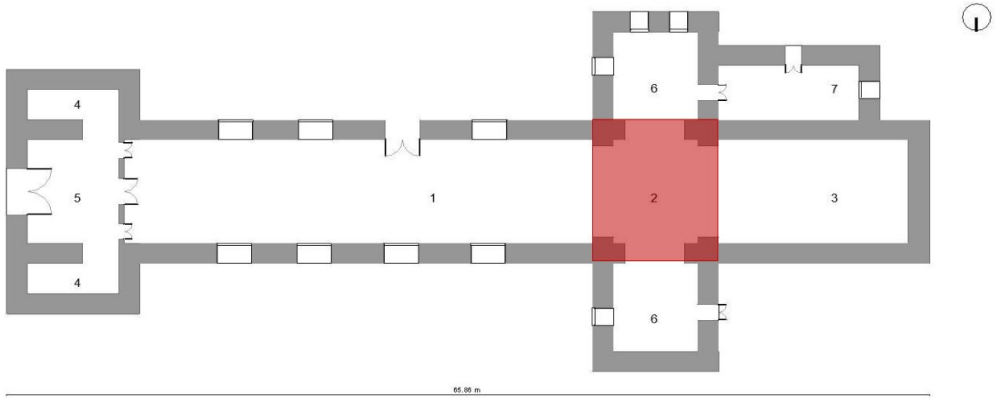
IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS- ARQUITECTÓNICOS

No.	UBICACIÓN	ELEMENTOS	MATERIALES	ACABADOS	EFECTOS	CAUSAS	UBICACIÓN
1	Cúpula	Extradós	Cerámica	Vidriado	Pérdida de Material	Desgaste Natural	Revestimiento
2	Cúpula	Intradós	Cerámica	Cerámica	Pérdida de pátina	Exposición Intemperie	Revestimiento
3	Cúpula	Intradós	Piedra pómez	Piedra pómez	Deterioro diferencial	Humedades	Intradós
4	Cúpula	Intradós	Piedra pómez	Piedra pómez	Fisuras y Grietas	Insuficiencia estructural	Piedra Pómez
5	Cúpula	Extradós	Piedra pómez	Piedra pómez	Arenización y disgregación granular	Humedades	Piedra Pómez

CLASIFICACIÓN DE LESIONES POR SU AGENTE

GRUPO	CAUSA	SUBGRUPO	DETALLE CAUSA
FÍSICAS	*Erosión*	Meteorización	
FÍSICAS	*Erosión*	Atmosférica	
FÍSICAS	*Humedad*	Humedad de Filtración	
MECÁNICAS	*Origen lesiones secundarias*	Consecuencia esfuerzos mecánicos	Por dilataciones y contracciones higrotérmicas
QUÍMICAS	*Organismos*	Vegetales	Vegetación parásita invasiva

Ubicación de Patologías



1. NAVE
2. CRUCERO
3. PRESBITERIO
4. CRIPTAS Y TORRES
5. NÁRTEX INGRESO
6. TRANSEPTOS CAPILLAS
7. SACRISTÍA

Fuente: INPC -Ficha SIPCE

Registro Fotográfico



Nota: Elaboración propia, basado en levantamiento fotográfico del INPC, 2016.

Por otra parte, las patologías identificadas en los estudios de consultoría previos a la última intervención técnica de la iglesia, así como las vulnerabilidades y acciones implementadas, fueron (Silva et al., 2020):

a) Mecánicas:

Fisuras:

- Fisuras longitudinales en la bóveda de cañón corrido de la nave principal y del crucero.
- Fisuras en muros que llegaban a cortar completamente el espesor, a pesar de superar el metro de grosor.

Deformaciones:

- Asentamientos en el piso del presbiterio, provocados por el taponamiento del sistema de desalojo de agua lluvia.

Desprendimientos:

- Disgregación de revocados mal consolidados que, con el tiempo, terminaban desprendiéndose.
- Deterioro y pérdida del vidriado del tejuelo, además resquebrajamiento por fisuras.

b) Físicas:

Humedad de filtración:

- Filtraciones de agua lluvia en las cubiertas, que generaban humedad en el interior de la iglesia.
- Deterioro de vigas de madera en el sistema constructivo de las losas catalanas, consecuencia de la humedad acumulada.

c) Químicas:

Eflorescencias:

- Floraciones de sales en arranques de bóvedas y capillas laterales.

Erosiones:

- Deterioro de piedra por factores naturales y antropogénicos, especialmente en elementos de piedra suave.

Organismos - Plantas:

- Proliferación de hongos, musgos y plantas en diversos sectores de los muros.
- Penetración radicular: las raíces crecían en las juntas, entraban al interior y actuaban como cuñas, con daños mecánicos y químicos.

Vulnerabilidades identificadas:

a) **Naturales:**

- **Actividad sísmica**: Históricamente documentado (sismos de 1949 y 1998).
- **Condiciones climáticas**: Temperatura media de 12,4°C y precipitaciones que afectan la impermeabilización.

b) **Antrópicas:**

- **Falta de mantenimiento preventivo**: En sistemas de evacuación pluvial.
- **Intervenciones inadecuadas**: Uso de materiales incompatibles en reparaciones anteriores (morteros de cemento Portland).

Acciones implementadas, última intervención (enero-agosto 2020):

a) **Tratamientos de consolidación en la cúpula:**

- **Inyecciones de consolidantes:** Lechada de cal con aditivo químico "Intraplaz Z-35".
- **Consolidación estructural con acero inoxidable en el intradós**: Sistema de varillas de 16 mm en configuración "espina de pez".
- **Consolidación química:** Aplicación de "SILRES BS OH 100 de WACKER" (material basado en silicona) el cual permite la consolidación de la piedra pómez y brinda protección contra la humedad

b) **Mejoras en impermeabilización:**

- **Reposición de Tejuelo (gres colombiano cortado):** El gres se lo trabaja en sitio se lo corta con el mismo formato del tejuelo existente.
- **Revocado:** Mortero tradicional de cemento + cal viva + arena de río + cangagua + impercril (aditivo para adherencia) 0.25+1.25+0.25+1.25+0.05
- **Sistema de drenaje**: Mejora del canal perimetral y evacuación pluvial.

3.2. Iglesia Catedral de Latacunga

La Catedral de Latacunga es un testimonio vivo de la historia, la fe y la resiliencia de la ciudad. Su evolución arquitectónica, marcada por reconstrucciones y adaptaciones, refleja los desafíos enfrentados por la comunidad y su inquebrantable espíritu. Como pieza central del patrimonio cultural y religioso de Latacunga, la Catedral es un símbolo de identidad y un recordatorio tangible de la rica historia de la región.

3.2.1. Contexto Histórico

La Catedral de Latacunga se encuentra ubicada en el corazón de la ciudad, entre las calles General Maldonado y Quito. Sus orígenes se remontan a la época colonial, y su construcción inicial data de mediados del siglo XVII (INPC, 2015a).

La historia de la Catedral está marcada por una serie de construcciones y reconstrucciones que reflejan la resiliencia de la comunidad latacungueña. La edificación original se levantó entre 1698 y 1757, pero el terremoto de 1768 la devastó. Tras ese desastre, la reconstrucción no empezó hasta 1830 y marcó el inicio de una nueva etapa para la Catedral (ver Tabla 9). En 1850 se emprendió una nueva edificación, que dejó una base con dos cruceros y una capilla. Entre 1850 y 1935 la Catedral tuvo dos reconstrucciones importantes, que incluyeron el atrio y la capilla presbiterial derecha. A finales del siglo XIX, se añadió un elemento distintivo: un torreón con arquerías y remate islámico, que le dio a la Catedral su perfil actual (GoRaymi, 2024; INPC, 2015a).

Tabla 9
Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Antigüedad"

Antigüedad				**Puntuación**	
Prehispánica hasta 1534	PH	PH	15		
Colonial siglo XVI - XIX (1534-1829)	CO	CO	15	x	15
Republicana 1 - Siglo XIX (1830-1900)	RP1	RP1	12		
Republicana 2 - Siglo XX (1901-1960)	RP2	RP2	8		
Republicana 3 - Siglo XX-XXI (1961-1980)	RP3	RP3	4		
			Total	**15**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

Características Arquitectónicas

La Catedral de Latacunga tiene una arquitectura de influencia tradicional (INPC, 2015a).; su plano se basa en tres naves orientadas de norte a sur, una disposición que se ha respetado a lo largo de sus múltiples reconstrucciones. La reconstrucción de 1850 añadió dos cruceros y una capilla, enriqueciendo su estructura. La Catedral remata en dos torres gemelas y una cúpula octogonal, inspirada en la de San Pedro de Roma, que le da grandeza al perfil.

En la construcción de la Catedral se emplearon técnicas y materiales locales. Los cimientos son de piedra molón, sobre los que se asientan muros portantes de piedra pómez y ladrillo, y los pisos son de madera. La bóveda y la cúpula cubren la nave principal. En el interior hay

un altar trabajado en piedra pómez, como una obra de arte de los artesanos locales. El torreón, además de su función estética, tiene un carrillón, un conjunto de campanarios que marca las horas y anuncia las eucaristías con su melodía sobre Latacunga.

La fachada, que da a la calle Quito, tiene una composición limpia, sin exceso de elementos decorativos. Esta sobriedad contrasta con la riqueza interior del templo y refleja una estética que prioriza la elegancia y la simplicidad. La fachada lateral norte, que da hacia la plaza principal, se destaca por su acertada composición de vanos y domos circulares de sus bóvedas. El edificio, en su totalidad blanco y noble, expresa a propios y extraños su puritana y eclesiástica cultura colonial y republicana, convirtiéndose en un símbolo elocuente y sereno en el paisaje físico y urbano de la ciudad (ver Tabla 10).

Incluye pórticos invertidos de 220 por 100 cm de escuadría, amarrados en su parte superior por dos estribos que recorren la longitud de la nave principal. Este sistema estructural está diseñado para contrarrestar los empujes de la bóveda, lo cual es una técnica bastante sofisticada para la época.

Figura 20
Iglesia La Catedral de Latacunga



Nota. Tomado del *repositorio de imágenes istockphoto.com/* de Markpittimages, 2018

En el lado suroccidental se construyó una capilla conmemorativa para honrar a las figuras que se han destacado por su servicio a Cotopaxi, ampliando la función de la Catedral como lugar de culto. Destaca la puerta de hierro que da acceso a este espacio, la cual es una réplica de la que existe en la capilla del Santísimo.

Tabla 10

Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Entorno urbano natural"

Entorno urbano natural				**Puntuación**	
Integrada tramo homogéneo con valor	ITHOV	ITHOV	10	x	10
Integrada tramo homogéneo	ITHO	ITHO	8		
Tramo homogéneo	THO	THO	7		
Tramo heterogéneo	THE	THE	3		
Destaca en tramo	DT	THO+NINT	5		
No integrada al tramo	NINT	THE+NINT	1		
Integrada entorno natural	IEN	THE+CAUMT	5		
Conserva el ambiente utiliza materiales tradicionales	CAUMT	CAUMT+IEN	5		
		IEN	3		
			Total	**10**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

Importancia Histórica y Cultural

La Catedral de Latacunga es un símbolo de la identidad y la fe de los latacungueños. Su importancia histórica y cultural se ve en varios aspectos.

Primero, la Catedral fue el centro de la campaña de evangelización de los Agustinos (InfoTurismo, 2019). Desde aquí se coordinaron los esfuerzos de adoctrinamiento que llegaron a sitios nativos como Sigchos, Isinliví, Angamarca, Pangua, Poaló, Cusubamba, Salache, San Agustín del Callo y Barracas.

La historia de la Catedral es también un relato de resiliencia ante los desastres naturales. Los terremotos de 1768 y 1797 causaron daños importantes, pero cada vez la comunidad se unió para reconstruir y mejorar el edificio. Esas reconstrucciones devolvieron la estructura física y reforzaron el papel de la Catedral como símbolo de perseverancia y unidad de la comunidad (ver Tabla 11).

Tabla 11

Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Histórico-testimonial-simbólico"

Histórico-testimonial-simbólico				**Puntuación**	
Valor simbólico socio cultural (identidad)	VHSC	VHSC	10	x	10
Inmueble de interés histórico testimonial	IIHT	IIHT	8		
Hito urbano	HU	HU	6		
Autor representativo	AR	AR	4		
Distinciones del inmueble	DI	DI	6		
Innovación tecnológica significativa	ITS	ITS	4		
			Total	**10**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

El interior de la Catedral es un museo vivo de la evolución del arte sacro en la región, que guarda obras artísticas e imágenes coloniales relacionadas a la historia de la fe y la cultura local.

Recientemente la Catedral ha sido objeto de trabajos de restauración y ornamentación, como los realizados en 1975 (INPC, 2015a). Estas intervenciones demuestran el compromiso continuo de la comunidad con la preservación de su patrimonio cultural y religioso.

3.2.2. Valoración Funcional

El inmueble se ubica en el área de primer orden del centro histórico de la ciudad de Latacunga, con una tipología y morfología de iglesia. Actualmente es un hito arquitectónico y urbano de la ciudad y la provincia; conservando su uso original. La cúpula cumple la función de cobertura del crucero, presenta accesibilidad hacia el cupulín mediante gradas que se localizan en el extradós; la cúpula permite el paso de iluminación cenital a través de ocho ventanas ubicadas cupulín y en el tambor.

Tipología: Arquitectura Monumental Religiosa (Catedral)

Uso original: Culto religioso

Uso actual: Culto religioso

Configuración espacial actual:

La Catedral de Latacunga presenta una planta arquitectónica en forma de cruz latina, diseño característico de la arquitectura religiosa colonial. Esta configuración comprende:

- **Nave principal**: Espacio longitudinal central para la congregación.
- **Crucero**: Intersección transversal que forma los brazos de la cruz.
- **Capillas laterales**: Ubicadas en los extremos del crucero.
- **Zona del Altar**: Situada en el ábside, donde se localiza el retablo mayor.
- **Accesos múltiples**: Tres accesos estratégicamente distribuidos (principal frontal, lateral derecho e izquierdo).

Mejoras funcionales implementadas:

- **Renovación del sistema de pisos** con re-entablado de madera tratada y nueva, con tratamiento preservante termiticida e insecticida biodegradable a base de piretrinas sintéticas (Lozano, 2021).
- **Mejoramiento del sistema de desagüe** con tubería PVC 110 mm y limpieza de bajantes.

- **Mantenimiento de estructura de ventanas** metálicas y renovación de vitrales con vidrio catedral.

Estado de conservación funcional actual: Mantiene íntegramente su función religiosa original.

Tabla 12
Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Tipológico funcional"

Tipológico funcional				**Puntuación**	
Conserva identificación tipológica	CIT	CIT+CUO	5	x	5
Conserva uso original	CUO	CIT+CUO+AM	4		
Nuevo uso	UN	CIT+CUO+AA	2		
Nuevo uso no compatible	NUNC	CIT+AM	3		
Alteraciones medias	AM	CIT+AA	1		
Alteraciones altas	AA	CIT+NUNC	1		
		CIT+NUNC+AM	1		
		CIT+UN	3		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.2.3. Valoración Morfológica

Presenta una escala arquitectónica (monumental) y estilo ecléctico. Mantiene el diseño de sus elementos constructivos, la utilización de materiales tradicionales, y conserva la forma con que fue concebido. Consta de una amplia nave con un crucero y una cúpula octogonal.

Desde el aspecto de diseño se determina la aplicación de categorías de la forma plástica, como es el caso del equilibrio simétrico, simetría axial, destaque, ritmo arquitectónico, aplicados en llenos y vacíos. Se observa la presencia de texturas lisas y rugosas propia de la piedra. Respecto a la escala, el edificio es clasificado como grande o monumental, en función de su tamaño respecto a las edificaciones que se localizan en el contexto urbano inmediato edificado y a la escala humana.

Estilo dominante: Tradicional

Época: Colonial XVI - XIX (Construcción) **-** Republicana XIX (reconstrucción en 1830)

Elementos compositivos:

- **Fachada**: Recta con elementos decorativos en piedra vista
- **Volumetría:** Un solo piso con cúpulas destacadas
- **Color:** Blanco con piedra vista
- **Textura:** Rugosa (piedra pómez natural)

Elementos ornamentales: Arco de medio punto, balaustrada, cornisa, pináculos, vanos enmarcados

Intervenciones morfológicas recientes:

- **Retiro y reposición de enlucidos** deteriorados con mortero cemento-cal-arena (1:1:4), donde la dosificación aplicada fue (1:1:4) (Lozano, 2021).
- **Reparación especializada de cornisas y molduras** con materiales similares al original (Lozano, 2021).
- **Aplicación de pintura de caucho** en superficies interiores y exteriores

Estado de conservación morfológica: Sólido, con procesos de restauración que preservan la autenticidad arquitectónica.

Tabla 13
Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Estético formal"

Estético formal				**Puntuación**	
Identificación estilística	IE	IE+CF	5	x	5
Composición formal	CF	IE+CF+AM	3		
Alteraciones altas	AA	IE+CF+AA	2		
Alteraciones medias	AM	IE+AM	2		
		CF+AM	1		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.2.4. Valoración Técnico-constructiva

La edificación presenta un sistema constructivo tradicional basado en la utilización de piedra molón en la cimentación, muros portantes de ladrillo y piedra pómez, la nave es cubierta con la bóveda y cúpula; aplicación de madera en el piso. El recubrimiento de las bóveda y cúpula fue remplazado con tejuelo de arcilla instalado con cemento portland, cal y arena de río lavada en proporción 1:3:6 con revocado de mezcla de puzolana roja, cementina y cemento 4:4:; integrando elementos constructivos modernos, como varillas metálicas para el reforzamiento estructural en bóvedas.

Sistema constructivo: Sistema abovedado tradicional con cúpula recubierta mediante tejuelos de arcilla y reforzada estructuralmente con varillas metálicas.

Sistema de reforzamiento estructural

La Catedral de Latacunga presenta un sistema de cúpulas recubiertas con tejuelo vidriado sobre una estructura de piedra pómez (Lozano, 2021).

Figura 21

Sistema de cubiertas y cúpula principal de la Iglesia Catedral de Latacunga



Nota: De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: a) Vista general del conjunto arquitectónico mostrando la cúpula octogonal; b) Proceso de consolidación mediante aplicación de mortero especializado en la linterna; c) Sistema de recubrimiento con tejuelo decorativo multicolor sobre la cúpula; d) Ejecución de perforaciones de precisión para el sistema de reforzamiento estructural los trabajos incluyeron inyecciones de mortero hidráulico de cal. Elaboración propia basada en levantamiento fotográfico del INPC, 2022 (b-d) y 2025 (a).

Sistema de cubierta principal:

- **Bóveda de cañón corrido:** La nave principal está cubierta por una bóveda de cañón corrido construida en mampostería de piedra, constituyendo el elemento estructural dominante del templo

- **Cúpula octogonal en el crucero:** En el punto de intersección de las naves se eleva una cúpula octogonal que proporciona amplitud espacial al crucero

- **Crucero con naves laterales:** Sistema de crucero que se interseca con la nave principal, creando la configuración característica del estilo románico

- **Material de construcción:** Mampostería de piedra y piedra pómez según el elemento estructural.

    - Bóveda: mampostería de piedra
    - Torreón: mampostería de piedra pómez
    - Muros: mampostería de piedra y piedra pómez

Elementos de reforzamiento identificados:

- **Crucería estructural:** La bóveda presenta un sistema de crucería que distribuye las cargas hacia los elementos de apoyo.

- **Muros portantes:** Grandes muros soportantes de mampostería que sostienen el sistema de bóvedas de la nave principal y crucero.

- **Torreón con base de piedra:** Torre campanario con bases de piedra pómez que requirió intervención especializada por deterioro del material.

Sistema de cubiertas:

- **Recubrimiento:** Tejuelo de 15 x 15 cm decorativo con patrones multicolores, sobre masillado impermeabilizante, con sistema de drenaje mediante canales y bajantes.

- **Caminería:** Recubrimiento de gres 20 x 20 cm para caminería, incluyendo cabezas de muro y losa catalana.

Reforzamientos ejecutados (2021-2022):

- **Sistema “espina de pez”:** Reforzamiento estructural con varillas de acero inoxidable de 16 mm mediante perforación vertical y horizontal de la mampostería, con adherencia usando mortero especializado. Aplicado en bóvedas de cañón corrido y crucería para la consolidación de las fisuras identificadas.

- **Inyecciones de consolidación:** Inyecciones de mortero hidráulico de cal e inyecciones de reforzamiento cemento-arena 1:1 con aditivos para la consolidación de fisuras y grietas de carácter estructural.

- **Consolidación de piedra en torreón:** Reintegración de piedra dañada mediante calas de prospección y posterior aplicación de consolidante líquido a temperaturas controladas de 3 a 4 grados centígrados para generar una capa protectora que permite la transpiración natural de la piedra.

- **Renovación del sistema de impermeabilización:** Retiro de masillado deteriorado y aplicación de nuevo sistema con malla electrosoldada 5:15 de 5 mm como refuerzo, garantizando la protección ante inclemencias climáticas.

Estado de conservación técnico-constructivo actual: sólido, debido al uso de tecnología y materiales contemporáneos (ver Tabla 14).

Tabla 14
Valoración actual de la Iglesia Catedral de Latacunga, componente "Técnico constructivo"

Técnico constructivo				**Puntuación**	
Tecnología y materiales tradicionales	TMT	TMT	5	x	5
Tecnología y materiales contemporáneos	TMC	TMT+ECR	4		
Tecnología y materiales mixtos	TMX	TMT+ECM	2		
Estado de conservación regular	ECR	TMT+SMTM	3		
Estado de conservación malo	ECM	TMT+SMTA	1		
Sustitución materiales y tecnología alto	SMTA	TMT+STMM+ECR	2		
Sustitución materiales y tecnología medio	SMTM	TMC	3		
		TMC+ECR	2		
		TMC+SMTM	1		
		TMX	2		
		TMX+ECR	1		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.2.5. Patologías

Las patologías identificadas en varias visitas de control técnico efectuadas por el autor (como restaurador zonal del INPC) previas a la última intervención técnica de la cúpula fueron: lesiones físicas y mecánicas localizadas en el intradós y extradós, cuya ubicación, identificación y clasificación se describe en la siguiente ficha de análisis de patologías (ver Figura 22):

Figura 22

Ficha de Análisis de Patologías - Iglesia Catedral de Latacunga

FICHA DE ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS

Ficha Nº: 02	**Denominación del Inmueble Patrimonial:**	Iglesia La Catedral	
PAÍS:	Ecuador	**PARROQUIA:**	La Matríz
PROVINCIA:	Cotopaxi	**DIRECCIÓN:**	Calle General Maldonado
CANTÓN:	Latacunga	**Código de Inventario SIPCE:**	IBI-05-01-04-000-000103B

IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS- ARQUITECTÓNICOS

No.	UBICACIÓN	ELEMENTOS	MATERIALES	ACABADOS	EFECTOS	CAUSAS	UBICACIÓN
1	Cúpula	Extradós	Cerámica	Vidriado	Pérdida de Material	Desgaste Natural	Revestimiento
2	Cúpula	Extradós	Cerámica	Cerámica	Pátinas de suciedad	Exposición Intemperie	Estradós
3	Cúpula	Intradós	Yeso	Pintura	Fisuras y Grietas	Insuficiencia estructural	Intradós

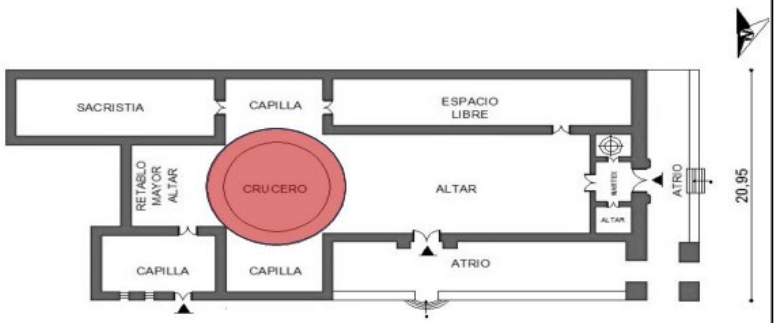
ORIGEN DE LA PATOLOGÍA

Naturales	Tormentas/erupciones volcánicas	
Naturales	Movimientos sísmicos	
Antrópicos	Abandono, Negligencia, Ignorancia	
Antrópicos	Falta de mantemientoperiódico	

CLASIFICACIÓN DE LESIONES POR SU AGENTE

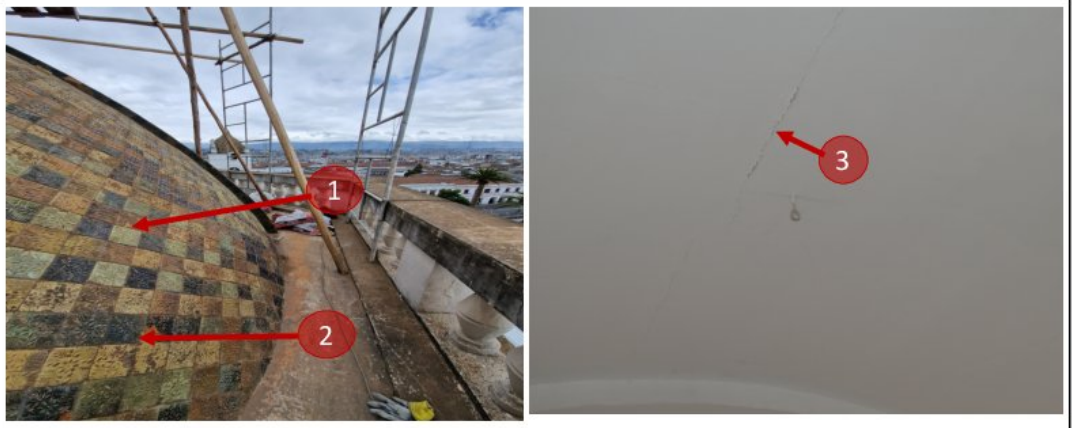
No.	GRUPO	CAUSA	SUBGRUPO	DETALLE CAUSA
1	*FÍSICAS*	*Suciedad*	Ensuciamiento por depósito	
2	*FÍSICAS*	*Erosión*	Meteorización	
3	*MECÁNICAS*	*Origen lesiones secundarias*	Grietas	Por dilataciones y contracciones higrotérmicas

Ubicación de Patologías



Fuente: INPC -Ficha SIPCE

Registro Fotográfico



Nota: Elaboración propia, basado en levantamiento fotográfico del INPC, 2021.

Por otra parte, las patologías identificadas en los estudios de consultoría previos a la última intervención técnica de la iglesia, así como las vulnerabilidades y acciones implementadas, fueron (Lozano, 2021):

a) **Mecánicas:**

Fisuras y grietas:

- Fisuras y grietas en bóvedas y cúpula, con aberturas desde 3 mm hasta 5 mm, originadas por esfuerzos estructurales.

b) **Químicas:**

Eflorescencias:

- Presencia de sales cristalizadas en diversas superficies de la edificación.

Organismos - Plantas:

- Proliferación de líquenes, hongos y vegetación sobre la cubierta, favorecida por las condiciones de humedad.

Acciones implementadas, última intervención (diciembre 2021-junio 2022):

a) **Tratamientos de consolidación en cúpulas:**

- **Inyecciones de mortero hidráulico de cal:** Intervención para grietas hasta 5mm con mortero en proporciones de: cal hidratada 3, puzolana roja o café 1, cemento Portland 1, arena de río lavada 2, aditivo estabilizador 2% del peso del cemento, agua 3.

- **Consolidación estructural con acero inoxidable en el intradós**: Sistema de varillas de 16 mm en configuración “espina de pez”.

- **Enlucido mortero cemento-cal-arena (1:1:4) tumbado:** Conformación de revestimiento uniforme con un espesor de 15 a 25 mm con dosificación de (arena 1, cal 1, arena 4).

b) **Mejoras en impermeabilización:**

- **Masillado de cubierta mortero e impermeabilizante:** Masillado de espesor promedio de 25 mm con relación cemento arena 1:3, el impermeabilizante tipo Sika 1 o similar.

- **Tejuelo de 15 x 15 para recubrimiento:** Tejuelo de arcilla quemada en horno que supere los 100ºC; instalado con cemento Portland, cal o cementina y arena de río lavada en proporción 1:3:6. El revocado con mezcla de puzolana roja, cementina y cemento 4:4:1.

3.3. Basílica de Riobamba

La Basílica del Sagrado Corazón de Jesús de Riobamba, ubicada en el área de primer orden del Centro Histórico, frente al Parque La Libertad, se erige como un testimonio vivo de la fe, la cultura y la historia de la ciudad, destacando tanto por su grandiosa cúpula central como por sus dos torres incompletas y su rica ornamentación interna, que incluye altares barrocos y una serie de iconos religiosos. Este monumento es una joya del patrimonio cultural del Ecuador, y un reflejo del legado jesuita en América Latina.

3.3.1. Contexto Histórico

El Contexto Histórico de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús en Riobamba se ubica en un periodo periodo marcado por la influencia jesuita en la ciudad, a finales del siglo XIX y principios del XX. La construcción de esta obra arquitectónica fue impulsada por la visión del Padre Jesuita Manuel Proaño en 1874, quien propuso edificar un templo en honor al Sagrado Corazón de Jesús, en conmemoración de la Consagración de la República al Sagrado Corazón.

Figura 23

Basílica de San Ignacio de Loyola (Azpeitia) y la Basílica del Sagrado Corazón (Riobamba)



Nota. Tomado del *blog www.sansebastian.travel/santuario-de-loyola/* / Fuente propia

El proyecto de la Basílica tomó forma bajo la dirección de varios líderes religiosos, incluido el Padre Luciano Navarro, quien presentó el proyecto en 1879. Este fue aprobado por la curia y recibió el apoyo del Congreso Nacional en 1882. La construcción comenzó formalmente el 26 de agosto de 1883 (ver Tabla 15), dirigida inicialmente por el Padre Alejandro Cáceres y luego por el Hermano Ramón Lecanda, un arquitecto jesuita cuyo diseño se inspiró en la Basílica de San Ignacio de Loyola en Azpeitia, España (ver Figura 23).

La Basílica tiene un estilo arquitectónico ecléctico. Era un patrón que la Compañía de Jesús seguía en sus obras en todo el mundo: una mezcla de elementos del barroco y del renacimiento. Su construcción tardó 32 años y empleó mano de obra local, especialmente de indígenas especializados en carpintería, albañilería y tallado de piedra, bajo la dirección de los jesuitas. Para alivianar la cúpula central se empleó piedra pómez tejida con pedazos de alambre en forma de grapas.

Tabla 15

Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Antigüedad"

Antigüedad				**Puntuación**	
Prehispánica hasta 1534	PH	PH	15		
Colonial siglo XVI - XIX (1534-1829)	CO	CO	15		
Republicana 1 - Siglo XIX (1830-1900)	RP1	RP1	12	x	12
Republicana 2 - Siglo XX (1901-1960)	RP2	RP2	8		
Republicana 3 - Siglo XX-XXI (1961-1980)	RP3	RP3	4		
			Total	**12**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

La historia de su construcción puede dividirse en tres periodos (Aguirre, 2016; San Felipe Neri, 2020):

Primer período: La construcción comenzó el 26 de agosto de 1883, bajo la dirección del padre Alejandro Cáceres. Durante esta fase se levantaron los cimientos, la fachada principal, las paredes laterales y las sacristías. En total se levantaron 2.737,63 metros cúbicos de pared, con 561,15 metros cúbicos de piedra labrada para la fachada y 2.718,48 metros cúbicos de cal y ladrillo para el cuerpo del templo; la piedra procedía de las minas de Gatazo y se talló según los moldes proporcionados.

Segundo período: Este período estuvo marcado por interrupciones: murió el Hermano Lecanda en 1891 y el Padre Luciano Navarro fue trasladado a Guayaquil. La falta de recursos económicos paralizó por completo la obra. Se intentó contratar a un nuevo arquitecto en 1893, pero la dificultad de traerlo desde Bolivia lo impidió.

Tercer período: En 1892 se formó un comité de señoras piadosas para reactivar la construcción, recaudando en diez meses un total de 1.265,96 sucres; la obra recibió además una subvención del gobierno. Sin embargo, la Basílica no pudo inaugurarse en 1893 como se esperaba. En mayo de 1914, gracias a varias donaciones de la comunidad, la construcción pudo avanzar, pero sin cumplirse con los plazos previstos.

La Basílica finalmente se inauguró en 1915 aunque algunos elementos del proyecto original, como las torres, nunca se completaron. Ha sido objeto de diversas restauraciones, siendo la más significativa en 1950, dirigida por Eric F. Schwarz.

Características Arquitectónicas

La Basílica presenta una arquitectura imponente con varios elementos que la distinguen (INPC, 2018):

- Dos naves principales
- Dos sacristías
- Un altar mayor de estilo barroco
- Un vestíbulo
- Una rotonda central coronada por la cúpula principal

Tabla 16
Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Entorno urbano natural"

Entorno urbano natural				**Puntuación**	
Integrada tramo homogéneo con valor	ITHOV	ITHOV	10	x	10
Integrada tramo homogéneo	ITHO	ITHO	8		
Tramo homogéneo	THO	THO	7		
Tramo heterogéneo	THE	THE	3		
Destaca en tramo	DT	THO+NINT	5		
No integrada al tramo	NINT	THE+NINT	1		
Integrada entorno natural	IEN	THE+CAUMT	5		
Conserva el ambiente utiliza materiales tradicionales	CAUMT	CAUMT+IEN	5		
		IEN	3		
			Total	**10**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

En el centro del altar mayor hay una imagen del Corazón de Jesús, eje de la devoción en este templo. La cúpula principal remata en una cruz de 4 metros de altura, símbolo visible de la fe desde varios puntos de la ciudad (ver Tabla 16).

Importancia Histórica y Cultural

La Basílica del Sagrado Corazón de Jesús de Riobamba es uno de los monumentos religiosos más significativos del Ecuador por su conexión directa con la identidad nacional. Su construcción comenzó a raíz de la consagración de la República al Sagrado Corazón de Jesús, por iniciativa del P. Manuel José Proaño, y se volvió así un símbolo tangible de la fe católica que definió a la nación ecuatoriana desde finales del siglo XIX. Conmemora ese acto histórico fundacional y materializa el vínculo entre la religiosidad popular y la construcción del Estado ecuatoriano bajo la presidencia de Gabriel García Moreno.

Desde el punto de vista arquitectónico y cultural, la Basílica es una obra excepcional que tardó 32 años en completarse (1883-1915). Los planos fueron concebidos por el hermano jesuita Ramón Lecanda a semejanza de "La Rotonda" del valle de Azpeitia en España, representando un retorno a los órdenes clásicos de la arquitectura en el Ecuador (Aguirre, 2016). Su construcción involucró a toda la comunidad riobambeña, especialmente a artesanos indígenas especializados en carpintería, albañilería, tallado en piedra y otras artes constructivas, convirtiendo el proceso constructivo en una expresión de mestizaje cultural y técnico que caracteriza al patrimonio ecuatoriano.

La importancia de la Basílica trasciende lo religioso para convertirse en un referente de identidad regional y nacional (ver Tabla 17). Es conocida por ser la única iglesia circular en Ecuador (De la Guardia, 2025), lo que la distingue arquitectónicamente del resto del patrimonio religioso del país. Alberga elementos simbólicos fundamentales como la estatua de Cristo Rey, erigida en conmemoración del centenario de la Primera Constituyente de 1830, llevando inscripciones de la Primera Carta Fundamental del Estado que reafirman su

papel como símbolo de la memoria histórica ecuatoriana (Aguirre, 2016). Su ubicación en el centro histórico de Riobamba, junto al Colegio San Felipe Neri regentado por los jesuitas, la consolida como un complejo cultural que ha influido en la educación y formación de valores de múltiples generaciones de ecuatorianos.

Tabla 17
Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Histórico-testimonial-simbólico"

Histórico-testimonial-simbólico				**Puntuación**	
Valor simbólico socio cultural (identidad)	VHSC	VHSC	10	x	10
Inmueble de interés histórico testimonial	IIHT	IIHT	8		
Hito urbano	HU	HU	6		
Autor representativo	AR	AR	4		
Distinciones del inmueble	DI	DI	6		
Innovación tecnológica significativa	ITS	ITS	4		
			Total	**10**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.3.2. Valoración Funcional

La cúpula de la Basílica de Riobamba conserva su identificación tipológica debido a que mantiene su diseño y atributos originales. Es un elemento que expresa y trasmite el simbolismo espiritual del cristianismo; representa en su pintura mural a los cielos para recordar la belleza y grandeza de Dios. La cúpula posee un tambor en el que se ubican llenos y ocho vacíos que se constituyen en ventanas las cuales permiten el ingreso de luz cenital; al interior de la cúpula, en la base del tambor, se localiza un balcón corrido con barandillas de madera, cuya función es dar accesibilidad al sector interior de la cúpula (intradós).

La distribución espacial se organiza en torno a la rotonda central, donde la cúpula principal actúa como elemento articulador del espacio litúrgico, proporcionando tanto soporte estructural como significado simbólico (Aguirre, 2016).

Tipología: Arquitectura Monumental Religiosa (Basílica)

Uso original: Culto religioso

Uso actual: Culto religioso

Características funcionales:

- **Distribución espacial específica:** En la planta central los muros forman un octaedro regular hacia el perfil exterior y en el interior la planta forma un círculo en el que se distribuyen en forma radial 8 pilastras que son coronadas por una rotonda y una altísima cúpula central. La planta es circular con un diámetro de 30 m que está rodeada por ocho arcos, dejando un espacio central entre pilastras de 15 m de diámetro, rematada por una majestuosa cúpula y una airosa linterna (Aguirre, 2016).

- **Distribución funcional:**

    - **Dos naves:** Con distribución espacial compleja
    - **Dos sacristías:** Para funciones litúrgicas diferenciadas
    - **Altar mayor:** De estilo barroco con imagen del Corazón de Jesús
    - **Dos torres:** Con vestíbulo de acceso
    - **Rotonda central:** Con cúpula principal de 4 metros de altura

Estado de conservación funcional actual: Mantiene íntegramente su función basilical original.

Tabla 18
Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Tipológico funcional"

Tipológico funcional				**Puntuación**	
Conserva identificación tipológica	CIT	CIT+CUO	5	x	5
Conserva uso original	CUO	CIT+CUO+AM	4		
Nuevo uso	UN	CIT+CUO+AA	2		
Nuevo uso no compatible	NUNC	CIT+AM	3		
Alteraciones medias	AM	CIT+AA	1		
Alteraciones altas	AA	CIT+NUNC	1		
		CIT+NUNC+AM	1		
		CIT+UN	3		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.3.3. Valoración Morfológica

La cúpula se encuentra constituida por tres cuerpos: el tambor, la semiesfera y la linterna. Existen elementos decorativos en el tambor y en la linterna que son propios de la influencia del estilo barroco sobrio, por la utilización de columnas clásicas con ornamentación superficial y con influencias del orden Jónico, y que de igual manera son aplicados en las pilastras que se encuentran a manera de encuadramiento de los vanos. En los remates del tambor y de la linterna se localizan molduras tipo filetes (listel) acompañadas con una banda denticular.

Estilo dominante: Ecléctico

Época: Republicana (1833-1915)

Elementos compositivos destacados:

Volumetría y composición:

- **Dos pisos:** con cúpula central dominante en el perfil urbano

- **Fachada retranqueada:** con composición monumental

- **Color:** Verde con elementos pétreos naturales
- **Sistema de cupulinos:** con cruz de 4 metros

Elementos ornamentales:

- **Columnas de piedra:** con capiteles
- **Óculo central:** con frisos y cornisas
- **Arcos decorativos:** en puertas y ventanas

Características específicas del tambor y cúpula: El tambor en el que descansa la cúpula es luminoso: en él se abren ocho grandes ventanas. Las paredes entre las ventanas están ricamente ornamentadas, igual que las pilastras que separan cada paño y sobre las que se apoya la nervuda de la cúpula (Aguirre, 2016).

Singularidades arquitectónicas: La cúpula central domina la composición; se ve desde varios puntos de la ciudad y funciona como hito urbano de referencia.

Estado de conservación morfológica: Sólido, con procesos de restauración que preservan la autenticidad arquitectónica.

Tabla 19
Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Estético formal"

Estético formal				**Puntuación**	
Identificación estilística	IE	IE+CF	5	x	5
Composición formal	CF	IE+CF+AM	3		
Alteraciones altas	AA	IE+CF+AA	2		
Alteraciones medias	AM	IE+AM	2		
		CF+AM	1		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.3.4. Valoración Técnico-constructiva.

Para la construcción de la cúpula se emplearon materiales propios de la zona o región, en este caso como principales se tiene a la tierra, piedra, cal, madera.

La base presenta estructura de ladrillo; el Nervio de hormigón a base de cal/arena de ochenta centímetros de ancho (Aguirre, 2016). Para el alivianamiento de la cúpula central se usó piedra pómez tejida con pedazos de alambre en forma de grapas; la pintura externa es de caucho tipo permalatex de que según la sensación óptica se encuentra en la gama de los colores cálidos en la gama de los amarillos y de los marrones. El recubrimiento de la cúpula central fu reemplazado con la ubicación de cerámica tipo Grayman de 10 x 10 cm con tramas y colores que según la sensación térmica que genera corresponden al grupo de los colores cálidos en la gama de los amarillos y marrón.

Sistema constructivo: Sistema mixto de muros portantes de piedra y ladrillo con técnicas innovadoras de alivianamiento estructural.

Técnica constructiva innovadora: El alivianamiento de la cúpula central con piedra pómez tejida con pedazos de alambre en forma de grapas fue una innovación pionera en la región: optimiza el comportamiento estructural, reduce de forma significativa el peso propio, mantiene la resistencia mecánica necesaria y facilita la construcción en altura (Aguirre, 2016).

Materiales empleados: Esta arquitectura utiliza materiales propios de los sitios de desarrollo. En el caso de Riobamba, tenemos entre los principales: tierra, piedra, cal, madera, carrizo, suro, chaguarquero, paja de páramo, piel (cabestros) y huesos (vértebras) de animales vacuno, entre otros. El material empleado eran piedras traída en mingas, desde las minas de Gatazo, descubiertas por el Padre jesuita Manuel Guzmán (Aguirre, 2016).

Sistema de reforzamiento estructural

La Basílica de Riobamba presenta el sistema de cúpula más avanzado tecnológicamente de las tres edificaciones estudiadas. El sistema cupular se caracteriza por una técnica constructiva innovadora que incorpora elementos de alivianamiento estructural pioneros en la región (Aguirre, 2016).

Sistema de cubierta principal:

- **Cúpula central elíptica:**
    - **Dimensiones**: Diámetro de 16 m, altura desde el piso hasta la base del cimborrio de 19 m, hasta la base de la linterna 30 m, altura total de 36 m
    - **Configuración**: Cúpula elíptica octogonal de base con linterna de 6 m de altura rematada con cruz de 4 m
    - **Técnica de alivianamiento innovadora**: Piedra pómez tejida con pedazos de alambre en forma de grapas para reducir el peso estructural - técnica constructiva pionera en la región
    - **Tambor luminoso**: Con ocho grandes ventanas para iluminación natural
    - **Anillo perimetral estructural**: Banda de hormigón simple de 20cm al tercio de la altura que arriostra y mejora el confinamiento de los nervios existentes
    - **Sistema de nervios convergentes**: Nervios de hormigón a base de cal de 80cm de ancho que convergen al óculo central donde se unen con un pequeño anillo que cierra la estructura

- **Sistema de cupulines complementarios:**
    - **Cupulines elípticos con linterna**: Para iluminación de altares laterales
    - **Cupulines media naranja sin linterna**: Ubicados en el deambulatorio
    - **Sistema constructivo uniforme**: Construidos con el mismo criterio de la cúpula central (anillo de hormigón simple en arranque y final)

Elementos estructurales de soporte: Sistema de pilastras y arcos

- **Ocho pilastras principales**: De 2m x 2m que soportan los arcos torales.
- **Pilastras del tambor**: De mampostería portante de ladrillo con espesor que varía entre 1.00-1.20m con molduras sobresalidas que forman la estructura base y arranque de la cúpula.
- **Arcos torales**: Que nacen de las pilastras y soportan la cúpula central.
- **Planta octogonal**: Los muros forman un octaedro regular hacia el exterior y círculo interior.
- **Espacio central**: 15 m de diámetro entre pilastras, rodeado por 30 m de diámetro total.

Sistema de confinamiento y arriostramiento:

- **Muros portantes mixtos**: De piedra y ladrillo que actúan como contrafuertes para las cargas cupulares.
- **Sistema de apoyo cupular**: Los cupulines, cúpula y cubierta actúan como amortiguadores y soportes laterales de los muros de mampostería.
- **Losetas de conexión**: Cubierta de losetas planas de espesor 15cm que unen los cupulines y permiten el acceso a la cúpula central.

Sistema de bóvedas y cubiertas:

- **Bóvedas interiores:**
  - **Tránsitos**: Acabados en bóvedas que se apoyan en arcos formeros transversales.
  - **Apoyo**: Los arcos se apoyan en ménsulas y pilastras.
  - **Iluminación**: Lucernas bajo cada arco para destacar espacios sobre altares.

Reforzamientos y restauraciones históricas:

- **Primera restauración (1950):**
  - **Intervención en cúpula central**: Sustitución del globo de más de un metro de diámetro y remodelación del cupulín de remate.
  - **Recubrimiento**: Cúpulas cubiertas con baldosa de cemento (posteriormente se desprendió).

- **Segunda restauración (1979-1982):**
  - **Fase exterior**: Desalojo de materiales, impermeabilizaciones y recubrimiento final
  - **Criterio**: Conservar colores originales y apariencia histórica
  - **Fase interior**: Restauración de cúpulas laterales, altar mayor y nueva decoración
  - **Iluminación**: Reinstalación completa del sistema eléctrico con técnicas modernas

Figura 24

Sistema de cubiertas y cúpula principal de la Iglesia Basílica de Riobamba



Nota: De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: a) Vista aérea del sistema cupular completo: cúpula elíptica con apoyo vertical (tambor) y linterna (16m); b) Intradós de la cúpula con desprendimientos de estratos y capa pictórica; c) Colocación de mangueras para aplicación de inyecciones de morteros plásticos ; d) Proceso de impermeabilización con Epobild nivelador durante trabajos de restauración y consolidación estructural; e) Selección de baldosas en tonalidades originales (ocres, terracota, grises, Elaboración propia basada en levantamiento fotográfico del INPC, 2019.

- **Tercera restauración (2018 - 2019):** Con base en la información de (Lincango, 2016)
    - **Objetivo**: Consolidación estructural y puesta en valor del inmueble patrimonial
    - **Inyecciones estructurales aplicadas**:
        - Tipo A: Lechada de cal para fisuras de 1-5mm
        - Tipo B: Mortero hidráulico basado en cal para fisuras de 5-10mm
    - **Junta de dilatación**: Entre edificación patrimonial y contemporánea con adhesivo elástico tipo SikaBond
    - **Sistema de reforzamiento instalado:**
        - **Fibras de carbono**: CARBOWRAP 600 CFRP (100mm ancho x 1.4mm espesor, módulo elasticidad 73,140 MPa, resistencia tensión 842 MPa)
        - **Fibras de vidrio**: EPOWRAP 200 B-D para vanos y áreas específicas
        - **Impermeabilización**: Tratamiento de cubierta con Epobild nivelador
        - **Ventajas técnicas**: No altera la arquitectura, solución reversible, material duradero, bajo peso, relativamente fácil de instalar

Proceso de reforzamiento de cúpula de piedra pómez:

Se procedió con adherir a su trasdós una malla fina de poliéster o fibra de vidrio con algún tipo de resina inherente, a ser colgada de la malla resistente (Aguirre, 2016).

Para la reparación de la cúpula se efectuaron las siguientes operaciones:

- Relleno de las grietas de las juntas entre piezas mediante inyección de morteros plásticos.
- Sustitución de las piezas rotas por otras de las mismas características por lo menos de un espesor de 10 cm.

En las grietas transversales por asentamientos u otros esfuerzos mecánicos se procedió mediante el relleno de las juntas entre piezas mediante inyección de morteros plásticos. En grietas por dilataciones y contracciones higrotérmicas se introdujo una junta de dilatación-contracción, saneando los bordes de la apertura, reponiendo las piezas rotas y marcando la junta de una forma estéticamente aceptable, sellándola con materiales conformados por polímeros elásticos e impermeabilizándola de las lluvias (Aguirre, 2016).

Estado de conservación técnico-constructivo actual: sólido; debido al uso de tecnología y materiales contemporáneos (ver Tabla 20).

Tabla 20

Valoración actual de la Iglesia Basílica de Riobamba, componente "Técnico constructivo"

Técnico constructivo				**Puntuación**	
Tecnología y materiales tradicionales	TMT	TMT	5	x	5
Tecnología y materiales contemporáneos	TMC	TMT+ECR	4		
Tecnología y materiales mixtos	TMX	TMT+ECM	2		
Estado de conservación regular	ECR	TMT+SMTM	3		
Estado de conservación malo	ECM	TMT+SMTA	1		
Sustitución materiales y tecnología alto	SMTA	TMT+STMM+ECR	2		
Sustitución materiales y tecnología medio	SMTM	TMC	3		
		TMC+ECR	2		
		TMC+SMTM	1		
		TMX	2		
		TMX+ECR	1		
			Total	**5**	

Nota. Basado en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024). Valoración propia del autor.

3.3.5. Patologías

Las patologías identificadas en varias visitas de control técnico efectuadas por el autor (como restaurador zonal del INPC) previas a la última intervención técnica de la cúpula fueron: lesiones físicas, mecánicas y químicas localizadas en el intradós y extradós, cuya ubicación, identificación y clasificación se describe en la siguiente ficha de análisis de patologías (ver Figura 25):

Figura 25

Ficha de Análisis de Patologías - Iglesia Basílica de Riobamba

FICHA DE ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS

Ficha Nº: 03	**Denominación del Inmueble Patrimonial:**	Basílica de Riobamba	
PAÍS:	Ecuador	**PARROQUIA:**	Maldonado
PROVINCIA:	Chimborazo	**DIRECCIÓN:**	Calle José Veloz
CANTÓN:	Riobamba	**Código de Inventario SIPCE:**	IBI-06-01-02-000-000060

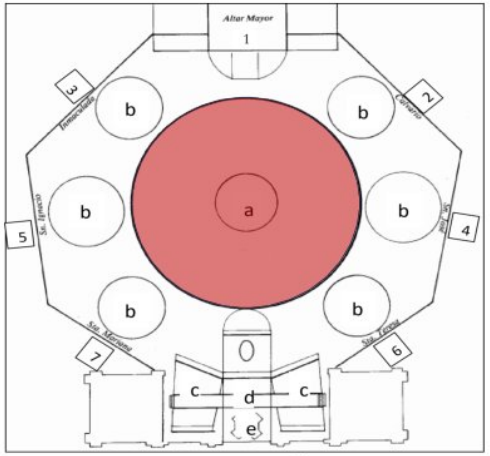
IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS- ARQUITECTÓNICOS

No.	UBICACIÓN GENERAL	ELEMENTOS	MATERIALES	ACABADOS	EFECTOS	CAUSAS	UBICACIÓN
1	Cúpula	Extradós	Cerámica	Azulejo	Pérdida de Material	Desgaste Natural	Semiesfera
2	Cúpula	Extradós	Hormigón	Enlucido	Eflorescencias	Falta de mantenimiento	Anillo de tracción (inferior)
3	Cúpula	Extradós	Hormigón	Pintura	Pérdida de Material	Desgaste Natural	Anillo de compresión (superior)
4	Cúpula	Intradós	Piedra pómez	Piedra pómez	Daño Estructural	Humedades	Intradós
5	Cúpula	Extradós	Mortero	Enlucido	Daño Estructural	Sismos	Semiesfera
6	Cúpula	Extradós	Hormigón	Esmalte	Pérdida de Material	Desgaste Natural	Nervios
7	Cúpula	Intradós	Pañete	Pintura	Pérdida de Material	Falta de mantenimiento	Intradós

CLASIFICACIÓN DE LESIONES POR SU AGENTE

ORIGEN DE LA PATOLOGÍA		GRUPO	CAUSA	SUBGRUPO	DETALLE CAUSA
Naturales	Tormentas/erupciones volcánicas	*MECÁNICAS*	*Origen lesiones secundarias*	Grietas	Por exceso de carga
Naturales	Movimientos sísmicos	*QUÍMICAS*	*Organismos*	Vegetales	Líquenes
Antrópicos	Abandono, Negligencia, Ignorancia	*FÍSICAS*	*Suciedad*	Ensuciamiento por lavado diferencial	
Antrópicos	Falta de mantenimientoperiódico	*FÍSICAS*	*Humedad*	Humedad de Filtración	
		FÍSICAS	*Humedad*	Humedad de Filtración	
		FÍSICAS	*Suciedad*	Ensuciamiento por depósito	
		FÍSICAS	*Humedad*	Humedad de Filtración	

Ubicación de Patologías

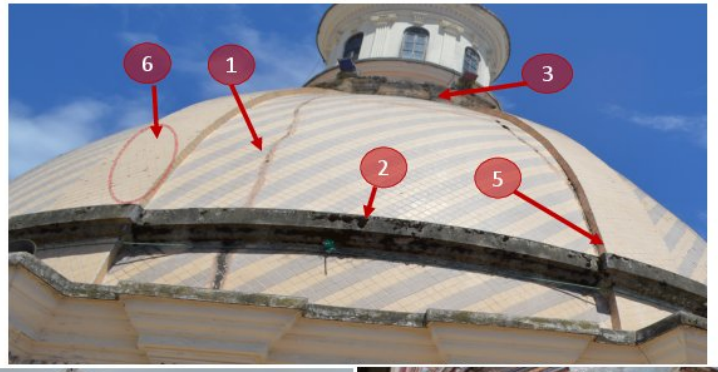


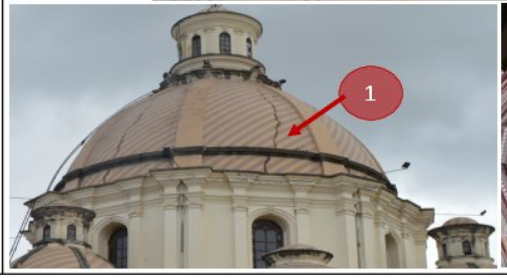
Altares
1.-Altar Mayor-Corazón de Jesús
2.-Calvario
3.-Inmaculada
4.-Concepción
5.-San José
6.-San Ignacio de Loyola
7.-Santa Teresita
8.-Santa Mariana de Jesús

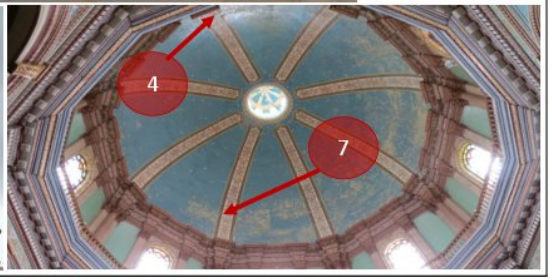
Elementos
a.- Cúpula central
b.- Cupulines
c.- Coro
d.-Órgano
e.-Monumento Corazón de Jesús

Fuente: GADM Riobamba y Manosalvas (2016)

Registro Fotográfico







Nota: Elaboración propia, basado en levantamiento fotográfico del INPC, 2018.

Por otra parte, las patologías identificadas en los estudios de consultoría previos a la última intervención técnica de la iglesia, así como las vulnerabilidades y acciones implementadas, fueron (Aguirre, 2016; Lincango, 2016):

a) **Mecánicas:**

Fisuras:

- Micro fisuras y fisuras en diversos sectores de la cúpula principal y cupulinos secundarios.
- Nuevos fisuramientos en áreas reparadas de los cupulinos secundarios, donde los morteros de cemento utilizados previamente se habían deteriorado.

Grietas:

- Agrietamientos verticales mayores a 5 cm en la cúpula principal, originados por esfuerzos de tracción ante la presencia de sismos que los mampuestos no podían absorber, agravados por la falta de refuerzo estructural para controlar las tensiones y por los empujes de la edificación adyacente de tres pisos que se apoyaba sobre la estructura patrimonial.

Desprendimientos:

- Desprendimiento localizado del material de recubrimiento en la cúpula principal.

b) **Físicas:**

Humedad de filtración:

- Infiltración de humedad en juntas y remates de los cupulinos secundarios.
- Concentración y acumulamiento de humedad en la cúpula principal que deterioraba la resistencia de los materiales y agravaba el deterioro estructural.

Vulnerabilidades:

a) **Naturales:**

- **Actividad sísmica regional:** Riesgo alto para cúpulas
- **Variaciones climáticas**: Que afectan los materiales

b) **Antrópicas:**

- **Falta de mantenimiento especializado:** En técnicas históricas
- **Intervenciones inadecuadas:** Con materiales incompatibles

Antecedentes de restauración:

Apenas 20 años después de la inauguración de la obra ya se hicieron notar las fallas de la construcción: la piedra pómez utilizada no era lo mejor que se podía escoger. La carencia de impermeabilización en las amplias terrazas era evidente (Aguirre, 2016).

Acciones implementadas última intervención (noviembre 2018 - mayo 2019):

a) Tratamientos de consolidación en cúpulas:

Según Lincango (2016):

- **Consolidación mediante inyecciones de lechada de cal:** Tipos A y B según dimensión de fisuras

- **Reforzamiento con fibra de vidrio bidireccional:** Sistema compuesto de refuerzo estructural GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer - Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio), aplicado en las semi esferas (Tipo EPOWRAP 200 B-D).

- **Reforzamiento con fibras de carbono unidireccional:** Sistema Compuesto SETMIX de refuerzo estructural aplicado en la cúpula, sistema que utiliza polímeros reforzados con fibras; aplicado en los nervios y anillos superior e inferior (Tipo CARBOWRAP 600 CFRP).

b) Mejoras en impermeabilización:

- **Sistema Glass Fiber Reinfirded Polyme (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio:** posterior a su aplicación el sistema brinda resistencia al paso del agua y humedad.

- **Cerámica para recubrimiento en formato de 10 x 10:** En colores y trama similar al existente

- **Pintura de caucho:** Tipo permalatex para exteriores aplicada en nervios, anillos y molduras de la cúpula

3.4. Análisis de Riesgos

En este apartado se desarrolla el análisis de los sistemas de reforzamiento estructural y de las patologías de las cúpulas de piedra de las tres iglesias patrimoniales en estudio, mediante la sistematización de sus resultados en una matriz de riesgos. Se diseñó una metodología propia para el análisis de elementos cupulares en el contexto patrimonial, la cual integra el Método ABC del ICCROM y el Manual de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), complementada con escalas operativas específicas.

El desarrollo del capítulo se organiza en tres secciones. Primero se describe la metodología aplicada, estructurada en cinco fases (establecimiento del contexto, identificación de riesgos,

desarrollo de la matriz integrada, priorización y análisis, y determinación del nivel de confianza), junto con la fórmula de cálculo propuesta para la magnitud del riesgo (MR) y su fundamento teórico-normativo. Luego se presenta el desarrollo metodológico aplicado a cada caso de estudio, con informes detallados en los Anexos 10 a 12. Por último, se exponen los resultados, que integran el análisis comparativo por componentes ABC-GRD, la matriz conglomerada de riesgos, la jerarquización comparativa de los tres casos y el análisis de los factores causales (amenazas territoriales y vulnerabilidades estructurales) que explican los patrones de riesgo identificados.

3.4.1. Metodología aplicada

La elaboración de una matriz de riesgos, como parte del segundo objetivo de investigación, requirió de una estrategia metodológica que integrara el método ABC y el Manual GRD (ver apartado 2.1.4.4), y que se incluyeran escalas operativas específicas para el análisis de cúpulas de piedra en el contexto patrimonial inmueble. La metodología planteada comprende 5 fases:

3.4.1.1. Fase 1: Establecer el contexto

Objetivo:

Delimitar qué bienes se analizarán, bajo qué criterios y con qué alcance.

Componentes básicos:

- **Bienes analizados:** En este caso, las cúpulas de piedra de tres iglesias patrimoniales.
- **Horizonte temporal:** Proyecta los riesgos en un lapso, por ejemplo, de 10 a 50 años, con escenarios diferenciados.
- **Contexto:** Determina el valor patrimonial, uso actual, entorno urbano o rural, y la normativa local. Si la cúpula contiene otros bienes, como por ejemplo pinturas murales, su presencia se debe tomar en cuenta en el análisis para cuantificar las variables.
- **Capacidades locales:** Se identifican las capacidades técnicas, económicas e institucionales (ver Figura 26).

El análisis de las capacidades locales permite anticipar qué tan viable resulta implementar acciones de mitigación una vez identificados los riesgos, ya que un riesgo prioritario puede ser difícil de gestionar si el contexto local carece de los recursos o la institucionalidad necesarios para atenderlo. Las capacidades técnicas se refieren a la disponibilidad de especialistas y de tecnología de diagnóstico. Las económicas incluyen el presupuesto y las fuentes de financiamiento accesibles para el proyecto de intervención. Las institucionales se traducen en el marco normativo vigente junto con la capacidad de gestión y coordinación entre las entidades responsables de la conservación de estos bienes. El análisis de estas

dimensiones es un insumo clave para la interpretación posterior de los resultados del análisis de riesgos, especialmente al momento de priorizar acciones y estimar su factibilidad real de implementación.

Figura 26

Análisis del Contexto - Capacidades locales



3.4.1.2. Fase 2: Identificar los Riesgos (ABC + GRD)

Método:

1. Revisión documental (informes de intervención, fichas de inventario, registros históricos), orientada a reconstruir la memoria histórica y técnica del bien mediante la triangulación de diversas fuentes documentales.

2. Aplicación de entrevistas y encuestas de investigación (Anexos 3 y 5, respectivamente) para obtener retroalimentación de expertos en el área y del personal técnico que participó en las intervenciones.

3. Identificación de amenazas y vulnerabilidades mediante listas de verificación que incluyen (Anexo 2):

    - Agentes de deterioro (Método ABC), los cuales son manifestaciones físicas del daño observable.

    - Amenazas externas (GRD), que son eventos o fuerzas que pueden desencadenar daños en los bienes.

    - Vulnerabilidades de las cúpulas, es decir, condiciones particulares de estas estructuras que pueden amplificar el impacto de las amenazas.

4. Análisis de correspondencias, para la interpretación de patrones causales mediante el análisis cruzado:

    - Correspondencia B → A: una amenaza produce manifestación observable

    - Correspondencia C → A: una vulnerabilidad permite o amplifica la manifestación observable

5. Identificación de riesgos, para su posterior evaluación, considerando la existencia de intervenciones que han mitigado, reducido o modificado los riesgos preexistentes. Se requiere diferenciar entre riesgos históricos documentados, riesgos residuales post-intervención, y riesgos emergentes. Han de evaluarse cuantitativamente solo los riesgos actuales (residuales y emergentes).

    - Riesgos históricos documentados: corresponden con las amenazas y vulnerabilidades identificadas antes de las intervenciones, pero que sirven de base para entender el comportamiento estructural original.

    - Riesgos residuales post-intervención: riesgos persistentes post intervenciones, que exigen analizar el nivel de mitigación alcanzado.

    - Riesgos emergentes: son nuevos riesgos que surgen de las propias intervenciones, y cuyas causas pueden ser incompatibilidades, comportamientos no previstos o falta de mantenimiento específico.

6. Identificación del tipo de ocurrencia de cada riesgo que, según el método ABC, se clasifica en:

    - Evento único: es un riesgo puntual, poco frecuente, pero de alto impacto, como un terremoto.

    - Evento recurrente: se repite de manera cíclica o predecible, como las filtraciones en época lluviosa.

    - Proceso acumulativo: es el que se manifiesta de forma constante y progresiva, como ocurre con una fisuración por humedad o salinidad.

Cabe destacar que la identificación del tipo de ocurrencia facilitará el análisis posterior en términos de cualificación y gestión del riesgo.

3.4.1.3.Fase 3: Desarrollar una Matriz de Riesgos Integrada

Método:

1. Evaluación cuantitativa de cada riesgo identificado en la fase anterior, es decir, el cálculo de la magnitud del riesgo (MR) conforme la fórmula propuesta
2. Inclusión de resultados en la matriz de riesgos

Campos de la matriz:

Basada en el método ABC, pero ampliada con criterios del manual GRD, incluye los campos que se muestran en la Figura 27. El registro de valores correspondientes responderá a un conjunto de variables y escalas que se describen a continuación.

Descripción de Variables y Escalas:

La operativización de variables es uno de los aspectos más críticos en el desarrollo de una matriz de riesgos integral, ya que permite traducir conceptos teóricos en mediciones objetivas y comparables. Las Tablas 21 a la 25 detallan las escalas específicas desarrolladas para cada variable, fundamentadas en los principios metodológicos del Método ABC y el Manual de GRD.

Figura 27

Campos de la Matriz de Riesgos Integrada



Tabla 21

Variables del Método ABC

Variable ABC	Descripción Original	Operativización Propuesta
A - Frecuencia	Escala logarítmica de frecuencia (Método ABC)	**5** = Muy frecuente (anual) **4** = Frecuente (cada 2-5 años) **3** = Ocasional (cada 5-10 años) **2** = Raro (cada 10-50 años) **1** = Muy raro (cada 50+ años)
B - Pérdida de Valor (%)	Porcentaje de pérdida de valor patrimonial (Método ABC)	**5** = Pérdida total (81-100%) **4** = Pérdida severa (61-80%) **3** = Pérdida considerable (41-60%) **2** = Pérdida moderada (21-40%) **1** = Pérdida mínima (1-20%)
C - Alcance	Número o proporción de elementos afectados (Método ABC)	**5** = Toda la cúpula (81-100%) **4** = Gran parte (61-80%) **3** = Porción considerable (41-60%) **2** = Parte moderada (21-40%) **1** = Elementos puntuales (1-20%)

Tabla 22
Variables del Manual GRD

Variable GRD	Descripción Original	Operativización Propuesta	Descripción específica para cúpulas
Vulnerabilidad	Susceptibilidad del patrimonio ante amenazas (Manual GRD)	**4** = Muy Alta (estructura muy debilitada)	Fisuras estructurales visibles, deformaciones evidentes, pérdida significativa de material
		3 = Alta (debilidades importantes)	Micro-fisuras, signos de debilitamiento, algunas pérdidas de material
		2 = Media (algunas debilidades)	Deterioro superficial, mantenimiento deficiente, signos menores de deterioro
		1 = Baja (estructura sólida)	Estructura sólida, buen estado de conservación, mantenimiento adecuado
Exposición	Nivel de contacto con peligros (Manual GRD)	**4** = Muy Alta	Exposición directa continua a múltiples agentes (viento, lluvia, contaminación, vibraciones)
		3 = Alta	Exposición frecuente a 2-3 agentes principales
		2 = Media	Exposición ocasional o a agentes moderados
		1 = Baja	Exposición mínima, ambiente protegido

Tabla 23
Variables Adicionales Propuestas

Variable Propuesta	Justificación	Escala Desarrollada
VP - Valor Patrimonial	Los manuales no especifican cómo ponderar el valor patrimonial específico de cada elemento. Se propone esta variable para priorizar según importancia histórico-artística.	**4 =** Excepcional (elemento único, irreemplazable) **3 =** Alto (gran valor histórico-artístico) **2 =** Medio (valor patrimonial significativo) **1 =** Básico (valor patrimonial limitado)
CA - Control Actual	Complementa el enfoque de ambos manuales sobre medidas de mitigación existentes.	**1 =** Sin controles **2 =** Controles básicos **3 =** Controles adecuados **4 =** Controles óptimos

La variable CA y su valoración han de ser establecidas conforme el control preventivo, correctivo y de monitoreo efectuado históricamente sobre el bien inmueble, y la posible temporalidad con la que se ejecuta. La Tabla 24 describe cada nivel a detalle.

Tabla 24
Valoración del Control Actual - CA

Nivel	Preventivo	Correctivo	Monitoreo	Factor Temporal
1 - Sin Control	Sin mantenimiento preventivo	Sin capacidad de respuesta	Sin monitoreo	Sin controles >10 años
2 - Básico	Mantenimiento esporádico	Respuesta reactiva	Inspecciones ocasionales	Controles desactualizados 5-10 años
3 - Adecuado	Mantenimiento regular básico	Capacidad de respuesta media	Inspecciones regulares	Controles actualizados 2-5 años
4 - Óptimo	Mantenimiento programado, medidas preventivas integrales	Protocolos de intervención inmediata	Monitoreo instrumental continuo	Controles actualizados ≤2 años

Tabla 25
Otros campos de la matriz

Campo	Descripción detallada
Riesgo Identificado	Descripción breve del evento o proceso (ej. "fisuración de tambor por empuje horizontal")
Tipo de ocurrencia	Distingue si es un evento recurrente o cíclico, un proceso acumulativo (deterioro), o si se trata de un evento único o puntual (desastre), para aplicar el enfoque de gestión correcto.
MR - Magnitud del Riesgo	Resultado de la aplicación de la fórmula. Permite priorizar el análisis.

Fórmula de cálculo propuesta para Magnitud del Riesgo (MR):

Con base en la revisión de los manuales, y otros documentos normativos internacionales, se propuso el uso de la siguiente fórmula para medir la magnitud del riesgo:

Fórmula Propuesta

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)

Donde: IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2

La fórmula se basa en la definición de riesgo de desastre de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2017):

Riesgo = (Amenaza × Vulnerabilidad × Exposición) / Capacidad

Así también se ha considerado la fórmula del método ABC la cual indica que

$$MR = A + B + C$$

La fórmula propuesta no produce un valor de riesgo “universal” o general. Cada aplicación de la fórmula está condicionada por el tipo de amenaza que se esté evaluando, como resultado de la aplicación de la Lista de Verificación para el Análisis de Riesgos en Cúpulas de Iglesias Patrimoniales (ver Anexo 2).

Se incorporó en el denominador una constante de normalización escalar (25), propuesta inéditamente en este trabajo, cuya función es dotar al modelo de una calibración empírica para que la MR resulte en un rango operativo interpretable (0.01 a 80) y no en el producto bruto de las variables (con un máximo de 2000). Al ser un reescalamiento lineal, la constante no altera el orden relativo de los riesgos, y su efecto recae únicamente sobre la distribución de los resultados en las categorías de clasificación. Se verificó su estabilidad mediante un análisis de sensibilidad (Anexo 15).

La ponderación por Valor Patrimonial (VP) es un juicio experto de tipo ordinal y, por tanto, agrega un componente subjetivo. Para evitar que distorsione el peso del riesgo físico, el modelo lo limita de tres maneras:

- VP se define en una escala limitada (de 1 a 4), por lo que aporta el 15.4 % de la amplitud de la fórmula, frente al 84.6 % de los factores físicos (A, B, C, IS y CA).
  Al ser la fórmula multiplicativa, la contribución de cada factor a la amplitud total del MR se mide mediante el logaritmo de la razón entre su valor máximo y mínimo. Para el VP (escala 1 a 4), ln(4) = 1.386, que representa el 15.4 % de la suma total de las contribuciones de los seis factores.
- Al ser un factor multiplicativo con razón máxima de 4, no puede invertir el orden entre dos riesgos cuyos componentes físicos difieren en más de cuatro veces; solo diferencia entre riesgos de magnitud comparable.
  Por ejemplo, si F es el componente físico de un riesgo (A × B × C × IS / CA). Si tenemos dos riesgos: el riesgo X, con F = 50, y el riesgo Y, con F = 10. El primero es cinco veces mayor que el segundo, es decir, más de cuatro veces. Aun en el caso más desfavorable para X (VP = 1) y más favorable para Y (VP = 4), el resultado es 50 × 1 = 50 para X frente a 10 × 4 = 40 para Y, de modo que X sigue por encima. En cambio, si X tuviera F = 12 y Y tuviera F = 10 (magnitudes comparables), el mismo caso daría 12 × 1 = 12 para X frente a 10 × 4 = 40 para Y, y el VP sí invertiría el orden. El divisor 25 fue omitido en este ejemplo porque es común a ambos riesgos y no afecta la comparación.
- Se contrastó la MR con y sin ponderación patrimonial (VP = 1) en los 23 riesgos evaluados (ver Anexo 15). El orden de prioridad fue idéntico y solo dos riesgos (Latacunga RR-2 y Riobamba RE-2) cambiaron de categoría, de medio a bajo. Por lo tanto, la prioridad de los riesgos estructurales, incluido el de colapso, la determinan los factores técnicos (A, B, C, IS y CA) y no la ponderación patrimonial

En la Tabla 26 se describe la justificación y fundamento teórico de cada componente de la fórmula.

Tabla 26

Justificación y fundamento teórico de la fórmula propuesta para Magnitud del Riesgo - MR

Componente	Justificación	Fundamento Teórico/Normativo
	Numerador: Factores Amplificadores del Riesgo	
A (Frecuencia) Componente temporal	Representa la probabilidad de ocurrencia del evento de riesgo. A mayor frecuencia, mayor es la magnitud del riesgo acumulado. **Operación multiplicativa:** Los eventos más frecuentes generan impacto multiplicativo sobre el patrimonio.	Método ABC establece que la frecuencia es factor crítico en la evaluación cuantitativa de riesgos patrimoniales.
B (Pérdida de Valor) Componente de impacto	Cuantifica el daño potencial al valor patrimonial. Relacionada directamente con la severidad del impacto. **Operación multiplicativa:** El porcentaje de pérdida amplifica proporcionalmente la magnitud del riesgo.	Método ABC define la pérdida de valor como variable central para priorización de conservación.
C (Alcance) Componente espacial	Determina la extensión del daño (número/proporción de elementos afectados). **Efecto multiplicador:** Un riesgo que afecta más elementos tiene mayor magnitud total. Considera el **efecto dominó** donde el fallo de un elemento puede afectar otros.	Método ABC reconoce que el alcance es determinante en la evaluación integral del riesgo.
VP (Valor Patrimonial) Factor de Ponderación Cultural	**Contribución original:** Pondera el riesgo según la importancia patrimonial específica del elemento. **Lógica multiplicativa:** Un riesgo sobre elemento de mayor valor patrimonial debe tener mayor magnitud en la evaluación. Incorpora criterios de irreversibilidad y unicidad del patrimonio.	Cartas internacionales (Venecia, Nara) establecen que las intervenciones deben basarse en el reconocimiento del valor patrimonial para garantizar la autenticidad y aplicar principios de conservación apropiados.
IS (Índice de Susceptibilidad) Factor Contextual Integrado IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2	**Justificación de la suma:** • Vulnerabilidad y Exposición son complementarias, pero no independientes. • Ambas determinan la susceptibilidad total del bien ante amenazas. **Promedio aritmético:** • Evita que una variable extremadamente alta distorsione el resultado. **Justificación del factor multiplicativo:**	Manual GRD establece que la vulnerabilidad y exposición son factores determinantes del riesgo de desastres. La LOGIRD (2024), en su artículo 6, numeral 2, establece que la prevención del riesgo requiere intervenir sobre la amenaza, la vulnerabilidad, las capacidades y el

	• Un bien más susceptible (vulnerable + expuesto) tiene mayor probabilidad de materialización del riesgo. • **Efecto amplificador:** La susceptibilidad potencia todos los demás factores de riesgo.	nivel de exposición. Se confirma que ambos factores son determinantes en la evaluación integral del riesgo.
	Denominador: Factor Atenuante	
CA (Control Actual) Factor de Mitigación	**Justificación de la división:** • Las medidas de control existentes reducen la magnitud del riesgo. • **Operación divisoria:** Refleja matemáticamente que mejores controles disminuyen el riesgo. • **Efecto proporcional:** Controles más efectivos generan mayor reducción del riesgo. **Justificación del factor 25:** • **Normalización de escala:** Evita que la MR genere valores demasiado grandes. • **Calibración empírica:** Permite que MR mantenga rangos operativos útiles. Reduce el producto bruto (máximo 2000) a un rango interpretable (0.01 a 80). • **Flexibilidad metodológica:** Factor ajustable según validación en casos reales.	Varios estándares reconocen que las medidas de control existentes reducen efectivamente la magnitud del riesgo: **Normas Internacionales de Gestión de Riesgos:** • **ISO 31000:** Establece que el riesgo debe evaluarse considerando los controles implementados (ISO 31000, 2018). • **Método ABC:** Reconoce que las medidas preventivas modifican la probabilidad y severidad del deterioro. • **Manual GRD:** Enfatiza que la capacidad de respuesta institucional determina la magnitud del impacto. **Normativa local de Gestión de Riesgos:** • **LOGIRD (2024):** el artículo 6, numeral 2, establece que la prevención del riesgo requiere intervenir sobre la amenaza, la vulnerabilidad, las capacidades y el nivel de exposición. **Marco Patrimonial:** **Carta de Venecia:** “La conservación impone constancia en el mantenimiento” (ICOMOS, 1964).

Propiedades Matemáticas Deseables:

1. **Monotonía:** MR aumenta cuando aumentan los factores de riesgo.
2. **Sensibilidad:** Cambios en cualquier variable impactan proporcionalmente el resultado (ver Anexo 15).
3. **Acotamiento:** Los valores se mantienen en rangos manejables (0.01 a 80).
4. **Discriminación:** La fórmula distingue entre niveles de riesgo.

Ventajas de la Fórmula Integral:

1. **Integralidad:** Integra todas las dimensiones destacadas del riesgo patrimonial, y combina enfoques preventivos (ABC) y reactivos (GRD).
2. **Flexibilidad Metodológica:** Permite un análisis de sensibilidad, modificando factores individuales, y es adaptable a diferentes contextos patrimoniales.
3. **Transparencia en el Cálculo:** Cada factor tiene una justificación clara y un origen metodológico identificable. Permite la trazabilidad de resultados y facilita la toma de decisiones.
4. **Coherencia Internacional:** Está basada en estándares reconocidos de gestión de riesgos**,** y es compatible con mejores prácticas internacionales de conservación.

3.4.1.4.Fase 4: Priorizar y Analizar los Riesgos

Método:

1. Priorización de los riesgos, conforme la matriz de priorización
2. Análisis de riesgos

Matriz de Priorización:

Se analizaron los valores máximos y mínimos posibles en la fórmula planteada (Fase 3), a fin de establecer escalas de la magnitud del riesgo:

- A (Frecuencia): 1-5
- B (Pérdida de Valor): 1-5
- C (Alcance): 1-5
- VP (Valor Patrimonial): 1-4
- IS (Índice de Susceptibilidad): 1-4 (promedio de Vulnerabilidad y Exposición)
- CA (Control Actual): 1-4

Valor máximo: A=5, B=5, C=5, VP=4, IS=4, CA=1 (peor control) MR = (5 × 5 × 5 × 4 × 4) / (1 × 25) = 2000 / 25 = **80**

Valor mínimo: A=1, B=1, C=1, VP=1, IS=1, CA=4 (mejor control) MR = (1 × 1 × 1 × 1 × 1) / (4 × 25) = 1 / 100 = **0.01**

La fórmula propuesta para MR genera valores desde un mínimo teórico de 0.01 hasta un máximo de 80. Dado que el riesgo en patrimonio crece de forma acumulativa y crítica en los niveles altos, y no de manera lineal (como muestran la lógica multiplicativa y las escalas logarítmicas del método ABC), se optó por una escala no lineal con cortes en 10, 30 y 60 puntos, basada en los siguientes criterios:

- **Discriminación efectiva entre niveles:** La escala distingue entre riesgos bajos, medios, altos y los que requieren intervención urgente (críticos).
- **Correspondencia con la urgencia de respuesta:** Cada tramo de la escala corresponde a un tiempo de intervención sugerido, desde el monitoreo hasta la emergencia.
- **Base teórica:** Las cuatro categorías (bajo, medio, alto y crítico) corresponden a las clasificaciones generales de uso habitual en la gestión del riesgo patrimonial. Dado que el riesgo no crece de forma lineal, no se dividió el rango de 0 a 80 en tramos iguales. Se adoptaron cortes con anchuras crecientes (10, 20 y 30 puntos), de modo que los cortes acumulados son 10 × (1, 3, 6). Así cada nivel superior abarca un intervalo mayor de la escala y refleja la aceleración del daño en los niveles altos. La base de 10 puntos se adoptó como unidad de referencia (un octavo del valor máximo de 80) y la categoría crítica (60–80) queda acotada por el máximo teórico. Estos umbrales son de carácter normativo y se sometieron a un análisis de sensibilidad (desplazamiento de ±10 %) para verificar la estabilidad de la clasificación de los riesgos identificados (ver Anexo 15). Ningún riesgo identificado alcanzó las categorías alta ni crítica, por lo que los cortes de 30 y 60 no pudieron contrastarse con casos reales y deberán validarse en futuras aplicaciones.
- **Enfoque patrimonial:** La escala pondera el impacto en bienes de valor excepcional mediante la variable VP, en coherencia con los principios internacionales de conservación (Carta de Venecia, Nara).

Por ello, se definieron los siguientes rangos:

- **MR < 10:** Riesgo bajo, requiere monitoreo o intervención mínima.
- **10 ≤ MR < 30:** Riesgo medio, requiere planificación a mediano plazo.
- **30 ≤ MR < 60:** Riesgo alto, requiere atención prioritaria.
- **MR ≥ 60:** Riesgo crítico, requiere intervención inmediata.

Posteriormente, combinando estos rangos con los posibles VP, se definió la matriz de priorización de riesgo como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 27
Matriz de Priorización de Riesgos propuesta

Magnitud de Riesgo	Valor Patrimonial	Prioridad Final	Tiempo de Respuesta
CRÍTICA (MR ≥ 60)	4 (Excepcional)	**EMERGENCIA**	Inmediato
	3 (Alto)	**URGENTE**	Corto plazo
	2-1 (Medio-Básico)	**ALTA**	Mediano plazo
ALTA (30 ≤ MR < 60)	4-3 (Excepcional-Alto)	**ALTA**	Mediano plazo
	2-1 (Medio-Básico)	**MEDIA**	Largo plazo
MEDIA (10 ≤ MR < 30)	4-3 (Excepcional-Alto)	**MEDIA**	Largo plazo
	2-1 (Medio-Básico)	**MEDIA - BAJA**	Largo plazo
BAJA (MR < 10)	4-3 (Excepcional-Alto)	**MEDIA - BAJA**	Largo plazo o monitoreo continuo
	2-1 (Medio-Básico)	**BAJA**	

Nota. Corto plazo: 6 a 12 meses; mediano plazo: 1 a 2 años; largo plazo: 2 a 5 años

El VP interviene entonces en dos etapas con funciones distintas. En la fórmula pondera la magnitud del riesgo (MR); en la priorización de riesgos solo modula la urgencia y el tiempo de respuesta asociados a cada categoría, sin modificar el valor de la MR.

Análisis de Riesgos:

Luego de consolidar los resultados obtenidos en la matriz de priorización, se debe analizar el tipo de ocurrencia de cada riesgo (evento único, recurrente o proceso acumulativo) y definir sus correspondientes requerimientos de seguimiento. Esta clasificación permite adaptar las estrategias de monitoreo y respuesta según la naturaleza del riesgo:

- Los eventos únicos requieren planes de contingencia ante situaciones de bajo rango de frecuencia, pero alto impacto.
- Los eventos recurrentes exigen inspecciones periódicas y protocolos post-evento.
- Los procesos acumulativos requieren observación continua para identificar patrones de evolución lenta pero progresiva.

Los requerimientos de seguimiento son las acciones técnicas específicas que deben aplicarse con regularidad para monitorear cómo se comporta el riesgo en el tiempo, evitar que se agrave o activar una intervención oportuna si hace falta. De este análisis se derivan las sugerencias de priorización y acción, orientadas a la toma de decisiones preventivas o correctivas.

El análisis de cada riesgo debe incluir: hallazgos principales, sugerencias de priorización-acción y conclusiones. De esta forma, el análisis no se agota en el diagnóstico, pero se

mantiene dentro del marco del estudio de riesgos, dejando la gestión e intervención para planes externos.

3.4.1.5. Fase 5: Determinar el Nivel de Confianza y Limitaciones del estudio

Como parte del rigor metodológico, se incorpora una valoración del grado de certeza alcanzado en la aplicación de la metodología, así como una descripción de las limitaciones enfrentadas durante el proceso de análisis.

Nivel de Confianza en la Evaluación

El nivel de confianza depende de la cantidad y calidad de la información disponible y del grado de inspección técnica realizado. Debe registrarse en cada caso analizado, tanto a nivel cualitativo y cuantitativo, conforme la siguiente tabla:

Tabla 28
Niveles de confianza propuestos para el análisis de riesgos

Nivel cualitativo	Nivel cuantitativo	Descripción
Alto	90–100%	La información obtenida es completa y consistente, y se basa en levantamientos exhaustivos en campo, evidencia documental suficiente y diagnósticos estructurales, constructivos o patrimoniales previos. Las limitaciones son mínimas y no afectan la solidez del análisis.
Medio-alto	80–89%	La Información obtenida es amplia y técnicamente fundamentada, con algunas limitaciones parciales (por ejemplo: falta de ensayos específicos o registros históricos incompletos) que no comprometen de forma significativa la interpretación del riesgo ni la coherencia del modelo analítico.
Medio	65–79%	La información recabada es suficiente para el análisis, aunque con limitaciones importantes en la profundidad del levantamiento, los datos instrumentales o la documentación técnica. Estas restricciones pueden generar incertidumbre, pero permiten interpretar el riesgo de forma razonada.
Bajo	50–64%	La información recabada es limitada o indirecta, y está basada sobre todo en estimaciones cualitativas, en inspecciones visuales o fuentes secundarias. El análisis tiene una incertidumbre considerable, y depende más del criterio experto.
Muy bajo	<50%	La información obtenida es insuficiente, fragmentaria o incompleta. El análisis es preliminar o exploratorio y no permite conclusiones sólidas sobre el nivel de riesgo.

Limitaciones Documentadas

Durante el proceso metodológico deben identificarse todas las restricciones y condicionantes del análisis. Entre ellos, podrían identificarse:

- Acceso restringido a ciertos sectores de las cúpulas por seguridad, altura o por factores de conservación.

- Falta de estudios estructurales especializados, lo que puede limitar técnicamente la valoración de ciertas amenazas.

- Falta de información histórica consolidada, lo que puede dificultar el rastreo de intervenciones pasadas o procesos de deterioro acumulativo.

- Limitaciones tecnológicas para la fase de diagnóstico, por ejemplo: la ausencia de sensores, escaneo 3D, drones u otros dispositivos de precisión.

Estas consideraciones sirvieron para contextualizar los resultados del análisis y orientan sobre la necesidad de profundizar los estudios o complementar la información antes de adoptar decisiones basadas en los resultados de esta metodología.

3.4.2. Desarrollo

En los Anexos 10, 11 y 12 se encuentran los informes detallados correspondientes a cada una de las iglesias estudiadas, elaborados conforme la aplicación de la metodología descrita en el apartado 3.4.1. En el Anexo 13 se incluye una memoria fotográfica de las intervenciones de las 3 cúpulas, como referente para el análisis.

- **Anexo 10:** Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Matriz de Pujilí
- **Anexo 11:** Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Catedral de Latacunga
- **Anexo 12:** Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Basílica de Riobamba

Fase 1: Establecimiento del contexto

En cada informe se identificaron las condiciones contextuales que influyen directamente en la configuración del riesgo de la cúpula de cada Iglesia, considerando aspectos como: la singularidad técnica de la cúpula, el alto valor patrimonial de los inmuebles y el contexto territorial. Respecto al tema territorial, la Zona 3 presenta una elevada sismicidad (IGEPN, 2023; MIDUVI, 2014), un régimen pluvial significativo (INAMHI, 2013)**,** así como la presencia de amenazas volcánicas. En su conjunto, configuran un escenario de amenazas múltiples que interactúan con las propias características y condiciones de cada bien.

Se analizaron también las capacidades locales, en los ámbitos técnico, económico e institucional, encontrándose fortalezas ligadas a la experiencia previa de los especialistas en intervenciones patrimoniales. En cuanto a las limitaciones se identificó la falta de monitoreo instrumental continuo y la dependencia de recursos especializados externos.

En conjunto, estos factores dieron un marco interpretativo que sustenta la identificación posterior de amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones de deterioro desarrollada en el análisis de riesgos.

Fase 2: Identificación de Riesgos (ABC + GRD)

Las cúpulas son parte de un sistema estructural mayor, formado por muros portantes, bóvedas y machones del crucero, cuya interacción influye en el comportamiento mecánico y en la evolución de los riesgos analizados. Esta delimitación posibilitó analizar las cúpulas como partes de un sistema estructural y patrimonial complejo y no como elementos aislados, lo cual corresponde a un enfoque completo del análisis de riesgos en bienes patrimoniales.

Los agentes de deterioro, las amenazas y las vulnerabilidades se identificaron combinando tres fuentes principales:

a) Evidencia empírica obtenida mediante observación directa y registros de intervención.
b) Información documental y técnica disponible (informes, fichas de inventario, estudios previos).
c) El criterio experto de los profesionales intervinientes, mediante la ejecución de entrevistas.

Se seleccionaron los factores cuya presencia pudo verificarse o fundamentarse técnicamente, y se descartaron aquellos de los que no se tenía evidencia empírica ni poseen relevancia estructural para la cúpula analizada.

En cuanto a los riesgos históricos asociados a cada cúpula, el análisis incorporó una estimación del nivel de reducción alcanzado por las intervenciones documentadas. Dicho nivel lo definió el autor con su criterio experto, comparando las condiciones estructurales anteriores y posteriores a las intervenciones, la evidencia material observable y la información técnica disponible. Los valores asignados a la columna “Nivel de reducción estimado” son aproximaciones técnicas referenciales que expresan el grado aproximado de mitigación del riesgo.

Dentro del análisis deben distinguirse tres conceptos importantes: amenaza, vulnerabilidad y manifestación de deterioro. Las amenazas son fenómenos externos, de origen natural o antrópico, capaces de afectar la estructura, mientras que las vulnerabilidades son las condiciones propias del bien que determinan su respuesta ante ellas. Las manifestaciones de deterioro, por su parte, son la evidencia material de ese daño acumulado.

En las estructuras patrimoniales, ciertas condiciones pueden tener un rol híbrido: amplifican la amenaza y a la vez indican la presencia de una vulnerabilidad estructural. El deterioro acumulado de elementos portantes (B1-4), las conexiones estructurales inadecuadas (B1-5) y la rigidez diferencial en sistemas mixtos (B1-6) se identificaron como factores amplificadores (FA) de la amenaza sísmica (B1). Se trata de condiciones que modifican la respuesta dinámica del sistema estructural ante cualquier evento sísmico y amplifican localmente sus efectos, por lo que no deberían analizarse como amenazas independientes.

Fase 3: Desarrollo de Matriz de Riesgos

La matriz de riesgos se elaboró a partir del análisis integrado de las amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones de deterioro ya identificadas. Así se pudieron estructurar relaciones causales entre los factores de riesgo, considerando las condiciones propias del sistema constructivo de la cúpula y las características del entorno físico y sísmico de cada edificación patrimonial.

Las correspondencias entre amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones de deterioro se establecieron con un análisis técnico de posibles relaciones causales, según tres criterios: la compatibilidad mecánica entre la amenaza y las condiciones estructurales, la evidencia empírica observada en la edificación y la consistencia con los antecedentes técnicos y documentales disponibles. Dichas correspondencias se establecieron cuando había una relación (justificable técnicamente) entre la acción de la amenaza y la respuesta del sistema constructivo.

El riesgo se valoró asignando niveles relativos de probabilidad e impacto, entendiéndose esto en términos de ocurrencia de eventos, capacidad de respuesta y grado de afectación potencial sobre la integridad material y patrimonial del bien. Además de un instrumento cuantitativo, la matriz es una herramienta interpretativa para comprender los escenarios de riesgo más relevantes del bien analizado.

Para el análisis, se asumió que la magnitud de los riesgos residuales indica, de forma indirecta, el grado de mitigación de los riesgos históricos del sistema estructural en cada una de las cúpulas. De esta manera, los valores de magnitud del riesgo reflejan las condiciones actuales del bien, la evolución de los procesos de deterioro y el efecto acumulado de las intervenciones realizadas en el tiempo.

Por esta razón la matriz debe leerse desde una perspectiva técnica y preventiva, y no deben interpretarse los valores de manera aislada. La información registrada forma parte de un sistema dinámico de interacción entre factores estructurales, constructivos, ambientales y antrópicos, lo cual sirve de base para orientar la priorización, el monitoreo y la gestión del riesgo a mediano y largo plazo.

Fase 4: Priorización y Análisis de Riesgos

La priorización de los riesgos se basó en las correspondencias establecidas en la Fase 3, a partir de la interacción entre amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones de deterioro. Aquí la magnitud del riesgo (MR) se interpretó como una síntesis de las relaciones causales ya identificadas en el sistema estructural y constructivo de los bienes patrimoniales analizados.

La jerarquización no se hizo de forma mecánica con los valores de MR, sino con una lectura técnica e interpretativa de la matriz que consideró la recurrencia de ciertas cadenas causales, el grado de articulación entre factores de riesgo y su impacto potencial sobre la estabilidad estructural y la conservación material del bien.

Se incorporaron además criterios cualitativos relacionados al valor patrimonial de las edificaciones, que incluye consideraciones históricas, simbólicas y de valor cultural. Los valores de MR se interpretaron según el carácter excepcional de los bienes y la naturaleza acumulativa de los procesos de deterioro, de modo que los riesgos aparentemente moderados puedan volverse críticos en escenarios de evaluación a largo plazo.

La Fase 4 dejó como resultado los criterios de jerarquización y análisis del riesgo, además orientó la identificación de los factores que, por su capacidad de activación progresiva y su incidencia sobre elementos estructurales clave, requieren de procesos especializados de gestión preventiva y de priorización dentro de los proyectos de conservación.

Fase 5: Nivel de Confianza y Limitaciones de estudio

El nivel de confianza del análisis es el grado de fiabilidad de la información usada y de los resultados obtenidos, según la calidad de las fuentes, la evidencia empírica levantada en campo y la consistencia en la aplicación de la metodología. Por eso no se vincula directamente con la magnitud del riesgo identificado, sino con la solidez técnica de las interpretaciones.

En los tres casos el análisis se apoyó en varias fuentes de información: la observación directa de las cúpulas, la revisión de documentación técnica y patrimonial, los registros de intervenciones previas y el criterio experto de profesionales de la conservación y del análisis estructural. El cruce de información permitió establecer posibles relaciones entre amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones de deterioro, lo que respalda también la coherencia interna de las matrices de riesgo.

Los niveles de confianza asignados a los componentes del análisis reflejan el equilibrio existente entre la evidencia disponible y las limitaciones identificadas. Son aproximaciones técnicas (no mediciones exactas) que expresan el grado de fiabilidad del análisis y, de esta manera, transparentan el alcance real de los resultados.

Se reconoce que el instrumento aplicado, basado en matrices de correspondencia y en la articulación entre factores de riesgo, incluye inevitablemente un componente interpretativo. Pero este componente no debilita la validez del estudio, pues responde a los enfoques contemporáneos de evaluación del riesgo en bienes patrimoniales, donde la combinación de evidencia empírica y criterio experto es una práctica metodológica necesaria y aceptada.

3.4.3. Resultados

Durante el desarrollo del estudio se encontraron varias limitaciones propias del análisis de edificaciones patrimoniales. Entre ellas se encuentran: la ausencia de sistemas de monitoreo instrumental permanente, la disponibilidad desigual de información histórica, las dificultades de acceso a ciertos sectores de las estructuras, y la imposibilidad de realizar ensayos estructurales directos. Condiciones que obligaron, en determinados casos, a recurrir a estimaciones técnicas y a interpretaciones basadas en evidencia indirecta.

En consecuencia, las referencias a la efectividad de los reforzamientos y a la reducción del riesgo en este capítulo son apreciaciones cualitativas basadas en procesos de inspección visual, análisis documental y criterio experto, y los porcentajes de reducción son estimaciones referenciales de la metodología, y no son resultados de una modelación numérica.

Los resultados más importantes de cada uno de los informes elaborados se describen a continuación, para su análisis conjunto:

3.4.3.1.Análisis por componentes de la metodología ABC-GRD

Para identificar patrones comunes y particularidades entre los tres casos de estudio, se elaboró una matriz comparativa basada en los componentes de la metodología ABC-GRD aplicada en la investigación (ver Tabla 29). Esta matriz integra tres dimensiones: los agentes de deterioro del método ABC del ICCROM, las amenazas de los enfoques de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD) y las vulnerabilidades específicas ligadas a las características estructurales y constructivas de las cúpulas patrimoniales analizadas. La comparación buscó mostrar de forma sintética la presencia o ausencia relativa de estos factores en cada caso. Este ejercicio permite reconocer tanto las condiciones de riesgo compartidas por los tres inmuebles como aquellas que responden a particularidades propias de cada edificio y de las intervenciones realizadas en ellos.

La comparación entre los tres casos de estudio permitió observar ciertas condiciones de riesgo que se repiten en las cúpulas analizadas. En particular, los agentes de deterioro asociados a fuerzas físicas directas, la acción del agua, la presencia de contaminantes y los procesos de disociación material aparecen de forma consistente en los tres inmuebles. Estas coincidencias se relacionan tanto con las características constructivas de las cúpulas de mampostería y piedra como con el contexto ambiental y sísmico en el que se localizan.

La radiación solar y la radiación ultravioleta no se identificaron como agentes de deterioro destacados en los casos de estudio, debido a que los materiales predominantes en las cúpulas (piedra, morteros y cerámica) presentan alta estabilidad frente a este tipo de radiación. Del mismo modo, los agentes de robo o vandalismo no se relacionaron con los elementos analizados, porque las cúpulas están en zonas elevadas y de difícil acceso dentro de los templos, lo que limita la intervención directa sobre estos componentes.

Tampoco se hallaron evidencias de afectación directa por fuego en los casos estudiados. Aunque en los templos puede haber fuentes potenciales de ignición asociadas al uso litúrgico (velas o sistemas eléctricos), se ubican sobre todo en las áreas de culto y no en elementos estructurales superiores como las cúpulas, por lo que su incidencia sobre los materiales analizados es limitada en este estudio.

Entre las amenazas de gestión de riesgos de desastres, los tres casos están expuestos a amenazas sísmicas, hidrometeorológicas y geológicas, algo coherente con las condiciones

territoriales de la región andina ecuatoriana. En cambio, otras amenazas, como las tecnológicas, no resultaron significativas para las cúpulas estudiadas.

Tabla 29

Componentes de la metodología ABC-GRD por Caso de Estudio

Componentes Metodología ABC-GRD			Casos de estudio		
Ámbitos		**Factores**	**Matriz de Pujilí**	**Catedral de Latacunga**	**Basílica de Riobamba**
A Agentes de Deterioro (Método ABC - ICCROM)		1. Fuerzas Físicas Directas	x	x	x
		2. Ladrones y Vandalismo	-	-	-
		3. Fuego	-	-	-
		4. Agua	x	x	x
		5. Plagas	x	x	-
		6. Contaminantes	x	x	x
		7. Luz y Radiación UV	-	-	-
		8. Variaciones de Temperatura	-	-	x
		9. Humedad Relativa Incorrecta	-	-	x
		10. Disociación	x	x	x
B Amenazas Típicas de Gestión del Riesgo de Desastres (GRD)	Amenazas Naturales	1. Amenazas Sísmicas	x	x	x
		2. Amenazas Hidrometeorológicas	x	x	x
		3. Amenazas Geológicas	x	x	x
	Amenazas Antrópicas	4. Amenazas Tecnológicas	-	-	-
		5. Amenazas Sociales	-	-	x
C Vulnerabilidades Específicas y Condiciones de Exposición en Cúpulas		1. Estructurales Específicos	x	x	x
		2. Interfaz y Conexiones	x	x	x
		3. Geometría y Configuración Específica	x	x	x
		4. Funcionales y de Uso	-	-	x
		5. Constructivos y Tipológicos	x	x	x
		6. Ambientales Específicos	x	x	x

Las amenazas tecnológicas suelen asociarse a eventos derivados de actividades humanas o infraestructuras tecnológicas, como fallas industriales, explosiones, derrames de sustancias peligrosas o accidentes en sistemas de transporte o redes energéticas. En los casos analizados no se identificaron infraestructuras de este tipo en el entorno inmediato de los templos que pudieran afectar directamente las cúpulas patrimoniales, por lo que su incidencia se considera limitada en el perfil de riesgo evaluado en esta investigación.

Se observaron variaciones en ciertos agentes de deterioro y condiciones de vulnerabilidad, sobre todo por factores ambientales, condiciones de uso y características constructivas específicas. Estas diferencias reflejan tanto las particularidades de cada inmueble como las distintas intervenciones realizadas a lo largo del tiempo, las cuales han introducido condiciones estructurales y materiales que influyen en el perfil de riesgo actual de cada cúpula.

En conjunto, este análisis comparativo sirvió como base para la identificación y evaluación de los riesgos específicos desarrollados en las siguientes secciones.

3.4.3.2.Síntesis general de los riesgos identificados

La aplicación de la metodología de análisis de riesgos en las tres cúpulas patrimoniales permitió identificar un total de 23 riesgos, distribuidos en: 9 riesgos residuales post-intervención y 14 riesgos emergentes derivados de las intervenciones de reforzamiento (ver Tabla 30). Los resultados muestran una reducción de los riesgos asociados con la estabilidad de los sistemas constructivos; sin embargo, también se identificaron nuevas vulnerabilidades vinculadas con las propias soluciones de reforzamiento que necesitarán atención técnica a mediano plazo.

La Iglesia Matriz de Pujilí presenta un total de 7 riesgos; la Catedral de Latacunga, 9 riesgos; y la Basílica de Riobamba, 7 riesgos. Estas diferencias cuantitativas no reflejan una mayor o menor vulnerabilidad de cada edificación, sino que responden a factores específicos como la complejidad técnica de sus intervenciones, el nivel de documentación disponible, las características materiales y constructivas particulares de cada cúpula, así como las condiciones del entorno físico donde se emplazan.

Tabla 30

Distribución de Riesgos Identificados por Caso de Estudio

Factores de Distribución	Iglesia Matriz de Pujilí	Catedral de Latacunga	Basílica de Riobamba
Riesgos Residuales	3	3	3
Riesgos Emergentes	4	6	4
Total Riesgos	**7**	**9**	**7**
MR Promedio Residuales	3.0	7.7	4.4
MR Promedio Emergentes	4.9	4.4	9.7
MR Promedio Total	4.1	5.5	7.4
Rango MR	0.8 - 6.7	1.9 - 11.5	1.6 – 11.9
Nivel Confianza	85% (Medio-Alto)	70% (Medio)	80% (Medio-Alto)

Nota. MR = Magnitud del Riesgo. MR < 10: Bajo; 10 ≤MR<30: Medio; 30 ≤MR<60: Alto; MR≥60: Crítico.

En la Tabla 30 se describe el nivel de confianza del análisis para cada caso, alcanzándose una valoración medio-alto para la iglesia Matriz de Pujilí (85%) y Basílica de Riobamba (80%), y una valoración media para la Catedral de Latacunga (70%). La diferencia entre los niveles de confianza se debe principalmente a la información disponible de cada caso, como la documentación técnica, el acceso a los profesionales responsables de las intervenciones, y el grado de detalle alcanzado durante las inspecciones de campo. En el caso de la Catedral de Latacunga el análisis fue más limitado que el de los demás, pues no se pudo contar con la perspectiva del ingeniero estructural responsable del proyecto, y las entrevistas con el restaurador interviniente mostraron varias deficiencias metodológicas.

Los valores de magnitud del riesgo (MR) se concentran más en el rango bajo (MR < 10), con 21 de los 23 riesgos identificados. Solo 2 riesgos alcanzan magnitud media (10 ≤ MR < 30), y se encuentran en la Catedral de Latacunga (RR-2, infiltraciones residuales por fallas

en impermeabilización, MR = 11.5) y en Basílica de Riobamba (RE-2, fallo prematuro de sistema de impermeabilización Epobild, MR = 11.9). Ninguno de los riesgos alcanzó los umbrales de magnitud alta (30≤MR<60) o crítica (MR≥60), como puede observarse en la Tabla 31.

Tabla 31
Categorización de Riesgos según Magnitud del Riesgo (MR)

Categoría MR	Rango	Iglesia Matriz de Pujilí	Catedral de Latacunga	Basílica de Riobamba	Total	Porcentaje
Crítico	≥ 60	0	0	0	0	0%
Alto	30 ≤ MR < 60	0	0	0	0	0%
Medio	10 ≤ MR < 30	0	1	1	**2**	**8.7%**
Bajo	< 10	7	8	6	**21**	**91.3%**

Los valores obtenidos muestran una reducción importante de los riesgos relacionados con la inestabilidad mecánica y el potencial colapso (valoración cualitativa del análisis de riesgos). Sin embargo, permanecen en los tres casos estudiados vulnerabilidades asociadas principalmente al comportamiento hídrico de las cubiertas y a la durabilidad de los sistemas de impermeabilización.

En general, el valor promedio de MR en riesgos residuales es de 5.0, mientras que para riesgos emergentes se sitúa en 6.0. Esta aproximación cuantitativa muestra que los nuevos riesgos introducidos por las intervenciones poseen, en magnitud, una incidencia comparable a aquellos que persistieron tras los procesos de reforzamiento. Pese a que los promedios de MR son cercanos, los riesgos no presentan las mismas características técnicas ni el mismo horizonte de manifestación. Por ejemplo, en los riesgos emergentes intervienen procesos como la corrosión, la incompatibilidad entre materiales y la concentración de tensiones en las interfaces, con una manifestación estimada entre 15 y 25 años, lo que dificulta su detección temprana mediante una inspección de rutina y complica su gestión preventiva. Y los protocolos de monitoreo instrumental específicos requeridos para gestionarlos no están implementados actualmente en ninguno de los tres casos estudiados.

3.4.3.3.Matriz conglomerada de riesgos

La consolidación de los riesgos identificados en los tres casos de estudio dentro de una misma matriz (ver Tabla 32) permite comparar tanto las singularidades técnicas de cada intervención como los patrones transversales de comportamiento del riesgo en cúpulas patrimoniales sometidas a procesos de reforzamiento estructural. La matriz integra solo los riesgos activos que se evaluaron cuantitativamente; se excluyen los riesgos históricos cuya magnitud fue reducida sustancialmente por las intervenciones ejecutadas.

Aunque los valores de magnitud del riesgo están sobre todo en rangos bajos, hay que interpretarlos considerando el carácter excepcional de los bienes patrimoniales y la naturaleza acumulativa de los procesos de deterioro estructural. El riesgo, a más de ser cuantitativo, es una condición cualitativa que expresa posibles escenarios de afectación para la estabilidad y conservación de un sistema estructural a largo plazo.

Tabla 32

Matriz Conglomerada de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales - Zona 3 Ecuador

Caso	Código	Denominación del Riesgo	Tipo	MR	Categoría
Iglesia Matriz de Pujilí	RR-1	Fisuración estructural residual	Residual	6.5	Bajo
	RR-2	Infiltraciones residuales menores	Residual	1.6	Bajo
	RR-3	Disgregación argamasas residual	Residual	0.8	Bajo
	RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Emergente	2.9	Bajo
	RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Emergente	6.7	Bajo
	RE-3	Pérdida legibilidad histórica sistema constructivo	Emergente	6.4	Bajo
	RE-4	Dependencia de mantenimiento especializado	Emergente	3.6	Bajo
Catedral de Latacunga	RR-1	Fisuración estructural residual	Residual	7.7	Bajo
	RR-2	Infiltraciones residuales menores	Residual	**11.5**	**Medio**
	RR-3	Recolonización biológica	Residual	3.8	Bajo
	RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Emergente	4.3	Bajo
	RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Emergente	2.9	Bajo
	RE-3	Incompatibilidad físico-química materiales de reintegración	Emergente	1.9	Bajo
	RE-4	Ausencia monitoreo estructural continuo post-intervención	Emergente	6.0	Bajo
	RE-5	Metodología de intervención potencialmente agresiva sobre elementos constructivos originales	Emergente	4.8	Bajo
	RE-6	Retiro de material histórico original sin demostración técnica exhaustiva de necesidad	Emergente	6.4	Bajo
Basílica de Riobamba	RR-1	Fisuración estructural residual	Residual	6.5	Bajo
	RR-2	Infiltraciones residuales menores	Residual	5.0	Bajo
	RR-3	Disgregación de argamasas residual	Residual	1.6	Bajo
	RE-1	Incompatibilidad y concentración de tensiones en sistema mixto mampostería-hormigón-fibras	Emergente	8.6	Bajo
	RE-2	Falla efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019	Emergente	**11.9**	**Medio**
	RE-3	Pérdida de legibilidad histórica de sistema constructivo pionero único	Emergente	9.6	Bajo
	RE-4	Dependencia crítica de mantenimiento especializado continuo programado	Emergente	8.5	Bajo

Nota. MR = Magnitud del Riesgo; Tipo: Residual (persiste post-intervención) / Emergente (derivado de la intervención). Los riesgos con MR ≥ 10 se destacan en negrita. VP = 4 (excepcional) en los tres casos. RR = Riesgo Residual, RE =Riesgo Emergente.

Al leer la matriz se distinguen varios aspectos importantes para el análisis comparativo. Los tres casos comparten riesgos residuales de naturaleza similar: fisuración estructural que los reforzamientos no eliminaron por completo (en los tres casos), problemas de infiltraciones de agua (en los tres casos) y pérdida de adherencia de morteros históricos (Matriz de Pujilí y Basílica de Riobamba). La repetición de fisuras, infiltraciones y pérdida de adherencia para varios de los casos muestra que éstos no fueron eliminados completamente en las intervenciones realizadas. Su permanencia podría estar relacionada con las características

técnicas de las soluciones aplicadas, con la evolución propia de los materiales, o con el deterioro mismo de las edificaciones históricas.

Los dos únicos riesgos de magnitud media corresponden a fallas de los sistemas de impermeabilización: en la Catedral de Latacunga (RR-2, infiltraciones residuales menores, MR = 11.5) y en la Basílica de Riobamba (RE-2, falla de efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019, MR = 11.9). Este resultado muestra que el comportamiento hídrico constituyó uno de los desafíos técnicos más complejos en la conservación de estas cúpulas patrimoniales, y que las soluciones aplicadas no alcanzaron una efectividad y durabilidad como la observada en el reforzamiento estructural.

Por otra parte, los tres casos tienen riesgos emergentes ligados a la falta de sistemas de monitoreo y de mantenimiento especializado posterior a la intervención: en la Iglesia Matriz de Pujilí (RE-4, dependencia de mantenimiento especializado, MR=3.6), en la Catedral de Latacunga (RE-4, ausencia de monitoreo estructural continuo, MR=6.0) y en la Basílica de Riobamba (RE-4, dependencia crítica de mantenimiento especializado continuo programado, MR=8.5). La presencia de esta condición en los tres casos permite identificar una característica común de la gestión post intervención: ninguno de los proyectos analizados incorporó un sistema de seguimiento continuo con el alcance necesario para verificar el comportamiento estructural y detectar desviaciones respecto de los parámetros previstos, para activar las medidas preventivas que corresponda.

Esta carencia es más significativa en los riesgos diferidos (15 a 25 años) porque detectarlos a tiempo requiere de instrumentación especializada que en ninguno de los tres casos se encuentra instalada. Bajo este caso se encuentran: la corrosión electroquímica de los elementos metálicos, y la concentración de tensiones en las interfaces entre materiales.

La pérdida de legibilidad histórica del sistema constructivo, como riesgo emergente, se encuentra en dos de los casos analizados: en la Iglesia Matriz de Pujilí (RE-3, MR=6.4) y en la Basílica de Riobamba (RE-3, MR=9.6). Este riesgo no compromete la estabilidad inmediata, pero sí la dimensión documental del bien, al reducir su capacidad de testimoniar las técnicas y los conocimientos constructivos de su época. Este punto es más importante en la Basílica de Riobamba, porque la cúpula octogonal de ocho nervios convergentes era una solución constructiva pionera en el Ecuador del siglo XIX, y los refuerzos con fibra de carbono de la intervención realizada en 2004-2019 alteraron en parte esa expresión material.

Ningún riesgo llegó a una magnitud alta ($30 \leq MR < 60$) o crítica ($MR \geq 60$), por lo que en lo estructural inmediato, ninguna de las tres cúpulas presentaría condiciones para un posible colapso ni requeriría una intervención de emergencia. Esto no debe interpretarse como una estabilidad definitiva de las cúpulas, sino como el resultado puntual de las intervenciones ya ejecutadas. Su efectividad a largo plazo dependerá de la implementación de mantenimiento preventivo, de la realización de monitoreo especializado y de la gestión activa de los riesgos emergentes identificados.

3.4.3.4.Jerarquización comparativa del riesgo

La jerarquización de los riesgos identificados se fundamentó en los valores de MR y en una interpretación técnica integral de cada caso. Se consideraron varios factores como la naturaleza del deterioro, su capacidad de progresión en el tiempo, su potencial de afectación al valor patrimonial del bien, y las capacidades institucionales disponibles para gestionarlo. Con este enfoque se identificaron varios factores de riesgo que piden atención prioritaria por razones técnicas, patrimoniales y de prevención a largo plazo.

De los 23 riesgos activos identificados, 6 concentran las magnitudes más altas y ameritan un análisis por separado. Organizados por MR, de a mayor a menor, son los siguientes:

1. RE-2 Basílica de Riobamba (Falla efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019): MR = 11.9 - Único riesgo medio identificado en Riobamba

2. RR-2 Catedral de Latacunga (Infiltraciones residuales menores): MR = 11.5 - Único riesgo medio identificado en Latacunga

3. RE-3 Basílica de Riobamba (Pérdida de legibilidad histórica de sistema constructivo pionero único): MR = 9.6 - Pérdida patrimonial irreversible

4. RE-1 Basílica de Riobamba (Incompatibilidad y concentración de tensiones en sistema mixto mampostería-hormigón-fibras): MR = 8.6 - Sistema mixto complejo

5. RE-4 Basílica de Riobamba (Dependencia crítica de mantenimiento especializado continuo programado): MR = 8.5 - Riesgo sistémico transversal

6. RR-1 Catedral de Latacunga (Fisuración estructural residual): MR = 7.7 - Riesgo estructural persistente

Es interesante ver que los seis riesgos de mayor magnitud se concentran en dos de los tres casos analizados (Catedral de Latacunga y Basílica de Riobamba), mientras que la Iglesia Matriz de Pujilí no presenta ningún riesgo que supere el umbral de MR = 7.0. Esto no significa que la Iglesia Matriz de Pujilí sea menos vulnerable; sus MR responden a factores específicos como la menor complejidad técnica de su intervención (reforzamiento metálico convencional, sin materiales compuestos), su estado de conservación previo mejor documentado y la ausencia de intervenciones históricas tan invasivas como las de la Catedral de Latacunga y la Basílica de Riobamba.

Análisis de riesgos hídricos de magnitud media

Los dos únicos riesgos de magnitud media identificados en el conjunto analizado comparten una etiología común: ambos derivan de fallas en los sistemas de impermeabilización de cubierta, evidenciando que el control del comportamiento hídrico es el factor de riesgo más crítico del presente estudio. En la cúpula de la Catedral de Latacunga (RR-2, MR = 11.5),

las infiltraciones residuales tendrían su origen en una impermeabilización deficiente efectuada durante la intervención 2021-2022 que no resolvió bien el comportamiento de las juntas constructivas ni su compatibilidad con el sistema de evacuación pluvial existente. Son infiltraciones menores pero constantes, siendo suficiente para deteriorar poco a poco los morteros históricos, favorecer la colonización biológica en las zonas húmedas y, a mediano plazo, comprometer la adherencia de los refuerzos metálicos.

En la Basílica de Riobamba (RE-2, MR = 11.9) el sistema de impermeabilización Epobild nivelador aplicado en 2019, falló antes de lo esperado. En 2026, apenas siete años después, ya se identificaron evidencias de deterioro; las especificaciones técnicas de este tipo de producto elastomérico prometen de 15-20 años. Quedan varias dudas técnicas abiertas, entre ellas: ¿fue la aplicación, la calidad del soporte, el mantenimiento posterior, o el producto no era el adecuado para una cubierta patrimonial en altura (2,754 msnm), con radiación solar intensa, una amplitud térmica diaria de hasta 15°C y episodios de lluvia extrema cada vez más asociados al cambio climático?

Y que el problema de impermeabilización se repita justo en los dos casos de magnitud media marca un potencial patrón: los reforzamientos estructurales (metálicos en la Matriz de Pujilí y Catedral de Latacunga, y con fibra de carbono en la Basílica de Riobamba) redujeron bien los riesgos de inestabilidad mecánica, pero el control de infiltraciones se quedó corto en efectividad y durabilidad. Los resultados muestran una diferencia entre el desempeño observado en el reforzamiento estructural y el comportamiento posterior de los sistemas de impermeabilización. A partir de la información disponible no es posible establecer si esta diferencia estaría relacionada con restricciones presupuestarias, con la prioridad otorgada a los riesgos estructurales o con una valoración insuficiente de los efectos acumulativos de las infiltraciones.

Análisis de riesgos de pérdida patrimonial irreversible

Como se manifestó previamente, en la interpretación de los resultados no se consideró únicamente la MR. También se tomó en cuenta la naturaleza del deterioro y su incidencia sobre el valor patrimonial del bien, especialmente en aquellos casos en los que la afectación puede mantenerse aun cuando la estabilidad estructural no esté comprometida. El riesgo RE-3 de la Basílica de Riobamba (pérdida de legibilidad histórica del sistema constructivo pionero único, MR = 9.6) representa una forma de afectación patrimonial irreversible, y es de naturaleza distinta a los riesgos hídricos o estructurales. La intervención de 2018-2019 logró estabilizar estructuralmente la cúpula octogonal mediante refuerzos con fibras de carbono, pero también alteró la legibilidad del sistema constructivo original de ocho nervios convergentes, el cual resolvía la transición geométrica entre planta octogonal y cubierta cupular.

Los refuerzos con fibra de carbono funcionaron bien mecánicamente, pero alteraron la expresión material del sistema histórico al cubrir parcialmente los nervios de piedra convergentes, lo que hace más difícil leer los principios constructivos originales. Y a diferencia de una pérdida de material, que se puede cuantificar y hasta revertir, este tipo de

afectación toca la dimensión documental del bien y resta su capacidad de testimoniar las técnicas y los saberes constructivos de su época. Este tipo de riesgo emergente posee, por tanto, implicaciones diferentes a los riesgos residuales progresivos: mientras las infiltraciones pueden ser controladas mediante reintervenciones técnicas adecuadas, la pérdida de legibilidad es difícilmente reversible sin llegar a comprometer los refuerzos estructurales introducidos.

Análisis de riesgos estructurales persistentes

El riesgo RR-1 de la Catedral de Latacunga (fisuración estructural residual, MR = 7.7) merece particular atención por mantenerse persistente post-intervención. A pesar de los reforzamientos ejecutados en 2021-2022, persisten fisuras residuales en bóvedas y cúpula cuya evolución no ha sido adecuadamente caracterizada mediante instrumentos especializados. La ausencia de un análisis estructural retrospectivo detallado, que incluya modelamiento del comportamiento sísmico del sistema reforzado y verificación del diseño mediante monitoreo instrumental, limita la capacidad de determinar si estas fisuras son manifestaciones de un acomodamiento post-intervención (fisuras estables a corto plazo) o si son evidencias de concentración de tensiones en zonas no reforzadas adecuadamente (fisuras progresivas a mediano plazo).

Esta incertidumbre técnica se vuelve aún más crítica considerando el contexto sísmico de la edificación (Zona V, PGA = 0.40-0.45g, alta amenaza). La fisuración residual, aunque no alcanza magnitudes que comprometan la estabilidad inmediata, puede evolucionar con sismos recurrentes de menor intensidad y producir fatiga estructural acumulativa; y esto reduciría poco a poco la capacidad de respuesta del sistema ante un sismo de mayor magnitud.

Análisis de riesgos sistémicos asociados a sistemas mixtos

Los riesgos RE-1 y RE-4 de la Basílica de Riobamba, aunque corresponden a fenómenos diferentes, se derivan de la complejidad técnica de un sistema mixto implementado (mampostería-hormigón-fibras de carbono). El riesgo RE-1 (incompatibilidad y concentración de tensiones, MR = 8.6) muestra las dificultades generadas al juntar materiales con comportamientos mecánicos tan distintos. La mampostería histórica de piedra, la cual es flexible y capaz de acomodarse plásticamente; el hormigón armado del siglo XX, el cual es rígido y resistente a tracción; y finalmente la fibra de carbono contemporánea, con una resistencia a tracción altísima pero cuya adherencia depende de resinas epóxicas sensibles a la temperatura y la humedad. Esta combinación de materiales genera interfaces críticas, donde se concentran las tensiones por sismo y por movimiento térmico diferencial, siendo una posible causa para que sigan apareciendo fisuras menores en las zonas de transición.

El riesgo RE-4 (dependencia crítica de mantenimiento especializado, MR = 8.5) nace directamente de esta complejidad. Para que este sistema reforzado dure, hace falta que se efectúen, entre otros procesos especializados: inspecciones especializadas periódicas, el

monitoreo de la adherencia de los refuerzos compuestos, que se controle la humedad en las interfaces, y se dé mantenimiento preventivo a sellados y protecciones superficiales

Mientras sistemas constructivos históricos tradicionales han permanecido durante largos periodos con intervenciones de mantenimiento mínimas, los sistemas mixtos contemporáneos requieren controles periódicos sobre sus interfaces, adherencias, sellados y condiciones de humedad para no verse comprometidos al corto plazo (10-20 años). Esta dependencia de un mantenimiento especializado es un problema serio especialmente en contextos institucionales donde las capacidades técnicas locales son limitadas y el presupuesto para sostener la conservación en el tiempo es incierto.

Priorización operativa resultante

La jerarquización técnica realizada, que considera la magnitud numérica, la naturaleza del deterioro, la reversibilidad del daño y el carácter sistémico, permitió plantear la siguiente priorización operativa:

Prioridad 1 - Intervención a corto plazo (6-12 meses):

Para la Catedral de Latacunga (RR-2) y la Basílica de Riobamba (RE-2) se sugiere el reemplazo o reparación profunda de los sistemas de impermeabilización deficientes, con una especificación técnica rigurosa de materiales validados para contextos de altura, un protocolo de aplicación supervisado por un especialista en conservación y un programa de inspección trimestral posterior a la intervención, durante el primer año.

Prioridad 2 - Acción a mediano plazo (1-2 años):

Para la Catedral de Latacunga (RR-1) se recomienda un análisis estructural retrospectivo de la fisuración residual, con modelamiento por elementos finitos del comportamiento sísmico del sistema reforzado, sensores de fisuración en los puntos críticos y protocolos de monitoreo semestral.

En la Basílica de Riobamba (RE-4) se sugiere diseñar e implementar un programa de mantenimiento especializado del sistema de refuerzos con fibras de carbono, con inspección anual de adherencia por termografía infrarroja, control de humedad en interfaces y la verificación de los sellados perimetrales.

Prioridad 3 - Gestión a largo plazo (2-5 años):

En la Basílica de Riobamba (RE-1) se plantea monitorear la concentración de tensiones en las interfaces con sensores de deformación en las zonas críticas ya identificadas. Se deben definir umbrales de alerta temprana que permitan activar un reforzamiento complementario antes de llegar a estados críticos.

Finalmente, en la Basílica de Riobamba (RE-3) se sugiere documentar a fondo el estado actual del sistema constructivo mediante levantamiento fotogramétrico tridimensional,

escaneo láser y análisis material no destructivo. Con ello se dejaría un registro permanente que preserve la información técnica, aunque la legibilidad física se haya visto comprometida.

Esta jerarquización es una guía que debe adaptarse a la evolución observable de cada riesgo, a la disponibilidad presupuestaria y a las prioridades institucionales de conservación patrimonial. La concentración de los riesgos de mayor magnitud en la Catedral de Latacunga y Basílica de Riobamba sugiere que estos dos casos requieren de atención prioritaria en los diferentes programas de gestión del riesgo patrimonial que se generen a nivel regional.

Respecto a la priorización operativa planteada en la metodología, la Tabla 27 no se aplicó de manera mecánica, sino que se efectuó un ajuste mediante el criterio técnico del autor. La Tabla 27 asigna a los riesgos de magnitud media con VP = 4 una prioridad media de largo plazo; sin embargo, se adelantó la atención de RR-2 (Latacunga) y RE-2 (Riobamba) a corto plazo por tratarse de infiltraciones activas cuyo daño sobre morteros y refuerzos es acumulativo y progresivo. De igual modo, RR-1 (Latacunga) y RE-4 (Riobamba) se ubicaron a mediano plazo por la persistencia de proceso de fisuración en un contexto sísmico de alta amenaza.

3.4.3.5.Análisis de factores causales

La jerarquización de riesgos presentada en los apartados anteriores permite identificar aquellos factores que requieren atención prioritaria desde la perspectiva de gestión del riesgo. La determinación de mejores prácticas aplicables a futuras intervenciones requiere comprender los riesgos más críticos y qué los causó. En los siguientes apartados se analiza, desde una perspectiva comparativa, las amenazas territoriales y vulnerabilidades estructurales que generaron los riesgos identificados, permitiendo establecer patrones técnicos generalizables a intervenciones en bienes patrimoniales de características similares.

3.4.3.5.1. Amenazas territoriales persistentes

Respecto a la distribución de amenazas, el análisis de los riesgos históricos documentados en los tres casos de estudio permitió identificar los factores externos que han condicionado históricamente el comportamiento estructural de las cúpulas y que continúan activos en el territorio (ver Tabla 33). En los tres casos analizados, la amenaza sísmica (B1) aparece como un factor relevante para comprender el origen de las intervenciones de reforzamiento realizadas. Su importancia se complementa con la presencia de precipitaciones intensas (B2) y humedad, que se relacionan con los dos únicos riesgos de magnitud media identificados en el presente estudio (RR-2 en la Catedral de Latacunga y RE-2 en la Basílica de Riobamba).

Esta identificación de amenazas es coherente con las características sísmicas y pluviales de la región. Las tres edificaciones analizadas se ubican en la región andina central del Ecuador, específicamente en las provincias de Cotopaxi (Matriz de Pujilí y Catedral de Latacunga) y Chimborazo (Basílica de Riobamba), territorio caracterizado por condiciones geológicas y climáticas que configuran un escenario complejo de amenazas múltiples.

Las tres localidades están en zona V según la NEC-SE-DS (2015), la cual tiene valores de aceleración máxima del terreno (PGA) entre 0.40g y 0.45g, es decir, están en un área de alta sismicidad. Se encuentran dentro de un sistema de fallas activas regionales y también bajo la influencia del arco volcánico ecuatoriano (en particular, del volcán Cotopaxi en Pujilí y Latacunga). En cuanto a la historia sísmica de la zona, Riobamba vivió en 1797 el terremoto más destructivo que registra Ecuador, tan grave que obligó a reubicar la ciudad entera. En Pujilí, las torres de su iglesia matriz sufrieron daños estructurales en los sismos de 1949 y 1998. Latacunga, por su parte, tiene episodios recurrentes de actividad sísmica de origen tectónico y volcánico.

Comparten además el mismo régimen pluvial andino, el cual tiene dos periodos lluviosos (de febrero a mayo y de octubre a noviembre) separados por una estación seca (entre junio y septiembre). Los volúmenes de precipitación anual varían según la altitud y el microclima. Riobamba, por su parte, recibe entre 800 y 1200 mm/año, Latacunga entre 1000 y 1400, y Pujilí entre 1200 y 1500. Estos valores además crecen conforme aumenta la influencia de los flujos húmedos que vienen de la vertiente occidental de los Andes. Esta variabilidad depende de fenómenos macroclimáticos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), que provoca episodios de intensificación o reducción notable de las lluvias. Las precipitaciones intensas son ocasionales, pero superan una y otra vez la capacidad de los sistemas históricos de evacuación pluvial de estas edificaciones religiosas, diseñados antes de los estándares técnicos actuales. Esto podría explicar la persistencia de vulnerabilidades por infiltraciones en cubiertas y que los sistemas de impermeabilización de intervenciones recientes se deterioren de forma prematura.

La combinación de alta sismicidad y un régimen pluvial significativo, junto con las amenazas volcánicas latentes (caída de ceniza y posibles flujos piroclásticos si el volcán Cotopaxi entra en erupción), crea un contexto territorial que exige criterios rigurosos de diseño, intervención y mantenimiento a largo plazo, para preservar estos bienes patrimoniales de valor excepcional.

La evaluación de la capacidad de respuesta de las intervenciones ante las amenazas territoriales identificadas muestra un patrón de efectividad diferenciada entre los logros y las deficiencias de los proyectos analizados (ver Tabla 33). La respuesta a la amenaza sísmica, que es el principal motivo detrás de las intervenciones, fue sólida en los tres casos. La amenaza persistente B1-1 (sismicidad de Zona V) se enfrentó con distintas estrategias de reforzamiento que se orientaron a controlar esfuerzos y fisuración estructural; en dos de los tres casos se usó reforzamiento metálico, con buenos resultados en la reducción del riesgo. Estos resultados constituyen una evidencia favorable sobre el comportamiento de esta estrategia para estabilizar cúpulas patrimoniales de gran altura, en zonas de alta sismicidad.

Tabla 33

Amenazas Territoriales Identificadas: Caracterización y Capacidad de Respuesta Documentada

Categoría	Código GRD	Amenaza / FA	Recurrencia	Caracterización	Capacidad de Respuesta Observada	Hallazgo Principal
Sísmicas	B1-1	Zona de alta sismicidad	3/3 casos	Zona V, PGA 0.40-0.45g; eventos históricos documentados (1797, 1949, 1998, 2016)	**ALTA**: Refuerzos estructurales redujeron significativamente el riesgo crítico en los tres casos	**Factor estructurante del riesgo**: Amenaza que justificó intervenciones; estrategias presentaron un desempeño favorable según las evidencias disponibles
	B1-4 (FA)	Deterioro de la estructura portante	3/3 casos	Daño estructural acumulado en sistemas XVIII-XIX sin mantenimiento previo	**ALTA**: Consolidaciones e inyecciones restauraron capacidad portante	**Problema histórico resuelto**: Técnicas de consolidación fueron efectivas
	B1-5 (FA)	Conexiones estructurales inadecuadas	2/3 casos (Pujilí, Riobamba)	Sistemas históricos. Deficiencias constructivas típicas: interfaces débiles, apoyos inadecuados	**ALTA**: Refuerzos estructurales (metálicos y compuestos) mejoraron conexiones deficientes	**Problema histórico resuelto**: Reforzamientos corrigieron deficiencias constructivas originales
	B1-6 (FA)	Rigidez diferencial entre elementos	3/3 casos	Sistema mixto **Factor amplificador** de amenaza sísmica: Interfaces mampostería-hormigón-acero generan concentración tensiones que amplifican localmente las demandas sísmicas	**MEDIA**: Genera riesgos emergentes de incompatibilidad térmica/mecánica en interfaces	**Factor amplificador no previsto**: Las intervenciones neutralizaron FA históricos pero introdujeron nuevo FA inherente al sistema mixto
Hidrometeo-rológicas	B2-1	Precipitaciones intensas frecuentes	3/3 casos	Régimen andino, 800-1500 mm/año; eventos extremos >60mm/24h superan capacidad sistemas históricos	**BAJA**: Persisten 2 riesgos medios por fallas en impermeabilización	**Deficiencia crítica identificada**: Contraste marcado con efectividad ante amenazas sísmicas
	B2-8	Cambio climático	2/3 casos (Latacunga, Riobamba)	Incremento intensidad precipitaciones siglo XXI;	**BAJA**: Fallo de sistema 2019 ante evento extremo (fallo prematuro)	**Amenaza emergente no contemplada**: Sistemas no

		(eventos extremos)		eventos superan parámetros diseño		diseñados para escenarios climáticos futuros
Geológicas	B3-6	Actividad volcánica (cenizas, gases)	3/3 casos	Caída de ceniza **Episódica recurrente**: erupción de volcanes Cotopaxi 2015 y Tungurahua 1999-2016 documentados; deposición ceniza genera sobrecarga temporal en cubiertas + obstrucción de drenajes	**ALTA:** Las intervenciones de consolidación estructural y mejora del sistema de drenaje favorecen la evacuación pluvial, mientras que la acción natural de lluvia y viento contribuye a remover progresivamente la ceniza volcánica depositada.	**Amenaza territorial episódica**: Requiere protocolos de respuesta rápida en zona de influencia volcanes activos (Tungurahua, Cotopaxi)
Sociales	B5-7	Actividades incompatibles cercanas	1/3 casos (Riobamba)	Tráfico vehicular intenso (contexto urbano) Vibraciones continuas + contaminación atmosférica (SO_2, NO_x)	**MEDIA**: Refuerzos reducen vulnerabilidad a vibraciones; sin medidas contra contaminación	**Amenaza específica de contexto**: Requiere evaluación caso por caso en centros históricos activos

Nota. La tabla caracteriza amenazas territoriales identificadas que condicionan el comportamiento de las cúpulas analizadas. Distingue entre amenazas persistentes (condiciones continuas como sismicidad y precipitaciones), episódicas (eventos cíclicos como erupciones volcánicas), históricas (presentes antes de intervenciones, mitigadas), y emergentes (generadas por intervenciones o cambios ambientales). Se incluyen amenazas con recurrencia 1/3 cuando son características del contexto territorial y tienen implicaciones para intervenciones futuras en la región (B3-6 caída de ceniza, B5-7 tráfico vehicular urbano). "Capacidad de Respuesta" evalúa la efectividad de las estrategias aplicadas ante cada amenaza. "FA" etiqueta a los factores amplificadores identificados. La columna "Código GRD" corresponde a la codificación de Amenazas presentadas en el Anexo 2, sección B.

Este éxito ante amenazas sísmicas contrasta con la baja capacidad de respuesta documentada ante amenazas hídricas. La amenaza persistente B2-1 (precipitaciones intensas del régimen andino) generó los dos únicos riesgos de magnitud media identificados en el conjunto analizado: infiltraciones residuales en la Catedral de Latacunga (RR-2, MR=11.5) por deficiencias en la impermeabilización ejecutada en 2021-2022, y el fallo prematuro del sistema de impermeabilización Epobild nivelador en la Basílica de Riobamba (RE-2, MR=11.9) 7 años después de su aplicación en 2019. Que las fallas de impermeabilización aparezcan en dos casos independientes confirma que el control del comportamiento hídrico es un punto vulnerable de las intervenciones analizadas, cuyas soluciones no respondieron de manera adecuada a la realidad del contexto ni a los escenarios climáticos futuros (B2-8).

Los factores amplificadores de la amenaza sísmica identificados en el análisis (B1-4: deterioro acumulado de la estructura portante; B1-5: conexiones estructurales inadecuadas; y B1-6: rigidez diferencial en sistema mixto), evidencian la complejidad en el comportamiento de los sistemas constructivos patrimoniales que han experimentado múltiples procesos de transformación a lo largo de su historia. Los factores amplificadores B1-4 y B1-5, presentes en los sistemas históricos antes de las intervenciones contemporáneas, se neutralizaron con consolidaciones estructurales y reforzamientos metálicos que restauraron la capacidad portante y corrigieron deficiencias constructivas originales.

Aunque las intervenciones neutralizaron los factores amplificadores históricos (B1-4, B1-5) y, al aumentar la capacidad estructural, mitigaron la amenaza sísmica primaria; agregaron un nuevo factor amplificador que no provenía de la historia del edificio, sino de la propia intervención: rigidez diferencial en sistema mixto (B1-6). Al incorporar acero inoxidable, que es un material de alta rigidez, en una mampostería histórica, se crean interfaces donde conviven materiales con distintos comportamientos mecánicos y térmicos (sistema mixto mampostería-hormigón-acero). Esa mezcla amplifica localmente las demandas sísmicas en las zonas de contacto y genera concentraciones de tensión que no tenía el sistema homogéneo original. Esto puede observarse en la fisuración residual que persiste en las interfaces de mampostería-acero de los tres casos (RR-1), y en los riesgos por incompatibilidad térmica entre materiales con distintos coeficientes de expansión. Este nuevo factor amplificador cambiará la forma en cómo responde el sistema a futuros sismos, por lo que sus efectos deberán considerarse para futuras intervenciones, y como referencia técnica en proyectos de conservación con similares características.

La amenaza volcánica (B3-6) presente en los tres casos, es una característica territorial importante de la Zona 3 que debe tenerse en cuenta al planificar intervenciones futuras. En la región hay dos volcanes activos, el Tungurahua y el Cotopaxi, y sus erupciones dejan caída de ceniza de forma periódica. Al acumularse en la geometría cóncava de una cúpula, esa ceniza puede generar sobrecargas temporales y tapar los sistemas de drenaje. Las intervenciones recientes (en los cuales se realizaron procesos de consolidación estructural, renovación de cubiertas, y mejora de drenaje) ayudan a manejar esos episodios, porque agilizan la evacuación pluvial y acortan el tiempo que la ceniza pasa sobre la cúpula.

Sumando a estos procesos la limpieza natural que hacen el viento y la lluvia, se reducen tanto la acumulación prolongada de ceniza como el riesgo de sobrecarga o de retención de humedad en los materiales históricos. La accesibilidad para las labores de mantenimiento y limpieza es muy importante, especialmente en cúpulas ubicadas en provincias o localidades cercanas a volcanes activos, pudiendo considerarse como criterio de conservación preventiva en futuras intervenciones de la Zona 3.

3.4.3.5.2. Vulnerabilidades estructurales críticas

El análisis comparativo de las vulnerabilidades identificadas en los tres casos de estudio revela patrones técnicos consistentes que permiten distinguir entre estrategias de mitigación efectivas, soluciones de efectividad limitada, y omisiones críticas recurrentes (ver Tabla 34). La evaluación posterior permitió estimar reducciones en el riesgo estructural original de entre el 60 % y 80 % (estimaciones referenciales del autor); estos valores fueron obtenidos a partir de la comparación de los riesgos antes y después de las intervenciones, y están documentados en los anexos 10 al 12. Los valores mencionados corresponden a las vulnerabilidades estructurales-mecánicas C1-1, C1-2 y C3-5, atendidas mediante estrategias de reforzamiento estructural tales como: sistemas metálicos (aplicados en dos de los tres casos analizados) y refuerzos compuestos con fibras de carbono.

La vulnerabilidad C1-2 (empujes horizontales no controlados) apareció en los tres casos, lo cual sugiere que este comportamiento podría estar relacionado con características estructurales comunes de las cúpulas analizadas. En las tres cúpulas se aplicaron distintas soluciones para controlar esos empujes, como: cosido estructural tipo “espina de pez” con barras de acero inoxidable, refuerzos compuestos con fibra de carbono, e inyecciones estructurales de consolidación. Estas estrategias resultaron favorables en los tres casos, según las inspecciones y el análisis documental, en cuanto al control de desplazamientos y fisuración asociados a los empujes horizontales.

En las iglesias Matriz de Pujilí y Catedral de Latacunga se observa la vulnerabilidad de corrosión potencial en elementos metálicos (C2-6). En las dos intervenciones se usó acero inoxidable, que es el material correcto según los estándares de conservación, pero el problema es que no existe experiencia documentada de cómo se comporta el acero inoxidable embebido en la piedra pómez, después de 15 años, y en un contexto andino con ciclos térmicos marcados y humedad relativa alta. Es una incertidumbre técnica, y no un error de especificación. De esto surge el riesgo emergente RE-1 para ambos casos (MR=2.9 en la Matriz de Pujilí, MR=4.3 en la Catedral Latacunga), con un horizonte de aparición estimado entre 15 y 25 años, plazo en el que podría manifestarse como una corrosión electroquímica no prevista en la propuesta de intervención.

Tabla 34

Vulnerabilidades Estructurales Críticas Identificadas: Patrones de Recurrencia y Efectividad de Mitigaciones Aplicadas

Categoría	Código	Vulnerabilidad	Recurrencia	Estrategia Aplicada	Efectividad Observada	Hallazgo Principal
Estructurales específicos	C1-1	Concentración de cargas en puntos específicos	2/3 casos Pujilí Riobamba	Reforzamiento estructural localizado (cosido estructural metálico y refuerzos compuestos)	**ALTA**: Reducción estimada del 60%-80% del riesgo original; estabilización estimada	**Estrategia efectiva**: Refuerzos estructurales presentaron un desempeño favorable, según las evidencias disponibles, en sistemas con concentración de cargas
	C1-2	Empujes horizontales no controlados hacia muros perimetrales	3/3 casos	Sistema de contención de empujes mediante reforzamientos estructurales (cosido tipo “espina de pez” con barras de acero inoxidable, refuerzos con fibras compuestas e inyecciones estructurales de consolidación)	**ALTA**: Estabilización estructural estimada; control de desplazamientos	**Patrón recurrente**: Vulnerabilidad inherente a cúpulas de bóveda; mitigación favorable en los casos analizados
Interfaz y Conexiones	C2-2	Incompatibilidad de materiales en juntas	3/3 casos	Consolidación estructural mediante inyecciones de mortero y lechadas compatibles.	**MEDIA**: Reducción parcial; persisten incompatibilidades latentes	**Solución paliativa**: Efectividad limitada en juntas entre materiales heterogéneos
	C2-3	Movimientos diferenciales entre elementos	2/3 casos Pujilí Riobamba	Inyecciones estructurales en interfaces	**MEDIA**: Mejora adherencia; persisten movimientos menores en interfaces	**Solución paliativa**: Reduce pero no elimina movimientos diferenciales en sistemas multi-generacionales
	C2-6	Corrosión potencial en elementos de conexión metálicos	2/3 casos Pujilí Latacunga	Acero inoxidable (Sin monitoreo de corrosión implementado)	**INCIERTA:** Genera riesgo emergente RE-1 por ausencia de precedentes en contexto	**Incertidumbre técnica recurrente:** Aplicación de material apropiado en contexto sin

					específico (horizonte 15-25 años)	experiencia documentada (piedra pómez andina). Ausencia de protocolos de monitoreo en ambos casos.
	C2-7	Deterioro de sellos y juntas de estanqueidad	1/3 casos Riobamba	(Deterioro de sistemas de impermeabilización) Impermeabilización Epobild (2019)	**BAJA**: Fallo prematuro 7 años; genera RE-2 (MR=11.9)	**Fracaso técnico documentado**: Sistema inadecuado para solicitaciones reales del contexto
Geometría y Configuración Específica	C3-5	Amplificación de movimientos sísmicos por altura	2/3 casos Latacunga Riobamba	Reforzamiento concentrado en base y puntos críticos	**ALTA**: Reducción efectos amplificación dinámica	**Estrategia efectiva**: Refuerzo en base de cúpulas >35m mostró un desempeño favorable
Constructivos y Tipológicos	C5-2	Materiales tradicionales sin mantenimiento adecuado	2/3 casos Latacunga Riobamba	(Sin protocolo de mantenimiento) **No implementada**: Ausencia de protocolos formalizados	**NULA**: No existen sistemas de monitoreo instrumental	**Brecha identificada**: Ninguno de los proyectos contempló monitoreo post-intervención
	C5-5	Intervenciones previas inadecuadas o reversibles	2/3 casos (Pujilí, Riobamba)	(Incompatibilidades heredadas de intervenciones inadecuadas) Corrección parcial / convivencia con elementos incompatibles	**MEDIA**: Corrección de efectos visibles; incompatibilidades latentes persisten	**Complejidad multi-generacional**: Intervenciones históricas (1950-2000) condicionan soluciones contemporáneas

Nota. La tabla sintetiza vulnerabilidades recurrentes identificadas en el análisis comparativo. "Recurrencia" indica validación empírica del patrón en múltiples casos independientes. "Efectividad Observada" evalúa los resultados documentados de las estrategias aplicadas. Los hallazgos evidencian: (1) estrategias estructurales consistentemente exitosas, (2) omisiones críticas que se repitieron en múltiples proyectos, y (3) soluciones de efectividad limitada que requieren complemento. La columna "Código" corresponde a la codificación de Vulnerabilidades presentadas en el Anexo 2, sección C.

Las vulnerabilidades asociadas a incompatibilidad de materiales (C2-2) e interfaces débiles (C2-3) recibieron mitigaciones de efectividad media, mediante consolidación química e inyecciones estructurales respectivamente. Estas estrategias redujeron en parte las manifestaciones de deterioro, pero no eliminaron completamente el riesgo. La vulnerabilidad relacionada con interfaces débiles (C2-3) puede ser difícil de resolver en sistemas constructivos multigeneracionales, ya que coexisten materiales de comportamientos mecánicos distintos (mampostería histórica de piedra, hormigones de intervenciones del siglo XX y elementos metálicos contemporáneos). Las inyecciones estructurales mejoraron la adherencia en las interfaces críticas, pero quedan movimientos menores, lo cual sugiere que no se puede homogeneizar totalmente el comportamiento de un sistema heterogéneo. Por lo tanto, deben considerarse como vulnerabilidades de gestión continua que requieren de monitoreo y mantenimiento preventivo, ya que son problemas que una sola intervención no puede resolver para siempre.

La ausencia de protocolos formalizados de mantenimiento preventivo y de sistemas de monitoreo instrumental posteriores a las intervenciones (C5-2) es un factor común en los tres casos analizados. Esta condición limita la posibilidad de verificar el comportamiento de los sistemas reforzados y de identificar oportunamente procesos de deterioro progresivo.

Finalmente, la comparación de las Tablas 33 y 34 permitió reconocer dos grupos de resultados. Se observaron respuestas favorables en las soluciones de reforzamiento estructural evaluadas, y se identificaron aspectos pendientes relacionados con el monitoreo, el mantenimiento y el control hídrico. Junto con la revisión de la literatura especializada y el criterio técnico del autor, estos resultados sirvieron de base para el desarrollo de lineamientos prácticos para futuras intervenciones.

CAPÍTULO IV

4. Mejores Prácticas Aplicables a Intervenciones de Bienes Patrimoniales Religiosos en Cúpulas de Piedra

4.1. Introducción

El análisis desarrollado en el capítulo anterior evidenció patrones técnicos recurrentes en las intervenciones ejecutadas en las tres cúpulas patrimoniales estudiadas. Entre ellos se identificaron: estrategias de reforzamiento estructural que demostraron alta efectividad ante amenazas sísmicas, omisiones críticas que se repitieron en proyectos independientes, y deficiencias sistemáticas en aspectos específicos como el control del comportamiento hídrico. Estos hallazgos empíricos, integrados con el criterio técnico derivado de la experiencia profesional del autor en proyectos de conservación patrimonial y con las recomendaciones de la literatura especializada, conforman los cimientos de la presente propuesta de mejores prácticas aplicables a futuras intervenciones en bienes patrimoniales religiosos con cúpulas de piedra en contextos territoriales similares.

Fue necesario incluir la opinión de los profesionales que trabajan en la conservación y restauración del patrimonio arquitectónico, para lo cual se aplicó una encuesta de percepción dirigida a profesionales con amplia experiencia en el área y que conocen bien el patrimonio ecuatoriano. Los resultados en detalle se desarrollan en el Anexo 7. Se encontró que existe una misma visión sobre la dificultad técnica, estructural y patrimonial que implica intervenir cúpulas de piedra en edificios religiosos. También se les consultó sobre las principales patologías y retos técnicos inmersos en estos proyectos, así como las limitaciones metodológicas y normativas que afectan la eficacia de las intervenciones actuales. Esta opinión profesional es una fuente empírica importante que permitió definir los criterios y lineamientos técnicos de las mejores prácticas en la intervención de estructuras patrimoniales.

En lo metodológico, los profesionales manifestaron que es necesario fortalecer el diagnóstico estructural, mediante el uso de la inspección visual detallada, el estudio de materiales, la evaluación estructural y sísmica, y el conocimiento histórico y constructivo de las cúpulas de piedra. La encuesta mostró una práctica profesional mixta, que usa tanto técnicas tradicionales como herramientas tecnológicas actuales. Esto lleva a intervenciones hechas para cada caso y que pueden cambiar según lo necesario. Así se confirma que las decisiones en el área patrimonial no pueden basarse en soluciones estándar. Requieren procesos de análisis estrictos que consideren tanto los factores técnicos como los valores culturales y simbólicos del bien.

Los profesionales consultados dejaron el costo económico en un segundo plano, y valoraron más los aspectos técnicos (durabilidad, la compatibilidad de materiales y la reversibilidad), demostrando una conciencia patrimonial establecida. Identificaron que la normativa actual no es suficiente para apoyar los procesos de intervención, y que es necesario que los enfoques respondan a las particularidades de las cúpulas de piedra en zonas sísmicas. Las ideas de los

profesionales encuestados dieron una base empírica firme para complementar el marco de mejores prácticas aplicables a la intervención de bienes patrimoniales religiosos. Este marco integra todos estos aprendizajes para superar las fallas detectadas, y se ha adaptado al contexto de la conservación del patrimonio arquitectónico de la Sierra ecuatoriana.

Las mejores prácticas desarrolladas funcionan como orientaciones técnicas adaptables a las particularidades de cada bien patrimonial, su entorno y las capacidades de cada institución. Debido a la singularidad de estos bienes, cada proyecto de intervención requiere un análisis diferenciado para su aplicación.

La propuesta gira en torno a tres ejes:

1. Criterios técnicos para el diseño efectivo de reforzamientos estructurales que sean compatibles con el valor patrimonial del bien

2. Estrategias de control del comportamiento hídrico de cubiertas con durabilidad comprobada

3. Protocolos de gestión del riesgo post-intervención que garanticen la sostenibilidad de las soluciones implementadas

Estos tres ejes responden a las deficiencias identificadas en el análisis comparativo y buscan elevar el rigor técnico en los aspectos donde las intervenciones estudiadas tuvieron limitaciones o fracasos documentados.

4.2. Criterios generales para intervenciones en cúpulas patrimoniales

4.2.1. Principios rectores

Toda intervención en cúpulas patrimoniales de piedra debe basarse en los principios establecidos por los documentos internacionales de conservación patrimonial. Estos documentos son la Carta de Venecia de 1964, el Documento de Nara de 1994 y los Principios de Análisis, Conservación y Restauración Estructural del ICOMOS de 2003. Se han ajustado a las características de las edificaciones religiosas históricas en zonas con alta amenaza sísmica. Los siguientes principios forman el marco conceptual obligatorio.

- **Mínima intervención:** Las soluciones técnicas deben resolver el problema estructural identificado sin hacer cambios innecesarios en el sistema constructivo histórico. El caso de la Catedral de Latacunga, donde se documentó el retiro significativo de material pétreo original del tambor (RE-6), muestra lo que pasa cuando una intervención va más allá de lo necesario: se producen pérdidas patrimoniales irreversibles.

- **Compatibilidad material:** Los materiales introducidos deben ser compatibles en lo físico, químico y mecánico con los históricos. Esa compatibilidad significa, además de que no haya reacciones químicas dañinas, que sean parecidos en propiedades térmicas, elásticas y de permeabilidad al vapor de agua. Usar materiales con mucha más rigidez,

como acero o fibras de carbono, en sistemas de mampostería crea zonas críticas donde se concentran tensiones. Esto se vio en los tres casos estudiados por la persistencia de fisuras residuales en las zonas de contacto.

Primacía de materiales tradicionales y compatibles: Conforme a la Carta de Venecia (art. 10), la consolidación debe recurrir en primer lugar a técnicas y materiales tradicionales, y solo cuando estos resulten inadecuados pueden emplearse técnicas modernas cuya eficacia esté demostrada con base científica y garantizada por la experiencia. Por ello, los materiales tradicionales o compatibles con la fábrica histórica (morteros y lechadas de cal, reintegración con piedra y mortero compatibles y, cuando se requiera un refuerzo adicional, compuestos de fibra de vidrio o carbono con resina evaluada) deben primar siempre sobre la inserción de elementos metálicos rígidos en la mampostería. Los riesgos emergentes de incompatibilidad electroquímica y de concentración de tensiones en las interfaces (RE-1 y RE-2 en la Iglesia Matriz de Pujilí y Catedral de Latacunga; RE-1 en la Basílica de Riobamba) evidencian las consecuencias de invertir este orden.

- **Reversibilidad potencial:** Aunque no es posible lograr una reversibilidad total en intervenciones estructurales de este tamaño, es mejor escoger técnicas y materiales tradicionales que se puedan quitar en el futuro, de manera técnica y sin causar más daño al sustrato histórico.

- **Distinguibilidad:** Las adiciones contemporáneas deben poder reconocerse como tales, aunque en estructuras que no se ven (como los refuerzos internos en cúpulas) esto se logra más con una documentación completa que con diferencias visuales. En la Iglesia Matriz de Pujilí, por ejemplo, algunos refuerzos metálicos se cubrieron con tanto cuidado que es difícil encontrarlos sin hacer una inspección invasiva, lo que dificulta que los técnicos identifiquen las zonas intervenidas.

- **Documentación exhaustiva:** El nivel de confianza reducido que se obtuvo en el análisis de la Catedral de Latacunga (70%) se debió a deficiencias en la documentación de la intervención de 2021-2022. Esto evidencia directamente que documentar no es un trámite, sino una obligación con quienes tendrán que cuidar el bien en el futuro. Cada intervención debería registrar, como mínimo, el estado previo, la justificación técnica de las soluciones adoptadas y un respaldo fotográfico del proceso.

4.2.2. Caracterización previa del sistema constructivo

La caracterización técnica del sistema constructivo histórico constituye el fundamento de cualquier intervención estructural competente. Esta caracterización no puede limitarse a inspecciones visuales superficiales ni a la aplicación mecánica de métodos de análisis estructural convencionales diseñados para edificaciones contemporáneas. Requiere de aproximaciones específicas que reconozcan las particularidades de los sistemas constructivos patrimoniales.

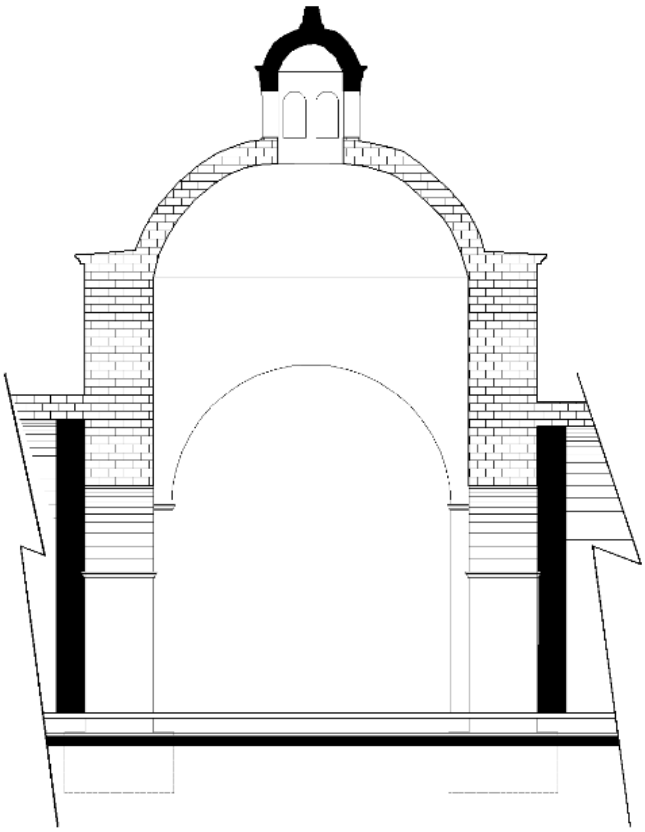
Análisis tipológico y constructivo

El primer paso consiste en identificar el tipo constructivo de la cúpula y su relación con el sistema portante general del edificio. Las cúpulas estudiadas presentaron tres variantes tipológicas diferentes:

Iglesia Matriz de Pujilí: Cúpula rebajada de base o planta rectangular de esquinas redondeadas con apoyo directo sobre muros portantes, sin sistema de pechinas, configuración técnicamente singular que genera concentración de cargas en zonas específicas (ver Figura 28).

Figura 28

Corte transversal de la cúpula, Iglesia Matriz de Pujilí

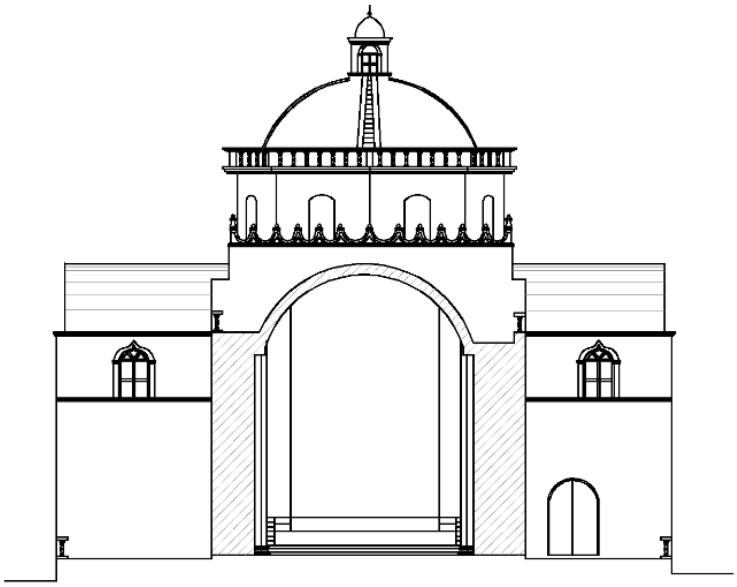


Nota: Tomado del plano de la *Iglesia Matriz de Pujilí-Cotopaxi Análisis de Estado Actual Cortes*, de León (2013)

Iglesia Catedral de Latacunga: Cúpula de madia naranja o semiesférica, de base o planta circular sobre tambor, sistema más convencional que distribuye empujes mediante pechinas (ver Figura 29).

Figura 29

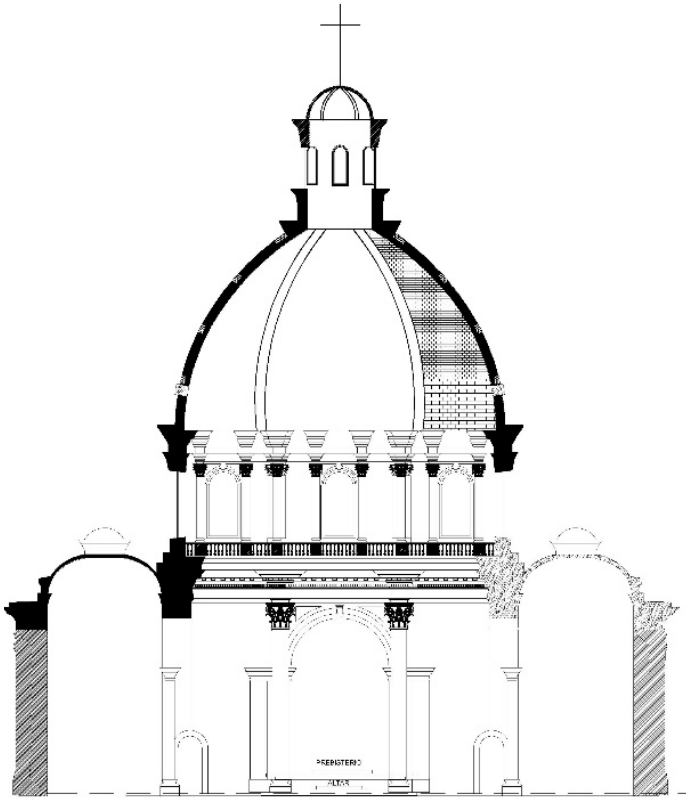
Corte transversal de la cúpula, Iglesia Catedral de Latacunga



Nota: Tomado del plano del *Proyecto de Restauración Parcial de la Catedral de Latacunga*, de Michelena et al. (2021).

Figura 30

Corte transversal de la cúpula, Iglesia Basílica de Riobamba



Nota: Tomado del plano de *Reforzamiento y Consolidación Estructural de la Cúpula y Cupulines de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús de la ciudad de Riobamba*, de Manosalvas (2016)

Basílica de Riobamba: Cúpula peraltada, de base o planta octogonal, con ocho nervios convergentes sobre sistema de pilastras y columnas interiores de piedra, solución pionera en el contexto ecuatoriano del siglo XIX (ver Figura 30).

La identificación tipológica determina el tipo de reforzamientos aplicables. Una intervención competente en la Iglesia Matriz de Pujilí requirió reconocer que la ausencia de pechinas genera comportamiento estructural diferenciado que no puede resolverse mediante soluciones estándar aplicables a cúpulas convencionales.

Caracterización material

La caracterización de materiales debe incluir:

- **Identificación petrográfica:** Tipo de piedra, procedencia probable, estado de conservación y presencia de alteraciones (disgregación granular, formación de costras, colonización biológica). En contextos andinos es frecuente usar piedra pómez y andesitas, cuyas propiedades mecánicas difieren de las de calizas o granitos.

- **Caracterización de morteros:** Composición, relación aglomerante/árido, resistencia mecánica, grado de carbonatación, compatibilidad con morteros de reparación. Los morteros históricos de cal presentan resistencias inferiores a morteros cementicios contemporáneos, lo que condiciona la adherencia de refuerzos.

- **Identificación de intervenciones previas:** Materiales introducidos en intervenciones históricas (hormigones siglo XX, morteros de cemento, elementos metálicos), su estado actual, y su compatibilidad con el sistema original. Los tres casos estudiados tuvieron intervenciones de varias generaciones (1950-2022), e identificarlas fue clave para entender el comportamiento actual.

Evaluación del estado de conservación

La evaluación debe cuantificar:

- **Fisuración:** Ubicación, orientación, abertura, profundidad, actividad (estable vs. progresiva). Las fisuraciones deben mapearse sobre levantamientos geométricos precisos y no sobre croquis aproximados.

- **Deformaciones:** Desplomes, alabeos, asentamientos diferenciales. En cúpulas de gran altura (35-36m como en los casos estudiados), variaciones milimétricas pueden indicar procesos de deformación significativos.

- **Pérdidas materiales:** Disgregación de morteros, erosión de piedra, pérdida de secciones, que afectan la capacidad portante residual del sistema.

- **Alteraciones químicas y biológicas:** Eflorescencias salinas, colonización por microorganismos, formación de pátinas o costras. Aunque no comprometen

directamente la estabilidad inmediata, indican condiciones de humedad que pueden afectar la durabilidad de refuerzos metálicos.

4.2.3. Evaluación del contexto territorial

La caracterización del contexto territorial determina las demandas que el sistema estructural debe resistir y condiciona el diseño de reforzamientos. Para cúpulas patrimoniales en la Zona 3 del Ecuador, tres aspectos son críticos:

Amenaza sísmica

Estar en Zona V según la NEC-SE-DS (PGA 0.40-0.45g) clasifica el territorio como de alta sismicidad, por lo que es obligatorio diseñar reforzamientos que garanticen la estabilidad ante eventos sísmicos. Aplicar a estructuras históricas los códigos sísmicos actuales, pensados para edificaciones nuevas, no es adecuado: conceptos como “ductilidad” o “disipación de energía” deben interpretarse según el comportamiento específico de los sistemas de mampostería no reforzada.

El análisis sísmico debe considerar:

- **Respuesta dinámica del sistema:** Período fundamental de vibración, modos de vibración relevantes y puntos de concentración de tensiones dinámicas. Las cúpulas de gran altura, como las estudiadas (35-36m), tienen períodos fundamentales elevados que pueden producir resonancia ante ciertos tipos de sismo.

- **Amplificación local:** Características del suelo de fundación y potencial de amplificación de ondas sísmicas. En los valles andinos son frecuentes los suelos aluviales, que amplifican las aceleraciones.

- **Comportamiento histórico:** Respuesta documentada ante sismos previos. Que las tres cúpulas hayan vivido eventos históricos significativos (1797 Riobamba, 1949/1998 Pujilí) y sigan en pie es una evidencia empírica valiosa sobre su capacidad de respuesta.

Régimen pluvial y condiciones climáticas

El régimen pluvial andino (800-1500 mm/año), con eventos extremos >60mm/24h, es un factor de deterioro continuo que ha resultado más difícil de controlar que la amenaza sísmica. La evaluación debe cuantificar:

- **Volúmenes de precipitación:** Datos históricos de estaciones meteorológicas cercanas, considerando las tendencias del cambio climático, que pueden aumentar la intensidad de los eventos extremos.

- **Capacidad de evacuación de sistemas históricos:** Dimensionamiento de gárgolas, canalones y bajantes. La experiencia de los casos estudiados indica que estos

sistemas se dimensionaron para precipitaciones históricas, que los eventos actuales, intensificados por el cambio climático, pueden superar.

- **Condiciones de temperatura y humedad relativa:** Ciclos de congelamiento-deshielo (relevantes sobre 3000 msnm) y rangos de humedad relativa que condicionan los riesgos de corrosión en elementos metálicos. Riobamba, a 2754 msnm, tiene amplitudes térmicas diarias significativas (ΔT hasta 15°C) que producen movimientos diferenciales entre materiales con distintos coeficientes de expansión térmica.

Amenazas complementarias

Según el contexto específico, destacan:

- **Amenaza volcánica:** Caída de ceniza (documentada en Pujilí 2015-2016 por Tungurahua), que genera sobrecargas temporales y puede obstruir sistemas de drenaje.

- **Amenazas antrópicas:** Vibraciones por tráfico vehicular (Riobamba), que causan fatiga estructural acumulativa aunque, por sí solas, no comprometan la estabilidad.

La caracterización territorial es la base para definir los escenarios de diseño que deben resistir las soluciones técnicas. Un error frecuente es diseñar reforzamientos solo para la amenaza sísmica y descuidar el comportamiento ante precipitaciones intensas, como muestran los dos únicos riesgos de magnitud media identificados (RR-2 Catedral de Latacunga, RE-2 Basílica de Riobamba), ambos asociados a fallas en el control hídrico.

4.3. Mejores prácticas para reforzamiento estructural

4.3.1. Sistemas de reforzamiento documentados para amenaza sísmica en la Zona V

Los casos estudiados emplearon reforzamientos metálicos mediante cosido estructural tipo espina de pez y consolidación de puntos críticos para responder a una demanda sísmica alta, y se les atribuye, de forma cualitativa y referencial, una reducción estimada del riesgo del 60 % al 80 %. Estos sistemas se documentan como experiencias y no como la primera opción de intervención; conforme al principio de primacía de materiales tradicionales y compatibles, solo se justifican cuando las alternativas tradicionales o compatibles resulten insuficientes para la demanda estructural, y bajo el cumplimiento de especificaciones técnicas rigurosas. Además, su uso en intervenciones futuras debe estar condicionada al cumplimiento de especificaciones técnicas rigurosas. La aplicación de refuerzos perimetrales en el anillo estructural, orientados a la contención de empujes horizontales y al incremento de la capacidad a tracción circunferencial, puede considerarse una estrategia válida de reforzamiento estructural (Jasieńko et al., 2021; Varma et al., 2006).

4.3.1.1.Reforzamiento mediante espina de pez

Aplicabilidad: Cúpulas con concentración de cargas en puntos específicos sin sistemas de distribución adecuados (ausencia de pechinas, apoyos puntuales), especialmente efectivo en bóvedas de cañón corrido.

Criterios de diseño:

- **Dimensionamiento:** Varillas de acero inoxidable, con el diámetro determinado por cálculo estructural en cada caso. En los casos estudiados se emplearon varillas Ø16mm para luces de 20-25m con resultados satisfactorios (reducción estimada del 60-80% de los riesgos originales). El acero inoxidable es obligatorio con humedad relativa >70% promedio anual.

- **Disposición geométrica:** Sistema reticular con varillas separadas típicamente a 20-40cm (criterio derivado del análisis de los casos de estudio y acorde con la literatura técnica), según la magnitud de las cargas concentradas y el estado de conservación de la mampostería. Con separaciones menores (<20cm) las perforaciones son excesivas y debilitan el sustrato; con separaciones mayores (>40cm) baja la efectividad del sistema.

- **Profundidad de anclaje:** Mínimo 150mm en cada extremo (criterio conservador basado en la experiencia profesional del autor), verificando que el anclaje se haga en mampostería sana y no en zonas disgregadas o rellenos. En la Iglesia Matriz de Pujilí se documentaron aproximadamente 200 puntos de perforación en el sistema extensivo, lo que demuestra su efectividad

- **Sistema de anclaje:** Morteros de inyección de cal hidráulica natural NHL 3.5 o superior (según EN 459-1); nunca morteros de cemento Portland en contacto directo con mampostería histórica. La expansión del cemento durante el fraguado puede causar microfisuraciones en piedra porosa (Binda et al., 2000).

Ejecución:

1. Mapeo de mampostería mediante georradar o termografía para identificar vacíos internos y evitar perforaciones en zonas debilitadas.
2. Perforación con equipos de baja vibración (taladros rotopercutores con velocidad de rotación controlada, evitando velocidades excesivas que generen vibraciones perjudiciales para el sustrato).
3. Limpieza de perforaciones mediante inyección de aire comprimido y cepillado interno.
4. Humectación previa de perforaciones 24 horas antes de inyección.
5. Inyección de mortero bajo presión controlada (típicamente <0.5 bar según ICCROM, 1990) para evitar desplazamientos.
6. Instalación de varillas con protección anticorrosiva (ver 4.3.3).

7. Sellado superficial con mortero compatible, evitando acabados que dificulten inspecciones futuras

4.3.1.2.Refuerzo perimetral del anillo estructural

Aplicabilidad: Control de empujes laterales en bóvedas de cañón, cúpulas con tambor, sistemas con tendencia a apertura de fisuras longitudinales.

Criterios de diseño:

- **Ubicación:** Perímetro del tambor o zona de arranque de cúpulas, evitando interferencias con elementos decorativos o estructurales relevantes.
- **Dimensionamiento:** Cable de acero inoxidable con el diámetro determinado por cálculo de empujes horizontales, considerando la geometría de la cúpula, el tipo de mampostería, y la magnitud de empujes a controlar. El tensado inicial debe calcularse previendo pérdidas por fluencia del material.
- **Sistema de tensado:** Dispositivos de tensado accesibles para inspección y ajuste futuros. El pretensado debe considerar la fluencia de la mampostería (pérdida estimada de 15-20% en los primeros 5 años, según criterio conservador basado en experiencia profesional y verificable mediante monitoreo instrumental).
- **Protección**: Cables protegidos con vainas de PEAD rellenas de lechada de cal, sin exposición directa que facilite la corrosión.

Consideraciones críticas:

- El tensado excesivo puede generar concentraciones de tensiones en puntos de anclaje. Es preferible sub dimensionar ligeramente que sobredimensionar.
- Los anclajes deben distribuir cargas mediante placas de distribución en acero inoxidable, nunca aplicación puntual directa sobre mampostería.
- La accesibilidad para inspección futura debe ser criterio de diseño, no consideración secundaria.

4.3.1.3.Consolidación de puntos críticos

Aplicabilidad: anillos inferiores de las cúpulas, y zonas de concentración de cargas identificadas mediante análisis estructural.

Técnicas validadas:

- Inyecciones estructurales
  - Resinas epóxicas de baja viscosidad para fisuras < 1mm
  - Lechadas de cal hidráulica natural NHL 5 (según EN 459-1) para fisuras > 1mm

  - Morteros tixotrópicos para vacíos > 5cm
  - Presión de inyección < 0.3 bar en mampostería delicada, < 0.8 bar en mampostería consolidada (según ICCROM, 1990, rangos ajustables según fragilidad específica del sustrato)
- Zuncho externo (casos extremos)
  - Bandas de fibra de carbono o GFRP solo cuando inyecciones resultan insuficientes
  - Aplicación en zonas no visibles prioritariamente
  - Reversibilidad limitada pero técnicamente factible

4.3.2. Diseño de interfaces en sistemas mixtos

Introducir refuerzos metálicos o compuestos en sistemas de mampostería histórica crea interfaces críticas en las que convergen materiales con propiedades muy distintas (mecánicas y térmicas). El riesgo RE-1 documentado en la Basílica Riobamba (incompatibilidad y concentración de tensiones, MR=8.6) y la persistencia de fisuraciones residuales en las interfaces de los tres casos muestran que este aspecto necesita atención específica en el diseño.

4.3.2.1.Minimización de interfaces heterogéneas

Criterio prioritario: Reducir al mínimo técnicamente necesario el número de interfaces entre materiales históricos y contemporáneos.

Estrategias:

- Cuando, conforme a la jerarquía de materiales, se justifique un elemento metálico, privilegiar el acero inoxidable por su comportamiento frente a la corrosión. Cuando se opte por compuestos, evaluar la resina: los epóxicos sin carga presentan coeficientes de expansión térmica de 45 a 65 $\times 10^{-6}$/°C, muy superiores a los del acero (≈11 a 17 $\times 10^{-6}$/°C según el tipo), además de su reversibilidad y su permeabilidad al vapor.

- Cuando sea inevitable introducir materiales de alta rigidez (E≈200 GPa para acero vs E≈2-5 GPa para mampostería histórica según Lourenço, 2006), diseñar transiciones graduales mediante elementos intermedios que reduzcan el gradiente de rigidez.

- Evitar configuraciones donde la interfaz quede sometida a esfuerzos de tracción directa, que son la solicitación más crítica para sistemas adheridos.

4.3.2.2.Juntas de dilatación en interfaces

Para sistemas mixtos complejos (mampostería-hormigón-acero), considerar:

- Juntas de material elastomérico (EPDM, neopreno) en interfaces donde se prevean movimientos diferenciales significativos por temperatura.
- Espesor de juntas: 5-10mm según magnitud de movimientos previstos (dimensionado mediante cálculo de deformaciones térmicas esperadas).
- Las juntas deben ser accesibles para inspección, no ocultas en zonas inaccesibles.

4.3.2.3.Monitoreo específico de interfaces

Obligatorio en sistemas mixtos:

- Instalación de sensores de deformación (strain gauges) en mínimo 3 puntos críticos de interfaz.
- Lecturas semestrales durante primeros 2 años, anuales posteriormente.
- Umbrales de alerta conservadores (ej: deformaciones >500 microstrain) requieren evaluación especializada, ajustables según características específicas del sistema y criterios establecidos en ICOMOS-ISCARSAH (2024).

4.3.3. Protección anticorrosiva de elementos metálicos

La vulnerabilidad C2-6 (corrosión en elementos metálicos) identificada en la Iglesia Matriz de Pujilí y la Iglesia Catedral de Latacunga evidencia una importante problemática: no existe experiencia documentada sobre el comportamiento a largo plazo del acero inoxidable embebido en piedra pómez en contextos andinos. En ambas intervenciones se utilizó acero inoxidable sin la existencia de precedentes que validen su durabilidad en las condiciones de altitud (2,500-3,000 msnm), amplitud térmica significativa (ΔT diario hasta 15°C) y humedad relativa variable (40-90%) que caracterizan a la Zona 3 del Ecuador.

Esto genera incertidumbre, pues implica aplicar soluciones contemporáneas a contextos patrimoniales singulares. Las mejores prácticas que se proponen buscan establecer criterios tanto para la especificación de materiales con comportamiento validado, para la gestión proactiva de incertidumbres cuando no existan precedentes documentados.

4.3.3.1.Especificación de materiales metálicos

Criterio general obligatorio: Todo elemento metálico introducido en mampostería histórica debe presentar resistencia comprobada a corrosión en condiciones ambientales iguales o más agresivas que las del emplazamiento del bien patrimonial.

Jerarquía de opciones:

- Nivel 1 - Acero inoxidable austenítico (preferido)
    - AISI 316 (17% Cr, 12% Ni, 2.5% Mo) resistencia superior a ambientes clorurados
    - AISI 316L (bajo carbono <0.03%) elimina riesgo de corrosión intergranular
    - Aplicación en ambientes con humedad relativa >70% promedio anual

Durabilidad esperada superior a 50 años en condiciones no extremas (criterio conservador basado en la experiencia documentada con aceros inoxidables austeníticos en ambientes similares)

- Nivel 2 - Acero al carbono con protección multicapa (aceptable)
    - Sistema obligatorio
        1. Galvanizado en caliente (80 micras mínimo, ISO 1461)
        2. Imprimación epoxi rica en zinc (60 micras)
        3. Pintura epoxi bicomponente (80 micras)
        4. Total: >220 micras protección
    - Aplicación solo cuando el acero inoxidable resulte económicamente inviable
    - Durabilidad esperada de 20-30 años con inspección y mantenimiento regular (estimación conservadora según experiencia con sistemas de protección multicapa en ambientes similares)
    - Obligatorio proveer accesibilidad para inspección visual de todos los elementos
- Nivel 3 - Otros materiales (casos especiales)
    - Titanio grado 2 por su resistencia excepcional, pero costo 10x vs acero inoxidable
    - Bronce al aluminio con aplicaciones específicas (anclas visibles, elementos decorativos)
    - Acero Corten pero nunca en elementos embebidos (la oxidación superficial es incompatible con mampostería)

4.3.3.2. Gestión de incertidumbres en aplicaciones innovadoras

Cuando sea necesario aplicar materiales o técnicas sin experiencia documentada en el contexto específico, se deben implementar obligatoriamente los siguientes protocolos:

a. Documentación explícita de la incertidumbre

En la memoria técnica del proyecto se debe incluir apartado específico:

- Descripción del material/técnica propuesta
- Justificación técnica de su selección
- Precedentes en contextos similares (aunque no idénticos)
- Declaración explícita de incertidumbre: “No existe experiencia documentada de [material/técnica] en [contexto específico]. El comportamiento a largo plazo es una incertidumbre técnica que será gestionada mediante monitoreo especializado.”
- Horizonte temporal estimado para manifestación de problemas potenciales

b. Monitoreo reforzado de parámetros críticos

Para el caso específico de acero inoxidable en piedra pómez (aplicable a la Iglesia Matriz de Pujilí y la Catedral de Latacunga):

Parámetros obligatorios:

- Potencial de corrosión (ASTM C876): Electrodos de referencia Ag/AgCl embebidos
- Humedad en interfaz: Sensores capacitivos en puntos representativos
- Temperatura superficial: Termopares en zonas de mayor exposición
- pH de mampostería: Medición en superficie cada inspección anual

Frecuencia (primeros 10 años):

- Años 1-5: Semestral (crítico para detectar problemas tempranos)
- Años 6-10: Anual
- Años 11+: Bienal (si no se detectan anomalías)

Umbrales de alerta específicos:

- Potencial <-200mV vs Ag/AgCl: Inicio de corrosión activa → Inspección especializada
- Potencial <-350mV: Corrosión severa → Intervención urgente
- pH <8.0: Riesgo de desactivación de capa pasiva → Tratamiento alcalinizante
- Humedad >85% saturación durante >60 días continuos: Riesgo de corrosión bajo tensión

c. Ensayos complementarios (recomendados):

Aunque no se implementaron en la Iglesia Matriz de Pujilí ni en la Catedral de Latacunga, las intervenciones futuras en contextos similares deberían considerarlos:

- Testigos de corrosión acelerada (opcional pero recomendado):
    - Instalación de 3-5 testigos de acero inoxidable con las mismas características de los refuerzos
    - Ubicación en zonas accesibles (sacrificables)
    - Extracción y análisis a 5, 10, 15 años
    - Evaluación: Pérdida de sección, presencia de picaduras, análisis metalográfico
- Caracterización electroquímica in situ (cada 5 años):
    - Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS)
    - Curvas de polarización (Tafel)
    - Permite caracterizar cinética de corrosión sin extraer elementos

d. Generación de conocimiento transferible

Gestionar las incertidumbres protege el bien intervenido y genera conocimiento científico aplicable a futuros proyectos:

Obligaciones:

- Archivo sistemático de datos de monitoreo (base de datos digital)
- Informe técnico de seguimiento cada 5 años (mínimo)
- Publicación científica de resultados en revista indexada (horizonte 10 años)
- Depósito de datos en repositorio institucional accesible (INPC, Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, universidades)

Incentivo propuesto: Las instituciones responsables de bienes que implementen protocolos de monitoreo riguroso de técnicas innovadoras deberían recibir un reconocimiento oficial (ej: "Bien Patrimonio de Investigación Activa") que facilite:

- Acceso preferencial a financiamiento para mantenimiento
- Colaboración con universidades para análisis de datos
- Publicación de casos de estudio que retroalimenten buenas prácticas

4.3.3.3.Protocolo de inspección anticorrosiva

Independientemente del tipo de acero empleado, todo elemento metálico embebido requiere:

Inspección visual (anual):

- Zonas accesibles: Verificar ausencia de manchas de óxido, eflorescencias, desprendimientos de mortero
- Fotografía sistemática de puntos de control
- Registro de anomalías (ubicación, dimensiones, características)

Inspección instrumental (según nivel de incertidumbre):

- Baja incertidumbre (acero inoxidable en contextos validados): Bienal
- Media incertidumbre (acero inoxidable en contextos sin precedentes – Iglesia Matriz de Pujilí / Catedral de Latacunga): Anual primeros 10 años, bienal posterior
- Alta incertidumbre (acero al carbono protegido): Anual permanente

Acciones según resultados:

- Lecturas dentro de umbrales normales → Continuar protocolo
- Lecturas en rango de alerta → Incrementar frecuencia a trimestral, análisis especializado
- Lecturas críticas → Intervención urgente (extracción de testigos, evaluación extensiva, posible reemplazo de elementos)

4.3.3.4. Casos donde la protección adicional es obligatoria

Aunque en la intervención de la Iglesia Matriz de Pujilí y la Catedral de Latacunga emplearon acero inoxidable (aceptable), en los siguientes contextos se debe implementar protección adicional obligatoria:

Ambientes con cloruros:

- Zonas con uso histórico de sales de deshielo
- Mampostería con eflorescencias salinas documentadas
- **Solución:** Acero inoxidable dúplex (2205) o súper-austenítico (904L, >20% Cr)

Ambientes industriales:

- Contaminación atmosférica (SO_2, NO_x)
- Proximidad a instalaciones industriales
- **Solución:** Protección adicional con pintura epoxi sobre acero inoxidable

Mampostería ácida:

- pH superficial <7.0 documentado
- Piedras con alto contenido de sulfatos
- **Solución:** Tratamiento alcalinizante previo + acero inoxidable 316L + monitoreo pH continuo

4.3.4. Compatibilización de materiales históricos y contemporáneos

La incompatibilidad entre materiales (C2-2, presente en los tres casos) no se limita a reacciones químicas deletéreas; incluye diferencias en propiedades físicas y mecánicas que generan comportamientos diferenciales.

4.3.4.1. Compatibilidad química

Obligatorio evitar:

- Cemento Portland en contacto directo con piedras calcáreas (genera reacciones álcali-sílice)
- Sales solubles (sulfatos, nitratos) en morteros de reparación
- Biocidas persistentes que pueden migrar a mampostería histórica

Obligatorio garantizar:

- pH de morteros de reparación compatible con sustrato (pH 8.5-11 para mampostería calcárea)
- Ausencia de cloruros (límite <0.05% por masa de cemento) en cualquier material en contacto con acero

4.3.4.2.Compatibilidad física

Permeabilidad al vapor de agua:

- Morteros de reparación deben presentar permeabilidad ≥ a mampostería histórica
- Nunca aplicar revestimientos impermeables (pinturas acrílicas, resinas) que generen barreras de vapor

Porosidad y absorción:

- Morteros de reparación: porosidad 20-30%, similar a morteros históricos de cal
- Morteros de cemento (porosidad <10%) incompatibles para reparaciones superficiales

Módulo elástico:

- Morteros de reparación: E = 2-8 GPa, nunca E > 15 GPa
- Regla práctica: mortero de reparación debe ser más débil que sustrato, nunca más resistente

4.3.4.3.Compatibilidad mecánica

Resistencia a compresión:

- Morteros históricos de cal: 1-5 MPa
- Morteros de reparación compatibles: 2-10 MPa
- Morteros de cemento (>20 MPa) inadecuados para reparaciones en mampostería histórica

Deformabilidad:

- Sistemas rígidos (hormigón, acero) no deben restringir completamente los movimientos naturales de mampostería
- Prever juntas de dilatación cada 15-20m en elementos rígidos continuos

4.3.4.4.Especificación de morteros compatibles

Para inyecciones estructurales:

- Base: Cal hidráulica natural NHL 5 según EN 459-1
- Relación aglomerante: arena: 1:2 a 1:3 según resistencia requerida
- Aditivos: Superplastificantes basados en policarboxilatos, dosificación <1% por masa de aglomerante
- No usar: Látex, resinas acrílicas, aceleradores de fraguado con cloruros

Para reparaciones superficiales:

- Base: Cal hidráulica natural NHL 3.5
- Relación: 1:3
- Granulometría arena: Similar a morteros originales (análisis granulométrico previo)
- Color: Ajustado mediante pigmentos minerales, nunca orgánicos

Para consolidaciones profundas:

- Lechadas de cal: NHL 5 + árido fino (<0.5mm) relación 1:1
- Fluidez: Cono de Marsh 40-60 segundos
- Inyección: Presión <0.5 bar, velocidad <2 l/min

4.4. Mejores prácticas para control del comportamiento hídrico

Los dos únicos riesgos de magnitud media identificados en el estudio (RR-2 Catedral de Latacunga MR=11.5, RE-2 Basílica de Riobamba MR=11.9) derivan ambos de fallas en sistemas de impermeabilización, evidenciando que el control del comportamiento hídrico constituye el desafío técnico más crítico no resuelto en las intervenciones estudiadas. Las soluciones implementadas demostraron una efectividad inferior a los reforzamientos estructurales, lo que exige elevar el nivel de rigor técnico en este aspecto.

4.4.1. Especificación de sistemas de impermeabilización

La selección de sistemas de impermeabilización no puede basarse en criterios de costo o disponibilidad comercial. Deben considerar una evaluación técnica rigurosa de durabilidad esperada bajo las solicitaciones específicas del contexto.

4.4.1.1.Criterios obligatorios de especificación

a. Durabilidad comprobada

El sistema seleccionado debe demostrar durabilidad mínima 20 años en condiciones climáticas similares (alta montaña, amplitud térmica significativa, radiación UV intensa). El fallo prematuro del sistema Epobild en la Basílica de Riobamba (vida útil de 7 años frente a los 15-20 esperados) muestra las consecuencias de especificaciones inadecuadas.

Requisitos:

- Evidencia documental de aplicaciones en altitudes >2000 msnm con permanencia >15 años sin fallas
- Resistencia UV certificada mediante ensayos acelerados (ASTM G154) equivalente a 20 años exposición
- Estabilidad dimensional en rango térmico -10°C a +40°C
- Permeabilidad al agua <0.1 kg/m²·h a 0.5 bar (EN 1928)
- Permeabilidad al vapor μ <15,000 (membranas deben “respirar”)

b. Resistencia a solicitaciones específicas

El sistema debe resistir:

- Eventos de precipitación extrema >80mm/24h (considerar incremento por cambio climático)
- Acumulación temporal de agua en zonas cóncavas de cúpulas
- Tránsito ocasional para mantenimiento (carga puntual >100 kg)
- Diferencias de temperatura sustrato hasta 40°C en exposición solar directa

c. Compatibilidad con sustrato histórico

- Aplicación sobre mampostería irregular sin adhesivos que comprometan reversibilidad
- No generar barreras de vapor que concentren humedad en interfaz
- Permitir inspección visual de sustrato sin desmontaje destructivo (sistemas multicapa desmontables prioritarios sobre membranas adheridas irreversiblemente)

4.4.1.2.Sistemas recomendados según contexto

Para cubiertas transitables (acceso frecuente mantenimiento):

Sistema multicapa:

1. Imprimación: Emulsión asfáltica diluida compatible con mampostería.
2. Barrera vapor: Lámina asfáltica APP modificada con plastómeros, espesor 4mm.
3. Capa de protección: Mortero aligerado con perlita o vermiculita, espesor 50mm.
4. Impermeabilización: Membrana PVC-P o TPO espesor 1.5-2.0mm, soldadura térmica.
5. Capa separadora: Geotextil no tejido 300 g/m².
6. Capa de rodadura: Baldosa cerámica sobre lecho de arena que permita desmontaje.

Durabilidad esperada: 25-30 años.

Costo relativo: Alto (factor 2-3x vs soluciones básicas).

Reversibilidad: Media (sistema desmontable por capas sin dañar sustrato).

Para cubiertas no transitables (acceso solo mantenimiento):

Sistema simplificado:

1. Imprimación con emulsión asfáltica
2. Impermeabilización con lámina asfáltica SBS modificada con elastómeros doble capa 4+4mm
3. Protección UV con pintura reflectante acrílica blanca renovada cada 5 años

Durabilidad esperada: 20-25 años

Costo relativo: Medio

Reversibilidad: Baja (adhesión a sustrato)

Para geometrías complejas (cúpulas, bóvedas):

Sistema adaptable:

1. Imprimación epoxi-asfáltica
2. Impermeabilización líquida: Poliuretano bi componente aplicado en 3 capas, espesor total 2-3mm
3. Refuerzo: Malla de fibra de vidrio embebida entre capas
4. Protección: Lámina geotextil + grava suelta (permite evacuación rápida)

Durabilidad esperada: 15-20 años (menor que sistemas laminados por degradación UV de poliuretanos)

Costo relativo: Medio-alto

Reversibilidad: Alta (membrana puede retirarse sin daño significativo a sustrato)

4.4.1.3.Especificaciones técnicas críticas

Juntas y solapes:

- Solapes mínimos 100mm en láminas
- Sellado de juntas mediante soldadura térmica (termoplásticas) o adhesivo compatible (bituminosas)
- Nunca sellado únicamente mediante adhesivo de contacto que pierde efectividad con la temperatura

Encuentros y remates:

- Ascenso mínimo 250mm en muros perimetrales
- Refuerzo con bandas adicionales en ángulos (riesgo de despegue por dilatación diferencial)
- Anclaje mecánico en coronaciones, no solo adhesivo

Evacuación:

- Pendiente mínima 2% hacia puntos de evacuación
- Sumideros cada 50m² máximo
- Dimensionamiento para evento 100mm/h (conservador ante cambio climático)
- Rebosaderos de emergencia dimensionados para evento 150mm/h

4.4.2. Consideración de escenarios climáticos futuros

El fallo del sistema Epobild en la Basílica de Riobamba ante eventos extremos evidencia que los sistemas deben diseñarse para escenarios futuros que consideren cambio climático.

4.4.2.1.Proyecciones climáticas aplicables

Para Zona 3 Ecuador (horizonte 2050):

- Incremento intensidad precipitaciones extremas: +20-30% sobre máximo histórico
- Incremento temperatura media: +1.5-2.0°C
- Mayor frecuencia eventos ENSO intensos (El Niño/La Niña)

Implicaciones para diseño:

- **Capacidad de evacuación:**
  - Diseñar para evento 80 mm/h (vs 60 mm/h histórico)
  - Sumideros sobredimensionados factor 1.3x
- **Resistencia térmica:**
  - Sistemas deben resistir +45°C superficial (vs +40°C actual)
  - Membranas termoplásticas preferibles a bituminosas en altitudes < 2000 msnm
- **Durabilidad acelerada:**
  - Asumir degradación UV 20% más rápida
  - Programar reemplazo anticipado (año 18 vs año 20)

4.4.3. Integración con sistemas de evacuación pluvial

Los sistemas de impermeabilización no funcionan aisladamente, están integrados con sistemas de captación, conducción y evacuación. Las infiltraciones residuales en la Catedral de Latacunga (RR-2) se atribuyeron parcialmente a incompatibilidad entre impermeabilización nueva y sistema de evacuación histórico.

4.4.3.1.Evaluación de sistemas existentes

Capacidad hidráulica:

- Dimensionamiento de gárgolas: Verificar sección transversal para caudal de diseño
- Canalones: Pendiente real (frecuentemente alterada por deformaciones históricas), obstrucciones
- Bajantes: Continuidad, fijaciones, estado de conservación

Compatibilidad material:

- Gárgolas históricas de piedra: Verificar erosión interna, fisuraciones
- Elementos metálicos (siglo XX): Estado de corrosión, vida útil remanente
- Reparar/reemplazar antes de instalar nuevo sistema impermeabilizante

4.4.3.2.Diseño de sistemas complementarios

Cuando el sistema histórico es insuficiente:

Opción A - Refuerzo sistema existente:

- Instalación de sumideros adicionales (diseño compatible estéticamente)
- Bajantes complementarias en zonas no visibles
- Canalización subterránea hasta puntos de evacuación seguros

Opción B - Sistema paralelo oculto:

- Red de evacuación contemporánea en zonas internas (áticos, cámaras)
- Preservación de sistema histórico visible como elemento patrimonial
- Requiere accesibilidad para mantenimiento de ambos sistemas

Nunca:

- Modificar geometría de elementos históricos para mejorar evacuación (ej: ampliar gárgolas)
- Eliminar elementos históricos “porque no funcionan”
- Obturar sistemas históricos, aunque estén complementados

4.5. Gestión del riesgo post-intervención

La vulnerabilidad C5-2 (ausencia de mantenimiento sistemático) y los riesgos emergentes asociados (RE-4 Iglesia Matriz de Pujilí MR=3.6, RE-4 Catedral de Latacunga MR=6.0, RE-4 Basílica de Riobamba MR=8.5) evidencian que ninguna de las tres intervenciones contempló adecuadamente la gestión del riesgo a largo plazo. Esta omisión debe corregirse en futuras intervenciones mediante implementación obligatoria de:

4.5.1. Monitoreo instrumental especializado

El monitoreo es un componente fundamental (no opcional) del proyecto de intervención, con presupuesto específico para instalación de instrumentación y lecturas durante mínimo 5 años.

4.5.1.1.Parámetros a monitorear

a. Fisuración (prioritario en todos los casos)

Instrumentación:

- Fisurómetos mecánicos DEMEC en fisuras representativas (mínimo 6 puntos)
- Sensores de desplazamiento LVDT en fisuras críticas (mínimo 2 puntos)
- Fotografía con escala milimétrica en puntos de control

Frecuencia:

- Semestral/años 1-2
- Anual/años 3-5
- Bienal/años 6+

Umbrales de alerta:

- Incremento > 0.5mm en 1 año: Evaluación especializada
- Incremento > 1.0mm en 1 año: Intervención urgente

b. Deformaciones (casos con riesgo estructural)

Instrumentación:

- Niveles de precisión (error <± 0.5mm) en puntos de control vertical
- Estación total para desplomes (precisión <± 1mm)

Frecuencia:

- Anual

Umbrales:

- Asentamiento > 3mm/año: Investigación geotécnica
- Incremento desplome > 5mm en altura 35m: Evaluación estructural

c. Corrosión (casos con elementos metálicos embebidos)

Instrumentación:

- Electrodos de referencia Ag/AgCl embebidos en mampostería cerca de aceros
- Medición de potencial de corrosión (ASTM C876)

Frecuencia:

- Semestral/años 1-5

- Anual/años 6+

Umbrales:

- Potencial <-350mV vs $Cu/CuSO_4$: Corrosión activa, requiere investigación
- Potencial <-500mV: Corrosión severa, requiere intervención

d. Humedad (casos con riesgos hídricos)

Instrumentación:

- Sensores capacitivos de humedad en mampostería (zonas representativas)
- Sensores de temperatura superficial

Frecuencia:

- Continua (datalogger) con alertas automáticas

Umbrales:

- Humedad >80% saturación durante >30 días: Riesgo colonización biológica
- Temperatura superficial >50°C: Riesgo degradación materiales

4.5.1.2.Implementación práctica

Responsabilidades:

- Instalación: Durante la ejecución de la intervención, por especialista en instrumentación
- Lecturas: Personal técnico capacitado (topógrafo, ingeniero)
- Interpretación: Ingeniero estructural o especialista en conservación
- Custodia datos: Institución responsable del bien (copia digital en servidor seguro)

Costos estimados:

- Instrumentación inicial: aproximadamente 3–5% del costo de la intervención estructural ejecutada, correspondiente a la adquisición e instalación de sensores, puntos de control y equipos de monitoreo.
- Lecturas y seguimiento anual: aproximadamente del 0.5 al 1% del costo de la intervención estructural ejecutada. Se destinará al levantamiento de datos, al procesamiento y al análisis técnico.
- Horizonte presupuestario: se recomienda prever un período mínimo de 5 años de monitoreo posterior a la intervención. Según la planificación del proyecto y sin perjuicio de la normativa vigente de contratación pública ni de las responsabilidades derivadas de garantías y posibles vicios ocultos.

4.5.2. Protocolos de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es un programa formalizado con protocolos de inspección, como los mencionados a continuación:

4.5.2.1.Protocolo de inspección (Checklist)

Los Checklist de Inspección Trimestral y Anual constituyen instrumentos de seguimiento preventivo destinado a facilitar la identificación de alteraciones visibles en el bien patrimonial de manera temprana. El primero está orientado al personal no especializado responsable de la custodia del bien y permite registrar las condiciones que puedan requerir una evaluación técnica posterior. El segundo debe ser usado por personal especializado, ya que generará información técnica para orientar las acciones de mantenimiento, conservación y seguimiento.

Checklist de Inspección Trimestral (personal no especializado)

Cubierta:

- ☐ Ausencia de acumulación de hojas, ramas, ceniza volcánica
- ☐ Evacuación libre en sumideros y gárgolas
- ☐ Ausencia de vegetación en juntas
- ☐ Estado visual de impermeabilización (abombamientos, desprendimientos)

Exterior cúpula:

- ☐ Ausencia de nidos de aves en cornisas
- ☐ Estado de revestimientos (desprendimientos >10×10cm)
- ☐ Funcionamiento bajantes (durante lluvia)

Interior cúpula:

- ☐ Manchas de humedad nuevas o extendidas
- ☐ Filtraciones activas (marcar y fotografiar)
- ☐ Desprendimientos de enlucidos >20×20cm
- ☐ Fisuras visibles >2mm abertura (marcar con fecha)

Accesos:

- ☐ Puertas/trampillas funcionando correctamente
- ☐ Escaleras/pasarelas en buen estado
- ☐ Iluminación de emergencia funcional

Registro: Formulario digital con fotografías georreferenciadas

Responsable: Custodio del bien

Acción: Si >2 ítems marcados, solicitar inspección especializada

Checklist de Inspección Anual (personal especializado)

Evaluación estructural:

- ☐ Mapeo actualizado de fisuras (comparar con año anterior)
- ☐ Verificación de lecturas de instrumentación vs umbrales
- ☐ Inspección visual de refuerzos metálicos accesibles
- ☐ Golpeteo de inyecciones (detectar despegues)

Evaluación hídrica:

- ☐ Prueba de estanqueidad (manguera 30 min en zonas representativas)
- ☐ Termografía infrarroja (detectar infiltraciones ocultas)
- ☐ Estado de juntas y sellados
- ☐ Verificación de pendientes (topografía si hay deformaciones)

Evaluación material:

- ☐ Ensayo esclerómetro en morteros de reparación (verificar evolución resistencia)
- ☐ Inspección colorimétrica de corrosión (zonas accesibles)
- ☐ pH superficial de mampostería (detectar carbonatación)

Producto: Informe técnico con fotografías, datos de la instrumentación y recomendaciones

Responsable: Ingeniero estructural o arquitecto especialista en conservación

Archivo: Expediente técnico del bien (físico + digital)

4.5.2.2.Programa de mantenimiento preventivo

Anual:

- Limpieza de sumideros y gárgolas (antes de temporada de lluvias)
- Revisión y renovación de pintura de protección UV en impermeabilización expuesta
- Revisión de fijaciones de bajantes
- Eliminación de vegetación en juntas
- Inspección estructural básica de la cúpula y cubiertas (fisuras, deformaciones, filtraciones)

Trienal:

- Limpieza profesional de cubiertas con equipos de baja presión

- Revisión exhaustiva de sellados (renovación selectiva)
- Tratamiento biocida preventivo (si hay antecedentes)

Quinquenal:

- Evaluación estructural exhaustiva con modelamiento estructural actualizado
- Termografía completa de cubiertas
- Actualización de plan de gestión de riesgos

Evaluación extraordinaria (post-evento sísmico)

- Inspección estructural inmediata post eventos sísmicos significativos
- Verificación de fisuras, desplazamientos, desprendimientos o alteraciones en elementos estructurales y de cubierta
- Activación de evaluación técnica especializada en caso de detectarse daños

4.5.3. Documentación técnica exhaustiva

La documentación es una obligación ética hacia futuras generaciones. El nivel de confianza reducido del análisis de la Catedral de Latacunga (70%) se derivó de deficiencias documentales.

4.5.3.1. Contenidos obligatorios del expediente técnico

a. Documentación del estado previo

- Levantamiento geométrico (precisión ±5mm, formato digital CAD + nube de puntos)
- Mapeo de patologías (cada fisura >0.5mm ubicada en planos, fotografía con escala)
- Caracterización material (mínimo 3 muestras de cada material relevante con ensayos completos)
- Análisis estructural preliminar (modelo de elementos finitos con hipótesis claramente establecidas)
- Reportaje fotográfico exhaustivo (mínimo 200 fotografías georreferenciadas)

b. Memoria técnica de la intervención

- Diagnóstico (identificación de causas y síntomas)
- Alternativas consideradas (justificación técnica de solución adoptada vs opciones descartadas)
- Diseño detallado (planos constructivos escala 1:20 mínimo para detalles críticos)
- Especificaciones - fichas técnicas de todos los materiales (no limitado a nombres comerciales)
- Cálculos (memoria de cálculo estructural completa y verificable)

c. Control de ejecución

- Diario de obra en el cual se registren diariamente las actividades, incidencias y condiciones climáticas
- Control de calidad con el resultado de todos los ensayos de materiales
- Registro fotográfico del proceso completo (mínimo 500 fotografías)
- Modificaciones - cualquier desviación respecto a proyecto (justificada y aprobada)
- Producto final - planos "as-built" con ubicación exacta de todos los refuerzos instalados

d. Instrumentación y seguimiento

- Ubicación exacta de sensores con sus coordenadas y fotografías
- Fichas técnicas completas de los instrumentos
- Procedimientos de lectura para personal futuro
- Umbrales de alerta claramente establecidos e incluida su justificación
- Plan detallado de mantenimiento

Formato de entrega:

- Digital - PDF/A (archivo permanente) CAD nativo y base de datos instrumentación
- Físico 3 ejemplares encuadernados
- Metadatos (fichas resumen según estándares ICOMOS)

Custodia:

- Institución responsable del bien (expediente completo)
- Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) correspondiente (copia del expediente)
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural - INPC (copia de seguridad)
- Publicación, con resumen ejecutivo en repositorio digital público (con licencia Creative Commons)

4.6. Criterios de preservación del valor patrimonial

Que los reforzamientos estructurales sean técnicamente efectivos no basta para que una intervención patrimonial sea competente. Las pérdidas documentadas de material histórico (RE-6 Catedral de Latacunga MR=6.4) y de legibilidad constructiva (RE-3 Basílica de Riobamba MR=9.6), junto con la introducción de elementos irreversibles, obligan a fijar criterios específicos que equilibren la seguridad estructural con la preservación del valor patrimonial.

4.6.1. Minimización de pérdidas materiales

4.6.1.1.Protocolo de decisión para sustitución vs conservación

Nunca sustituir sin justificación técnica exhaustiva:

El retiro de material pétreo del tambor en la Catedral de Latacunga (RE-6), identificado como potencialmente innecesario en el análisis retrospectivo, ejemplifica las consecuencias de decisiones de sustitución no fundamentadas rigurosamente.

Criterios obligatorios para autorizar sustitución:

1. **Documentación del estado:**
    - Fotografía macroscópica y detalle (escala milimétrica)
    - Ensayos no destructivos (esclerómetro, ultrasonidos, georradar)
    - Si los anteriores resultan insuficientes, extracción de testigos (Ø50mm) mínimo 3 por zona
    - Caracterización petrográfica, resistencia mecánica, porosidad, absorción

2. **Evaluación de capacidad residual:**
    - Resistencia a compresión <50% de piedra sana similar → candidato a sustitución
    - Módulo elástico <40% de referencia → pérdida de integridad estructural
    - Pérdida de sección >30% → capacidad portante comprometida
    - Fisuraciones pasantes >3mm → riesgo de desprendimiento

3. **Análisis de alternativas:**
    - Consolidación química con ésteres de ácido silícico, nanopartículas de $Ca(OH)_2$
    - Protección superficial con hidrofugantes (siloxanos) que no generen películas
    - Microinyecciones con lechadas de cal en fisuras capilares
    - Sustitución solo si las alternativas resultan técnicamente inviables

4. **Documentación justificativa:**
    - Informe técnico firmado por especialista (geólogo, petrólogo)
    - Fotografías del estado que justifica sustitución
    - Resultados de ensayos (laboratorio acreditado)
    - Aprobación explícita de autoridad patrimonial

Si se autoriza sustitución:

- Documentación gráfica exhaustiva de elemento a retirar (fotogrametría, moldes si tiene valor ornamental)
- Almacenamiento de elementos retirados (no descarte) para estudio futuro
- Sustitución con piedra de cantera original o de características petrográficas idénticas (no "similar")
- Marcado discreto de elementos nuevos (grabado fecha en zona no visible)
- Archivo digital de ubicación exacta de sustituciones

4.6.1.2.Dosificación de intervenciones

Regla de máximos:

- Sustitución de material original: <10% de masa total de elemento intervenido
- Si es necesario >10%: Requiere autorización excepcional con segunda opinión independiente
- Si >25%: Considerar si el elemento conserva valor patrimonial suficiente

Prioridad:

1. Conservar y consolidar
2. Reparar y reintegrar
3. Sustituir parcialmente
4. Sustituir totalmente (última opción, casos extremos)

4.6.2. Preservación de legibilidad histórica

La pérdida de legibilidad del sistema constructivo pionero de la Basílica de Riobamba (RE-3, MR=9.6) evidencia que intervenciones técnicamente exitosas pueden comprometer la capacidad del bien de testimoniar conocimientos constructivos históricos.

4.6.2.1.Estrategias de diseño para preservar legibilidad

a. Refuerzos ocultos vs. refuerzos visibles

Priorizar refuerzos ocultos cuando:

- Sistema constructivo presenta valor documental excepcional (pionero, singular)
- Técnica constructiva histórica es legible actualmente
- Ocultamiento no compromete accesibilidad para mantenimiento futuro

Ejemplo aplicado en la Basílica de Riobamba:

- Los ocho nervios convergentes constituyen elemento técnico distintivo
- Refuerzo con fibras de carbono enmascaró parcialmente nervios

- Alternativa preferible: Refuerzo metálico perimetral oculto en el intradós del anillo estructural + consolidación de nervios

Aceptar refuerzos visibles cuando:

- No existe alternativa técnica oculta equivalente
- Sistema constructivo es convencional (valor documental limitado)
- Visibilidad del refuerzo contribuye a distinguibilidad de intervención

b. Diseño de refuerzos distinguibles pero discretos

Criterios:

- Material distinguible: Acero inoxidable (no pintado color piedra) que permite su identificación.
- Geometría distinguible: Formas regulares (no imitación de mampostería irregular).
- Escala discreta: Secciones mínimas técnicamente viables.
- Color neutro: Acero natural, no cromados brillantes que generen contraste excesivo.

Evitar absolutamente:

- Mimetismo (pintar acero para simular piedra).
- Ocultamiento mediante enlucidos que impidan inspección futura.
- Intervenciones “invisibles” que confundan a técnicos futuros.

c. Documentación de sistemas constructivos previo a intervención

Obligatorio antes de cualquier intervención que afecte legibilidad:

- Levantamiento arquitectónico detallado (escala 1:20 mínimo)
- Análisis constructivo: Identificación de fases históricas, técnicas empleadas, materialidad
- Modelado 3D (fotogrametría terrestre + dron): Nube de puntos + modelo texturizado
- Reportaje fotográfico exhaustivo (mínimo 500 imágenes alta resolución)
- Video inmersivo 360° (recorridos virtuales)
- Análisis estructural cualitativo: Comprensión del funcionamiento resistente original

Productos entregables:

- Documento de análisis constructivo (20-40 páginas)
- Modelo digital 3D archivado en formatos abiertos (PLY, OBJ)
- Repositorio fotográfico (servidor institucional + copia seguridad)
- Publicación científica (revista indexada) documentando sistema constructivo

Objetivo: Garantizar que, aunque la intervención comprometa legibilidad física, el conocimiento técnico del sistema histórico quede preservado en documentación accesible a futuras generaciones.

4.6.3. Reversibilidad y compatibilidad

4.6.3.1.Matriz de evaluación de reversibilidad

Tabla 35
Evaluación de reversibilidad

Técnica	Reversibilidad	Plazo viable	Daño esperado a sustrato
Tensores metálicos perimetrales atornillados	ALTA	<5 años	Perforaciones Ø20mm (reparables)
Inyecciones de cal NHL 3.5	MEDIA	<10 años	Penetración capilar (dificulta remoción)
Inyecciones resinas epóxicas	BAJA	<15 años	Adherencia irreversible
Fibras de carbono adheridas	MUY BAJA	>20 años	Arranque de sustrato al retirar
Hormigón armado estructural	NULA	N/A	Demolición destruye sustrato

Criterio de selección:

- Privilegiar técnicas de reversibilidad ALTA cuando opciones sean técnicamente equivalentes
- Técnicas de reversibilidad BAJA solo si alternativas reversibles son técnicamente inviables
- Técnicas de reversibilidad NULA solo en casos excepcionales con autorización especial

4.6.3.2.Protocolo de ensayos de compatibilidad

Antes de aplicar cualquier material nuevo a mampostería histórica:

a. Ensayos físico-químicos (laboratorio):

- Compatibilidad química: Ensayo de envejecimiento acelerado (90 días, 60°C, 95% HR)
- Adhesión: Pull-off test (mínimo 0.8 MPa, fractura en sustrato no en interfaz)
- Cristalización de sales: EN 12370 (15 ciclos sin degradación visible)
- Hielo-deshielo: EN 12371 (25 ciclos sin pérdida >10% resistencia)

b. Ensayos in situ (zona no visible):

- Aplicación en área test 1×1m
- Seguimiento 12 meses mínimo
- Evaluación: Adherencia, cambios cromáticos, aparición de eflorescencias

- Aprobación: Solo si área test no muestra anomalías tras 12 meses

c. Monitoreo de compatibilidad post-aplicación:

- Inspección trimestral primer año (zonas representativas)
- Detección temprana: Manchas, desprendimientos, cambios de color
- Si aparecen incompatibilidades: Remoción inmediata antes de extensión

4.7. Síntesis de recomendaciones operativas

4.7.1. Protocolo integrado de intervención (Diagrama de flujo)

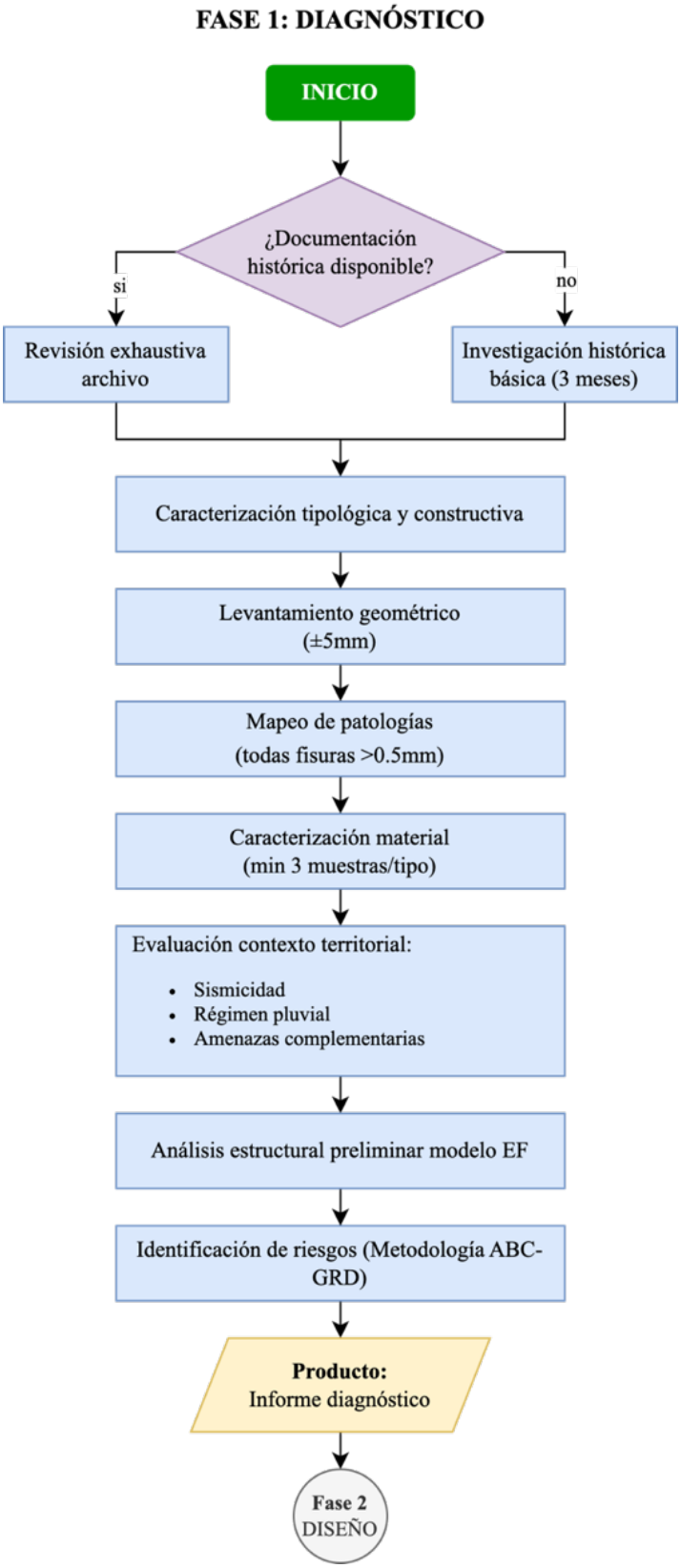
El protocolo se describe mediante cinco diagramas de flujo que organizan de manera secuencial y sistemática las fases del proceso técnico aplicado a cúpulas patrimoniales de fábrica pétrea en contexto sísmico. El protocolo se describe mediante cinco diagramas de flujo que organizan las fases del proceso técnico aplicado a las cúpulas patrimoniales de piedra en contextos sísmicos. Como puede observarse en los diagramas de las Figuras 31-35, el protocolo abarca desde el diagnóstico hasta el seguimiento post intervención, y se trazan rutas claras que van desde la verificación de la información histórica disponible, la caracterización tipológica y material, el análisis estructural preliminar y la identificación de riesgos, hasta la formulación de alternativas de intervención evaluadas con un esquema multicriterio. En su ejecución se requiere la aplicación de criterios técnicos y de gestión del riesgo.

Esta estructura metodológica busca intervenciones técnicamente eficaces, patrimonialmente responsables y sostenibles en el tiempo, con menos discrecionalidad en las decisiones y un enfoque integral, reproducible y adaptable a futuras intervenciones en bienes inmuebles de valor histórico.

Fase 1: Diagnóstico (duración estimada: 6-9 Meses)

Figura 31

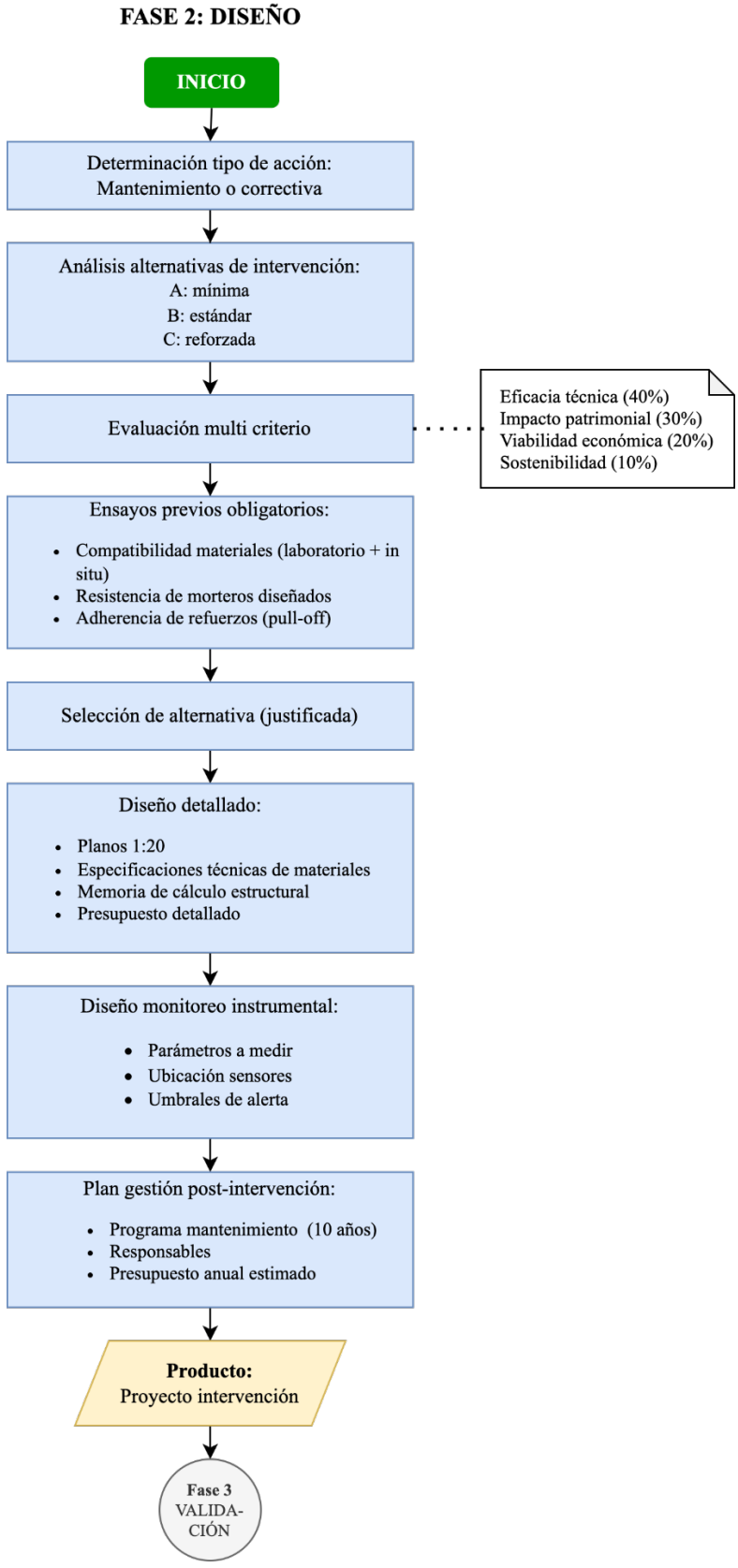
Diagrama de flujo de la Fase 1 – Diagnóstico



Fase 2: Diseño (duración estimada: 4-6 meses)

Figura 32

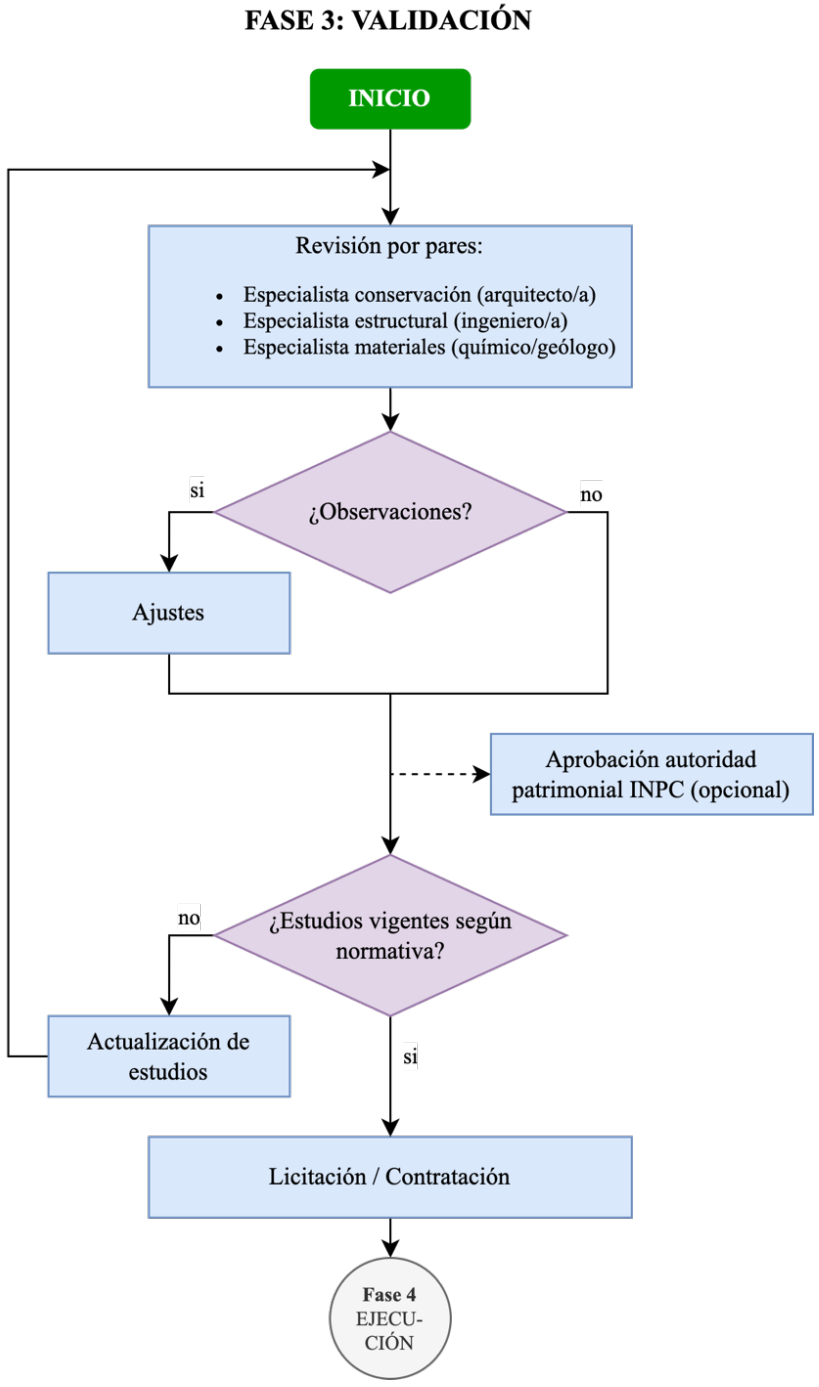
Diagrama de flujo de la Fase 2 – Diseño



Fase 3: Validación (duración estimada: 2-3 meses)

Figura 33

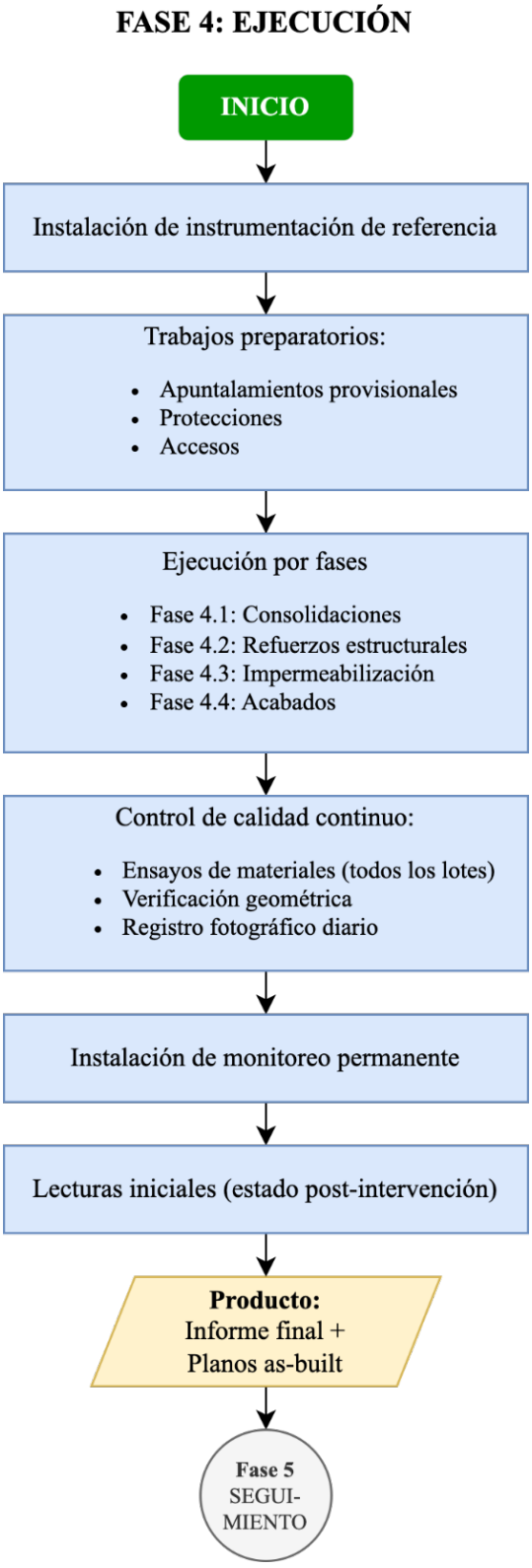
Diagrama de flujo de la Fase 3 – Validación



Fase 4: Ejecución (duración variable: 12-24 meses típico)

Figura 34

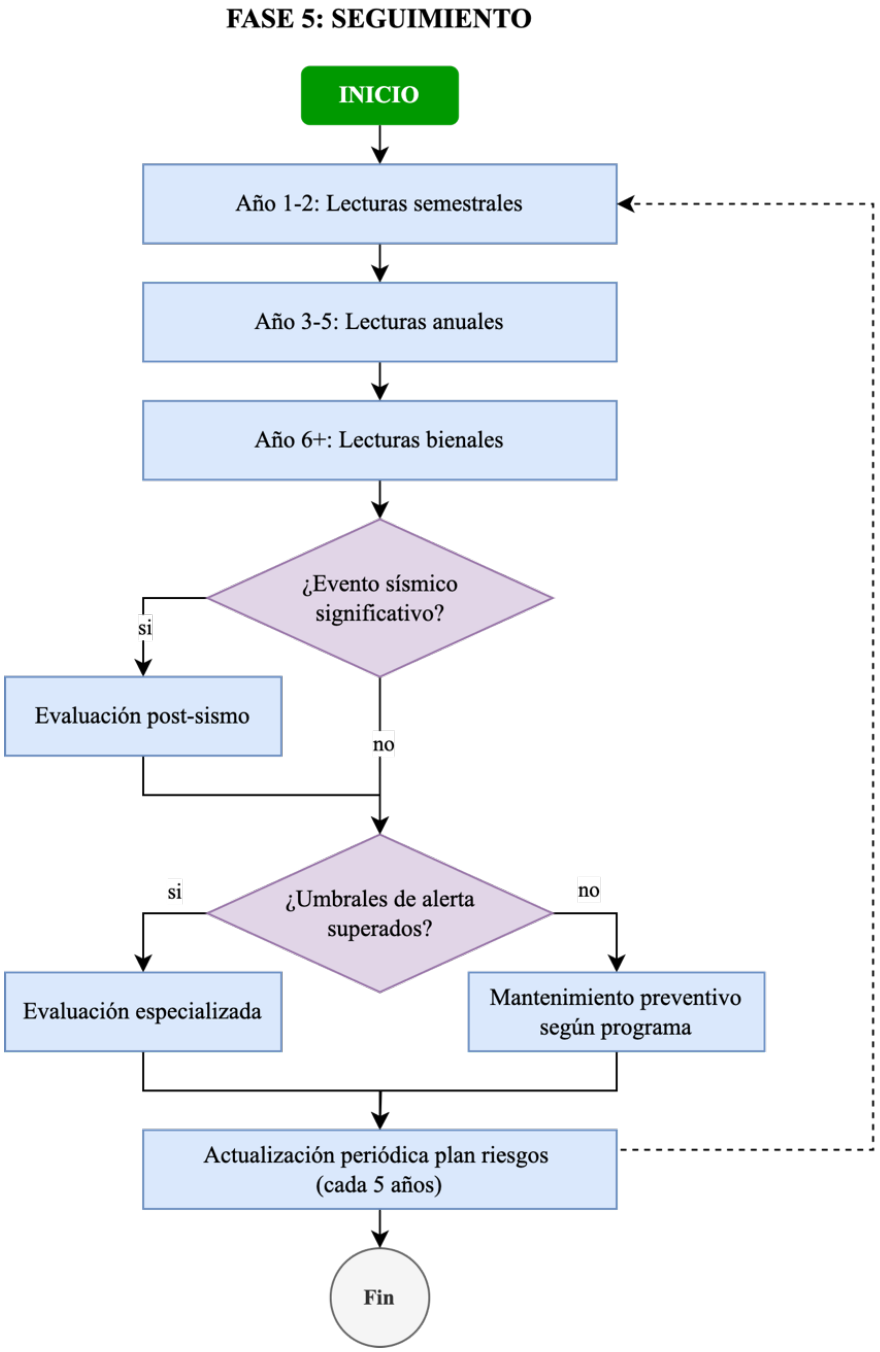
Diagrama de flujo de la Fase 4 – Ejecución



Fase 5: Seguimiento (permanente, horizonte mínimo 10 años)

Figura 35

Diagrama de flujo de la Fase 5 – Seguimiento



4.7.2. Lista de verificación pre-intervención (checklist obligatorio)

El Checklist de Cumplimiento de Mejores Prácticas constituye un instrumento de verificación orientado a comprobar la consideración de criterios técnicos, estructurales, de conservación patrimonial y de gestión en las distintas etapas de intervención de bienes patrimoniales. Su aplicación permite identificar el cumplimiento de los aspectos mínimos

establecidos, así como registrar aquellos requerimientos que deban ser justificados técnicamente antes de la ejecución de una intervención. El checklist en su formato imprimible se adjunta en el Anexo 14.

4.7.3. Indicadores de calidad de intervención

Para evaluar retrospectivamente la calidad de intervenciones ejecutadas:

Tabla 36
Indicadores obligatorios

Indicador	Meta	Fuente de verificación
Documentación estado previo	≥80% de información requerida	Expediente técnico
Justificación sustituciones	100% documentadas	Informes + ensayos
Protección anticorrosiva	100% elementos metálicos	Especificaciones + fotos obra
Monitoreo implementado	100% parámetros críticos	Instrumentación instalada
Durabilidad impermeabilización	≥20 años documentada	Certificados fabricante
Mantenimiento formalizado	Plan 10 años + presupuesto	Documento aprobado institución
Nivel de confianza análisis	≥75%	Matriz ABC-GRD
Reversibilidad promedio	≥Media	Evaluación técnica

Tabla 37
Indicadores de excelencia

Indicador	Meta excelencia	Verificación
Pérdida material histórico	<5% masa total	Inventario pre/post
Legibilidad preservada	>90% sistema visible	Evaluación comparativa
Monitoreo completo	Todos parámetros ABC-GRD	Instrumentación extensiva
Documentación 3D	Precisión <2mm	Nube puntos archivada
Publicación científica	≥1 artículo indexado	Repositorio académico
Mantenimiento garantizado	15 años presupuestados	Convenio institucional

4.7.4. Recomendaciones para gestión institucional

A nivel de proyecto individual:

1. **Contratar especialistas calificados:**
    - Arquitecto/Ingeniero con experiencia demostrable en conservación (≥3 proyectos patrimoniales ejecutados)
    - Equipo multidisciplinario (estructural + materiales + conservación)
    - Prohibir “generalistas” sin especialización patrimonial

2. **Asignar presupuestos realistas:**

    - Estudios previos: 8-12% de costo estimado de intervención
    - Monitoreo (5 años): 3-5% de costo de intervención
    - Mantenimiento (10 años): 10-15% de costo de intervención
    - **Total ciclo de vida: Intervención + 18-32% adicional**

3. **Establecer plazos adecuados:**

    - Diagnóstico: Mínimo 6 meses
    - Diseño: Mínimo 4 meses
    - Ejecución: Según complejidad, no forzar aceleración

A nivel de política institucional:

1. **Crear registro de intervenciones patrimoniales:**

    - El custodio del bien deberá conservar un registro técnico completo de todas las intervenciones realizadas (estudios previos, diagnóstico, diseño, ejecución, monitoreo y mantenimiento)
    - Remitir estos registros a las autoridades competentes (INPC y GAD correspondiente) para su control y archivo
    - Los expedientes digitales deberán ser accesibles a los investigadores respetando las disposiciones institucionales aplicables
    - Promover la publicación de lecciones aprendidas derivadas de las intervenciones, por parte de los profesionales encargados

2. **Establecer protocolos de seguimiento obligatorio:**

    - Inspecciones oficiales cada 5 años
    - Verificación de cumplimiento de planes de mantenimiento
    - Sanciones por incumplimiento (administrativas, no penales)

3. **Capacitación continua:**

    - Cursos de actualización para custodios
    - Talleres de mantenimiento preventivo
    - Intercambio de experiencias entre instituciones

4. **Financiamiento sostenible:**

    - Fondos específicos para mantenimiento (adicional al de intervenciones)
    - Convenios con universidades para monitoreo académico
    - Alianzas público-privadas para sostenibilidad

4.8. Conclusiones

Las mejores prácticas propuestas sintetizan las lecciones aprendidas del análisis de tres intervenciones en cúpulas patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador. En ellas se han identificado las estrategias técnicamente validadas y las omisiones que deben evitarse en proyectos futuros.

Tres aspectos son importantes para futuras intervenciones:

1. Protección anticorrosiva obligatoria de todos los elementos metálicos, cuya omisión en la Iglesia Matriz de Pujilí y en la Catedral de Latacunga generó riesgos emergentes con un horizonte de 15-25 años, que comprometen la sostenibilidad de las soluciones implementadas.

2. Especificación rigurosa de sistemas de impermeabilización, considerando una durabilidad comprobada en condiciones similares (≥20 años) y escenarios climáticos futuros, y superando la práctica actual, basada en la disponibilidad comercial sin evaluación técnica exhaustiva.

3. Implementación obligatoria de monitoreo instrumental y protocolos formalizados de mantenimiento preventivo, reconociendo que la ausencia documentada en los tres casos es una omisión sistemática que debe corregirse mediante exigencia normativa y no solo como recomendación técnica

La complejidad de los sistemas constructivos patrimoniales impide la implementación de soluciones definitivas, por lo que la aplicación de estas mejores prácticas no garantiza resultados perfectos. Su uso podría reducir la probabilidad de fracasos técnicos documentados y mejorar la calidad de las intervenciones.

5. Conclusiones

El presente estudio analizó los sistemas de reforzamientos estructurales aplicados en las cúpulas de tres iglesias patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador (Iglesia Matriz de Pujilí, Catedral de Latacunga, y Basílica de Riobamba), con el propósito de identificar mejores prácticas aplicables a futuras intervenciones en bienes patrimoniales religiosos de similares características.

Contrastar la información obtenida por triangulación de fuentes (revisión documental, observación técnica de campo y revisión de antecedentes e intervenciones en las cúpulas) con las entrevistas realizadas permitió complementar y contextualizar los hallazgos del estudio. En algunos casos la documentación técnica no tenía el mismo nivel de detalle en los tres casos analizados, y las entrevistas ayudaron a entender mejor las decisiones técnicas adoptadas, los resultados obtenidos y la forma en que se afrontan en la práctica los procesos de conservación y los riesgos asociados al patrimonio.

5.1. Respecto a la identificación de sistemas de reforzamiento estructural

La revisión técnico-documental y las visitas de campo permitieron identificar que las intervenciones analizadas se basaron principalmente en estrategias de reforzamiento estructural orientadas al control de empujes y a la estabilización de zonas críticas de las cúpulas. Entre las soluciones más recurrentes se encuentran los sistemas de reforzamiento tipo espina de pez, aplicados en los casos de la Iglesia Matriz de Pujilí y de la Catedral Latacunga, así como intervenciones destinadas al refuerzo del anillo estructural y procesos de consolidación mediante inyecciones en puntos críticos. En el caso de la Basílica de Riobamba, se documentó el uso de refuerzos compuestos con fibras de carbono en los nervios convergentes de la cúpula octogonal, así como en los anillos superior e inferior

En dos de los tres casos se documentó explícitamente el empleo de barras de acero inoxidable, lo que evidencia la aplicación de criterios técnicos orientados a mejorar la durabilidad de las intervenciones mediante materiales resistentes a la corrosión. Aún no hay experiencia documentada sobre el comportamiento a largo plazo (superior a 15 años) de estos elementos metálicos embebidos en piedra pómez bajo condiciones ambientales andinas de altura. Esto introduce cierta incertidumbre sobre su desempeño futuro, que podría manifestarse a mediano y largo plazo.

Por otra parte, las intervenciones en los sistemas de impermeabilización fueron más heterogéneas entre los casos analizados: se usó masillado impermeabilizante en la Catedral de Latacunga y membranas sintéticas de fibra de vidrio en la Basílica de Riobamba. La diversidad de soluciones sugiere la ausencia de un consenso sobre las mejores prácticas para el control hídrico en cubiertas de cúpulas patrimoniales situadas en contextos andinos, aspecto importante para futuras investigaciones y el desarrollo de criterios de intervención.

5.2. Respecto al análisis de sistemas de reforzamiento y patologías

La aplicación de la metodología ABC-GRD permitió sistematizar el análisis de riesgos mediante matrices, identificando 23 riesgos activos (9 residuales, 14 emergentes). El hallazgo más significativo es el patrón de efectividad diferenciada:

Frente a las amenazas sísmicas, los reforzamientos estructurales fueron efectivos y redujeron entre 60% y 80% la magnitud de los riesgos originales. Los riesgos residuales del comportamiento sísmico se ubicaron siempre en rangos bajos (MR <10).

En cambio, las soluciones frente a amenazas hídricas fueron menos efectivas. Los dos únicos riesgos de magnitud media corresponden a fallas de impermeabilización: RR-2 Catedral de Latacunga (MR=11.5) y RE-2 Basílica de Riobamba (MR=11.9, con fallo prematuro apenas 7 años después de su aplicación en 2019). Este contraste muestra que el control hídrico es el desafío técnico más crítico que las intervenciones estudiadas no resolvieron.

Las intervenciones introdujeron nuevas vulnerabilidades que los diseños originales no habían previsto. El factor amplificador B1-6 (rigidez diferencial en sistemas mixtos) puede generar concentración de tensiones en las interfaces mampostería-acero. También se documentó la pérdida de legibilidad histórica en la Basílica de Riobamba (RE-3, MR=9.6), donde los refuerzos con fibras de carbono enmascararon parcialmente la expresión material del sistema constructivo pionero de ocho nervios convergentes. En los tres casos se identificó la ausencia de monitoreo instrumental (RE-4, MR=3.6-8.5).

La documentación exhaustiva no es un requisito burocrático, sino un factor determinante de la calidad del análisis retrospectivo. Los niveles de confianza del análisis de riesgos fueron medio-alto en la Iglesia Matriz de Pujilí (85%) y la Basílica de Riobamba (80%), y en la Catedral de Latacunga obtuvo un nivel medio (70%). Estas diferencias obedecieron a la calidad de la documentación técnica disponible.

5.3. Respecto a la determinación de mejores prácticas

La propuesta desarrollada sintetiza las lecciones aprendidas del análisis previo, identificando estrategias técnicamente validadas y deficiencias que deben evitarse:

Estrategias validadas:

- Reforzamiento mediante espina de pez (efectividad 60-80% documentada)
- Refuerzo del anillo estructural para la contención de empujes, mediante elementos metálicos perimetrales
- Consolidación estructural mediante inyecciones diferenciadas según abertura de fisuras y grietas

Deficiencias críticas:

- La ausencia de monitoreo instrumental se repitió en tres proyectos independientes, lo que podría atribuirse a una limitación sistemática en la práctica profesional regional.
- Selección inadecuada de la impermeabilización, que no se basó en una durabilidad comprobada (≥20 años) en condiciones similares.
- Ninguna intervención estableció protocolos de mantenimiento, lo que compromete la sostenibilidad de las soluciones implementadas.

Aporte metodológico: Se propone una serie de pautas específicas de gestión que incluye el monitoreo constante y la generación de conocimiento que, mediante la publicación científica de resultados, pueda ser consultada en futuros proyectos.

5.4. Conclusiones generales

- En las intervenciones se priorizó la estabilización mecánica por encima de la sostenibilidad a largo plazo. Los reforzamientos metálicos demostraron ser efectivos para mitigar los riesgos sísmicos, lo que sugiere su aplicabilidad en contextos similares, cuando las alternativas tradicionales o compatibles resulten insuficientes. En contraste, el control hídrico resultó ser un desafío técnico que no se resolvió en los casos analizados.
- Las valoraciones de efectividad de los sistemas de reforzamiento corresponden a estimaciones cualitativas obtenidas de inspecciones visuales, análisis documental e histórico de los daños y criterio experto del autor, dentro de la metodología de evaluación de riesgos. No son resultados de una modelación numérica (elementos finitos) ni de un cálculo de capacidad, que quedaron fuera del alcance de esta investigación. A partir de esta evidencia, se estima que los sistemas mejoran el comportamiento estructural de las cúpulas.
- En el afán de mitigar las amenazas preexistentes, las intervenciones introdujeron vulnerabilidades emergentes (como la pérdida de legibilidad), que no se gestionaron de forma proactiva. Se necesitan análisis prospectivos que consideren las implicaciones a largo plazo de las soluciones adoptadas.
- La falta de monitoreo y mantenimiento formalizados en los tres proyectos analizados muestra limitaciones en los procesos de diseño y gestión institucional de las intervenciones patrimoniales. Es una deficiencia sistemática en los casos analizados, que podría reflejar una práctica regional.
- La metodología ABC-GRD demostró su eficacia en el análisis retrospectivo de las intervenciones patrimoniales. El nivel de confianza para el análisis de riesgos alcanzó un nivel medio-alto (70-85%), lo que valida empíricamente que la documentación exhaustiva influye en la calidad técnica del análisis de riesgos a largo plazo.
- Existe tensión entre la efectividad técnica estructural y la preservación del valor patrimonial. La competencia técnica en el ámbito patrimonial no se reduce a la

eficacia estructural, sino que deben integrarse criterios para preservar la dimensión documental del bien.

6. Recomendaciones

6.1. Para los profesionales intervinientes

- Incorporar sistemas de monitoreo instrumental con un presupuesto específico dentro del proyecto (3-5% del costo de intervención), garantizando al menos 5 años. Los umbrales de alerta deben establecerse técnicamente y vincularse a los protocolos de respuesta preventiva.
- Fundamentar la selección de sistemas de impermeabilización en durabilidad comprobada (≥20 años) y bajo condiciones similares, requiriendo evidencia documental de aplicaciones previas en altitudes >2,000 msnm, sin fallas significativas.
- Analizar de forma explícita la concentración de tensiones en las interfaces de sistemas mixtos, con estrategias para minimizarla mediante elementos de transición que reduzcan los gradientes de rigidez.
- Cuando haga falta aplicar materiales sin experiencia documentada en el contexto específico, se debe declarar la incertidumbre en la memoria técnica, implementar un monitoreo reforzado (con una frecuencia semestral en los primeros 5 años) y comprometerse a publicar los resultados del seguimiento.
- Generar documentación exhaustiva que incluya: levantamiento geométrico con precisión ±5 mm, caracterización material mediante un laboratorio acreditado, planos as-built detallados, especificaciones técnicas completas (no limitado a nombres comerciales), y un registro fotográfico de mínimo 500 imágenes georreferenciadas.

6.2. Para autoridades y técnicos del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC)

- Desarrollar lineamientos técnicos para las intervenciones en cúpulas patrimoniales, mismas que establezcan los contenidos mínimos obligatorios para los estudios previos de intervención, las especificaciones técnicas de sistemas validados, los requisitos de monitoreo instrumental según tipo de intervención, y los protocolos de documentación exhaustiva.
- Implementar una base de datos centralizada con los expedientes técnicos completos de las intervenciones ejecutadas sobre el patrimonio edificado, los resultados de monitoreo a largo plazo, y lecciones aprendidas de fracasos técnicos. Este registro debe ser accesible a investigadores y profesionales.
- Establecer programa de certificación para profesionales que intervienen en el patrimonio inmueble, incluyendo capacitación en metodologías de análisis de riesgo (como la metodología ABC-GRD), en sistemas de monitoreo instrumental, compatibilidad de materiales, y en gestión de incertidumbres técnicas.

- Fortalecer la capacidad de control técnico mediante inspecciones obligatorias en fases críticas (diagnóstico, diseño, ejecución, entrega), la verificación del cumplimiento mediante ensayos de control de calidad, y la puesta en conocimiento con celeridad de los informes de control técnico hacia el ente rector del patrimonio para aplicación de sanciones efectivas por incumplimientos cuando las intervenciones comprometan la integridad patrimonial.

6.3. Para futuras investigaciones

- Instalar testigos de corrosión en la Iglesia Matriz de Pujilí y en la Catedral de Latacunga aprovechando las intervenciones ya ejecutadas, hacer la caracterización electroquímica in situ cada 5 años y extraer testigos para análisis metalográfico a los 10, 15 y 20 años. Los resultados deben publicarse, para generar conocimiento transferible sobre la durabilidad real del acero inoxidable embebido en piedra pómez en condiciones andinas.
- Evaluar experimentalmente la durabilidad de distintos sistemas de impermeabilización (láminas asfálticas, membranas termoplásticas, poliuretanos) en condiciones controladas que simulen el ambiente andino (amplitud térmica, radiación UV, ciclos climáticos), y desarrollar especificaciones técnicas validadas con envejecimiento acelerado equivalente a 20 años de exposición.
- Establecer criterios cuantificables para valorar la legibilidad de los sistemas constructivos históricos, desarrollar protocolos para evaluar el impacto de los refuerzos sobre la capacidad documental del bien y proponer estrategias de diseño que equilibren la efectividad técnica con la preservación de la legibilidad
- Validar la efectividad de la metodología propuesta ABC-GRD aplicándola a otros tipos de estructuras patrimoniales, como torres de campanario, retablos y cubiertas de madera, y en diferentes contextos.

Bibliografía

Abril, Ó., & Lasheras, F. (2017). Cúpulas de barro, de piedra y de barro y piedra en las construcciones auxiliares de la arquitectura popular del centro de Castilla y León. *Informes de La Construcción*, *69*(546), 1–15. https://doi.org/10.3989/id54749

Acale, F. (2016). *Metodología para el análisis histórico-constructivo en edificios granadinos* [Universidad de Granada]. http://hdl.handle.net/10481/41251

Aguirre, K. (2016). *Estudio de Reforzamiento y Consolidación Estructural de las Cúpulas y Cupulines de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús de la Ciudad de Riobamba*.

Alegre, E., Perla, A., & López, J. (2016). Tema 1 La Construcción y los Materiales. In Editorial Universitaria Ramón Areces (Ed.), *La Materia del Arte Técnicas y Medios*. https://www.cerasa.es/media/areces/files/book-attachment-2730.pdf

Alzira, P. (2020). *El riesgo de desplome de la cúpula cierra la iglesia de la patrona de Sueca*. https://www.levante-emv.com/ribera/2020/11/11/riesgo-desplome-cupula-cierra-iglesia-22977544.html

Apaza, D. (2018). *Evaluación de mecanismos de colapso generados por acciones sísmicas en la catedral de Puno 2019* [Pontificia Universidad Católica de Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13436

Binda, L., Modena, C., Baronio, G., & Abbaneo, S. (1997). Repair and investigation techniques for stone masonry walls. *Construction and Building Materials*, *11*(3), 133–142. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-0618(97)00031-7

Binda, L., & Saisi, A. (2005). Research on historic structures in seismic areas in Italy. *Progress in Structural Engineering and Materials*, *7*, 71–85. https://doi.org/10.1002/pse.194

Binda, L., Saisi, A., & Tiraboschi, C. (2000). Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries. *Construction and Building Materials*, *14*(4), 199–233. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00018-0

Borri, A., & Corradi, M. (2011). Strengthening of timber beams with high strength steel cords. *Composites Part B: Engineering*, *42*(6), 1480–1491. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.04.051

Cajas, V. (2016). *Análisis de las intervenciones patrimoniales en Quito (Ecuador). Los casos de las iglesias de San Francisco y de la Compañía de Jesús* [Universidad Politécnica de Cataluña]. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/84117

Cao, L. (2020). *The Future of the Old: How Ancient Construction Techniques are Being Updated*. Www.Archdaily.Com. https://www.archdaily.com/933010/the-future-of-the-old-how-ancient-construction-techniques-are-being-updated

Carta de Burra (1979). https://icomos.es/wp-content/uploads/2020/01/burra1999_spa.pdf

Carta Internacional Sobre La Conservación y La Restauración de Monumentos y Sitios - Carta de Venecia 1964 (1964). https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf

Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) (2010).

Constitución de La República Del Ecuador (2008). https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Convención Sobre La Protección Del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural (1972). https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf

Cortés, L., & Pardo, J. (2024). Un tejado moderno para la cúpula de la iglesia de Sales. *Informes de La Construcción*, *76*(573), 6470. https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.6470

Croci, G. (1998). *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*

(University of Rome “La Sapienza,” Ed.). WIT Press.
Cuadros, E. (2020). *Análisis estructural avanzado del Templo de Huaytará-Huancavelica, Perú* [Universidad Politécnica de Cataluña]. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/333730?show=full
De la Guardia, F. (2025). *Iglesias en Riobamba: un recorrido por la fe y la arquitectura religiosa*. https://www.minube.com/categorias/iglesias-riobamba
De Miguel, J. (2015). *Fisuras y Grietas*. https://oa.upm.es/74693/1/Fisuras_Grietas.pdf
Dennison, S. (2018). *Palaceofardeshir [Fotografía]*. Wikimedia Commons. Licencia CC BY-SA 4.0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palaceofardeshir.jpg
Díaz, A. (2019). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la iglesia belén de la ciudad de Cajamarca – 2017* [Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4310
Dokmak, A. (2009). La utilización de las partes de la bóveda de arista en la arquitectura islámica y mudéjar en al-Andalus, norte de África y Sicilia. *Anales de Historia Del Arte*, (19), 7–42. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3185481
Durán Ortiz, M. R. (2018). *Gothic rib vault Notre Dame de Paris 04 2018 9684 [Fotografía]*. Wikimedia Commons. Licencia CC BY-SA 4.0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gothic_rib_vault_Notre_Dame_de_Paris_04_2018_9684.jpg
e-struc. (2015). *La Reparación de una Cúpula de Fábrica II*. E-Struc.Com. https://e-struc.com/2015/03/25/la-reparacion-de-una-cupula-de-fabrica-ii/
Feilden, B. (2003). *Conservation of Historic Buildings* (Routledge, Ed.; 3ra.).
Fernández, J. (2014). *Cúpulas, trompas y pechinas. Cúpulas en Asturias*. Patrimonioarquitectonicodeasturias.Blogspot.Com. https://patrimonioarquitectonicodeasturias.blogspot.com/2014/04/cupulas-trompas-y-pechimas-cupulas-en.html
Fernández, J. (2023). *Diagnóstico e identificación de patologías y tipologías del bien cultural edificado*. Univesidad Nacional de Chimborazo.
García, S. (1995). *Metodología de Diagnóstico de Humedades de Capilaridad Ascendente y Condensación Higroscópica, en Edificios Históricos* [Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/10159/1/SOLEDAD_GARCIA_MORALES.pdf
Glosario ilustrado de arte arquitectónico. (2024). *Sillares y mampuestos - falsa bóveda*. Www.Glosarioarquitectonico.Com. https://www.glosarioarquitectonico.com/glossary/falsa-boveda/
GoRaymi. (2024). *Catedral de Latacunga*. https://www.goraymi.com/es-ec/cotopaxi/latacunga/iglesias-templos/catedral-latacunga-a230b2c9e
Hernández, F. (2022). Desafíos para la reconstrucción del Santuario de Nuestra Señora de los Ángeles, Ciudad de México. *Revista Científica De Arquitectura Y Urbanismo*, *43*(2), 7–23. https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/701
Heyman, J. (1995). *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge University Press. https://books.google.com.ec/books?id=IvuIvzwGClwC
Huerta, S. (1990). *Diseño Estructural de Arcos, Bóvedas y Cúpulas en España ca. 1500 - ca. 1800* [Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid]. https://doi.org/https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.549
Huerta, S. (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica* (Instituto Juan de Herrera, Ed.).
Hurtado, P. (2009). Las bóvedas de madera en los tratados de arquitectura. *BIA, Revista Del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Madrid*, (260), 99–114. https://oa.upm.es/4791/
ICCROM. (1990). *Structural Conservation of Stone Masonry. International Technical*

Conference. https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-02/1990_stone_masonry_athens_49219_light.pdf
ICCROM, & CCI. (2023). *El método ABC: un enfoque de la gestión de riesgos para la preservación del patrimonio cultural*. https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2024-02/abc_method_spanish_feb_2024.pdf
ICOMOS. (2003). *Principles for the analysis, conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. Www.Icomos.Org. https://www.icomos.org/en/about-the-centre/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/165-icomos-charter-principles-for-the-analysis-conservation-and-structural-restoration-of-architectural-heritage
ICOMOS, & ISCARSAH. (2024). *Guidelines for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Arquitectural Heritage*. https://iscarsah.org/wp-content/uploads/2025/04/iscarsah-guidelines.-approved-september-2024-1.pdf
IGEPN. (2023). *Mapa digital interactivo de peligro sísmico para Ecuador*. https://www.igepn.edu.ec/mapas/peligro-sismico/mapa-peligro-sismico.html
INAMHI. (2013). *Anuarios Meteorológicos*. https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/
InfoTurismo. (2019). *Arte y Cultura*.
INPC. (2015a). *Ficha de Inventario SIPCE IBI-05-01-04-000-000103B, Iglesia La Catedral*.
INPC. (2015b). *Instructivo para fichas de registro e inventario - Bienes inmuebles*. https://www.patrimoniocultural.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2_INSTRUCTIVO-INMUEBLE.pdf
INPC. (2018). *Ficha de Inventario SIPCE IBI-06-01-02-000-000060, Iglesia Basílica de Riobamba*.
INPC. (2022). *Ficha de Inventario SIPCE IBI-05-04-50-000-000045, Iglesia Matriz de Pujili*.
INPC. (2024). *Instructivo para fichas de inventario. Patrimonio cultural inmueble.* (1ra Ed.).
Instituto Geofísico - EPN. (2017a). *Erupción de febrero-marzo 2016 del volcán Tungurahua*. https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1463-erupcion-de-febrero-marzo-2016-del-volcan-tungurahua
Instituto Geofísico - EPN. (2017b). *Mapa Amenaza Volcánica COTOPAXI*. https://www.igepn.edu.ec/cotopaxi-mapa-de-amenza-volcanica
Instituto Geofísico - EPN. (2023). *Mapa Amenaza Volcánica TUNGURAHUA*. https://www.igepn.edu.ec/tungurahua-mapa-de-amenaza-volcanica
ISO 31000 (2018). https://www.ramajudicial.gov.co/documents/5454330/14491339/Norma.ISO.31000.2018.Espanol.pdf/cb482b2c-afd9-4699-b409-0732a5261486
Jasieńko, J., Raszczuk, K., Frąckiewicz, P., Kleszcz, K., & Bednarz, Ł. (2021). Strengthening of masonry rings with composite materials. *Heritage Science*, *9*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s40494-021-00485-5
Jiménez, N. (2024). *Cúpula*.
Jokilehto, J. (2018). *A History of Architectural Conservation* (Routledge, Ed.; 2da.).
Jones, M. (2000). *Principles of Roman Architecture* (Yale University Press, Ed.). https://www.academia.edu/14750168/Principles_of_Roman_Architecture_pp_270_xi_Yale_University_Press_2000_ISBN_0_300_08138_3
Kerakoll. (2020). *Cúpulas*. https://products.kerakoll.com/yep-repository/kerakoll/media/Manuale_tecnico_strutturale_2020_(es)_10_Cupole_per_Si

to.pdf
León, H. (2013). *Iglesia Matriz de Pujilí-Cotopaxi Análisis de Estado Actual Cortes, Lámina EA-3*.
Ley Orgánica de Cultura (2016). https://www.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2017/08/a2_LEY_ORGANICA_DE_CULTURA_julio_2017.pdf
Ley Orgánica Para La Gestión Integral Del Riesgo de Desastres, Pub. L. Registro Oficial Suplemento 488 de 30-ene.2024 (2024).
Leyva, J., & Urrego, A. (2019). *Estado del arte del reforzamiento de muros de mampostería no estructurales con el uso de polímeros reforzados con fibras* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. http://hdl.handle.net/11349/15522
Lincango, W. (2016). *Basílica del Sagrado Corazón de Jesús de la Ciudad de Riobamba. Informe – Estudio Estructural*.
Lluis i Ginovart, J., Costa-Jover, A., Lluis-Teruel, C., Moreno García, D., & Coll-Pla, S. (2022). Anomalías geométricas en la construcción de bóvedas tabicadas en los Templos salón del siglo XVIII: Sant Miquel de Batea. *Informes de La Construcción*, *74*(568 SE-Artículos), e468. https://doi.org/10.3989/ic.91267
Lorenzoni, F., Filippo, C., Modena, C., Caldon, M., Islami, K., & da porto, F. (2013). Structural health monitoring of the Roman Arena of Verona, Italy. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, *Volume 3*, p 227-246. https://doi.org/10.1007/s13349-013-0065-0
Lourenço, P. B. (2006). Recommendations for restoration of ancient buildings and the survival of a masonry chimney. *Construction and Building Materials*, *20*(4), 239–251. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.026
Lozano, V. (2021). *Restauración Arquitectónica Parcial de la Iglesia la Catedral de Latacunga - Especificaciones Técnicas*.
Lübke, W., & Semrau, M. (1908). *Schatzhaus des Atreus, Querschnitt [Ilustración]*. Wikimedia Commons. https://es.wikipedia.org/wiki/Tesoro_de_Atreo#/media/Archivo:Schatzhaus_des_Atreus,_Querschnitt.jpg
Manosalvas, N. (2016). *Reforzamiento y Consolidación Estructural de la Cúpula y Cupulines de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús de la ciudad de Riobamba, Lámina EA-4*.
Martínez, S., Ortiz, J., & Gil, M. (2015). Geometric documentation of historical pavements using automated digital photogrammetry and high-density reconstruction algorithms. *Journal of Archaeological Science*, *53*, 1–11. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.10.003
Masciotta, M.-G., Ramos, L. F., & Lourenço, P. B. (2017). The importance of structural monitoring as a diagnosis and control tool in the restoration process of heritage structures: A case study in Portugal. *Journal of Cultural Heritage*, *27*, 36–47. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.04.003
Mata, A. (2022). *Geometría esférica : la cúpula geodésica con piezas rectangulares* [Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/69904/
Michelena, W., Guevara, M., Yánez, P., & Garcés, J. (2021). *Proyecto de Restauración Parcial de la Catedral de Latacunga, Lámina 4/4*.
MIDUVI. (2014). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente - NEC-SE-DS*. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf
Ministerio de Turismo. (2013). *Iglesias y Santuarios del Ecuador* (F. Burgos, Ed.). https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2018/03/Ruta-Espiritual.pdf
Minke, G. (2007). Cúpulas de adobe. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio*

Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, *20*(2), 336–341. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632007000200013&nrm=iso

Mizutani, E., Ogura, D., Ishizaki, T., Abuku, M., & Sasaki, J. (2015). Influence of the Infiltrated Rainwater on the Degradation of the Inner Wall in Hagia Sophia, Istanbul. *Energy Procedia*, *78*, 1353–1358. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.153

Modena, C., Valluzzi, M., da porto, F., & Filippo, C. (2011). Structural Aspects of The Conservation of Historic Masonry Constructions in Seismic Areas: Remedial Measures and Emergency Actions. *International Journal of Architectural Heritage*, *5*, 539–558. https://doi.org/10.1080/15583058.2011.569632

Mompó, M. (2015). *Superadobe, técnica de construcción ecológica*. https://arquitecturayempresa.es/noticia/superadobe-tecnica-de-construccion-ecologica

Monjo, J., & Maldonado, L. (2001). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas* (Munilla-Lería, Ed.). https://oa.upm.es/45423/

Moropoulou, A., Labropoulos, K. C., Delegou, E. T., Karoglou, M., & Bakolas, A. (2013). Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. *Construction and Building Materials*, *48*, 1222–1239. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.044

Moya, L. (1987). Arquitecturas Cupuliformes: El Arco, la Bóveda y la Cúpula. In Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Ed.), *Curso de mecánica y tecnología de los edificios antiguos* (pp. 97–119).

Muñoz, S. (2005). *Contemporary Theory of Conservation*. Elsevier.

Nuere Matauco, E., Candelas-Gutierrez, Á., & de Mingo García, J. (2020). Análisis constructivo de la cúpula de madera del desaparecido Palacio de los Cárdenas en Torrijos (S. XV). *Informes de La Construcción*, *72*(559 SE-Artículos), e353. https://doi.org/10.3989/ic.71019

Orbasli, A. (2008). *Architectural conservation : principles and practice*. Blackwell Science.

Ordenanza Nro. 016-2020, "La Ordenanza Que Norma El Ejercicio de La Competencia Para Preservar, Mantener y Difundir El Patrimonio Arquitectónico, Cultural y Construir Los Espacios Públicos Para Estos Fines En El Cantón Riobamba" (2020). https://www.gadmriobamba.gob.ec/phocadownload/lotaip2020/diciembre/AnexoS/Ordenanza_No.016_2020_Ordenanza_que_norma_el_ejercicio_de_la_competencia_para_preservar_mantener_y_difundir_el_patrimonio_arquitectónico.pdf

Ordenanza Que Regula La Preservación, Conservación, Mantenimiento y Difusión Del Patrimonio Cultural En El Cantón Latacunga, Pub. L. Registro Oficial, Edición Especial Nro. 1115, 27 de febrero de 2026 (2026). https://vlex.ec/vid/ordenanza-municipal-canton-latacunga-1112357421

Ottoni, F., & Blasi, C. (2014). Results of a 60-Year Monitoring System for Santa Maria del Fiore Dome in Florence. *International Journal of Architectural Heritage*, *9*, 7–24. https://doi.org/10.1080/15583058.2013.815291

Pérez, N. (2013). La ciencia de materiales en la conservación del patrimonio cultural. *Materiales Avanzados*, 9–14. https://www.researchgate.net/publication/292156085_La_ciencia_de_materiales_en_la_conservacion_del_patrimonio_cultural

Quesada, F. (2016). La construcción con madera en la ciudad de Cuenca – Ecuador. *Estudios Sobre Arte Actual*, *4*.

Reglamento General a La Ley Orgánica de Cultura, Pub. L. Registro Oficial Suplemento 8 de 06-jun.2017 (2017). https://www.presidencia.gob.ec/wp-

content/uploads/2017/08/a2_REGLAMENTO_GENERAL_A_LA_LEY_ORGANICA_DE_CULTURA_julio_2017.pdf

Requena, I. (2004). *Análisis de tipologías estructurales: bóveda, lámina, cúpula y paraboloide* (Universidad de Alicante, Ed.). https://www.academia.edu/20295513/Analisis_de_tipologias_estructurales_por_Ignacio_Requena_Ruiz

Resolución No. 0004-CNC-2015 (2015).

Resolución No. 006-CNC-2017 (2017).

Rodríguez, Z. (2020). *La función de los nervios como cimbra en las bóvedas góticas* [Universidad Politécnica Madrid]. https://oa.upm.es/65667/1/TFG_Jul20_Rodriguez_Planelles_Zulema.pdf

Romero, D. (2018). *Arte Bizantino*. Repository.Uaeh.Edu.Mx. https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/19001/arte-bizantino-dalia-romero.pdf

Saga, M. (2020). *La Catedral de Florencia, maravilla del Renacimiento*. https://historia.nationalgeographic.com.es/a/catedral-florencia-maravilla-renacimiento_13634

Sameño. (2018). *El Biodeterioro en Edificios del Patrimonio Cultural. Metodología de Evaluación de Tratamientos Biocidas* [Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico]. https://core.ac.uk/download/pdf/185608444.pdf

San Felipe Neri. (2020). *Basílica del Sagrado Corazón de Jesús*. https://www.sfelipeneri.edu.ec/portal/his/hisbasi.php

Silva, A., León, H., Panchi, W., Carrillo, C., & Coba, D. (2020). *Memoria Constructiva. Remodelación y Reconstrucción de Bienes Declarados Patrimonio Cultural - Iglesia Matriz*.

Talavera, A. (2020). *Una iglesia de Sueca cierra al culto tras sufrir daños en la cúpula por las lluvias*. Www.Lasprovincias.Es. https://www.lasprovincias.es/ribera-costera/iglesia-sueca-cierra-20201110182102-nt.html

Torraca, G. (2009). *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation* (The Getty). https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/torraca.pdf

Troncoso, L., Bustillos, J., Romero, J. E., Guevara, A., Carrillo, J., Montalvo, E., & Izquierdo, T. (2017). Hydrovolcanic ash emission between August 14 and 24, 2015 at Cotopaxi volcano (Ecuador): Characterization and eruption mechanisms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *341*, 228–241. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.032

UNDRR. (2017). *Terminología del Marco de Sendai sobre la reducción del riesgo de desastres. Definición: Riesgo de desastre*. https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk

UNESCO, ICCROM, ICOMOS, & UICN. (2014). *Gestión del Riesgo de Desastres para el Patrimonio Mundial*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228134

Vargas, C., Rodríguez, D., & Achahui, A. (2021). Patologías mecanicas en elementos líticos de las iglesias patrimoniales en la Plaza Mayor de Cusco (1). *Devenir*, *8*(16), 137–154.

Varma, M. N., Jangid, R. S., & Achwal, V. G. (2006). Tension Ring in Masonry Domes. *Proceedings of the Structural Analysis of Historical Constructions*.

Vázquez, M., & Muglia, A. (2015). *El origen de la cúpula como símbolo en la arquitectura*.

Villalta, M. (2010). *La cúpula del templo del antiguo convento padece grietas de gran*

calibre. https://michelvillalta.blogspot.com/2010/10/el-ayuntamiento-de-gea-solicita-ayuda.html

Zairon. (2018). *Venezia Basilica di San Marco Fassade 2 [Fotografía]*. Wikimedia Commons. Licencia CC BY-SA 4.0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venezia_Basilica_di_San_Marco_Fassade_2.jpg

Zeballos, C. (2014). *Hagia Sofía, Estambul. Construcción*. Moleskinearquitectonico.Blogspot.Com. https://moleskinearquitectonico.blogspot.com/2014/11/hagia-sofia-estambul-construccion.html

Anexos

Anexo 1. Guía de Observación

Objetivo: Recoger información general sobre las condiciones actuales de las cúpulas y los sistemas de reforzamiento estructural aplicados en las iglesias Matriz de Pujilí, Catedral de Latacunga y Basílica de Riobamba.

Nombre de la Iglesia	
Ubicación	
Fecha de Observación	

a) Características generales:

Dimensiones cúpula (apróx)	
Forma de la cúpula Semiesférica, Elíptica, otras	
Material principal Tipo de piedra	

b) Condición General de la Cúpula

Presencia de grietas o fisuras Describir ubicación y dimensiones Ids registro fotográfico	
Signos de humedad o filtraciones Describir áreas afectadas	

c) Sistemas de reforzamiento

Tipo de reforzamiento observado Interno, externo, mixto	
Materiales utilizados	
Métodos de intervención	
Observaciones sobre la integración estética con la estructura original	
Comentarios adicionales	

Anexo 2. Lista de Verificación para el Análisis de Riesgos en Cúpulas de Iglesias Patrimoniales

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN CÚPULAS DE IGLESIAS PATRIMONIALES

INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

a) Introducción:

La presente lista de verificación se constituye en un instrumento de la Metodología para el Análisis de riesgos en Cúpulas Patrimoniales, desarrollada en el marco del estudio: "Análisis de Sistemas de Reforzamientos Estructurales en Cúpulas de Piedra, en Tres Iglesias Patrimoniales de la Zona 3 – Ecuador", específicamente para su Fase 2. Tiene como finalidad guiar la identificación sistemática y documentada de amenazas y agentes de deterioro que puedan afectar la integridad y el valor patrimonial del bien.

b) Fundamento metodológico:

La estructura de esta lista ha sido elaborada a partir de la integración de dos marcos complementarios, a los que se suma un desarrollo específico:

1. **Los 10 agentes de deterioro:** propuestos por el Método ABC (ICCROM & CCI, 2023), que representan las principales vías por las cuales se manifiestan los riesgos de pérdida de valor patrimonial.
2. **Las amenazas típicas:** del enfoque GRD, sistematizadas en el Manual de Gestión del Riesgo de Desastres para el Patrimonio Mundial (UNESCO et al., 2014), las cuales permiten contextualizar los riesgos en escenarios de desastres naturales, antrópicos o combinados.
3. **Las vulnerabilidades específicas y condiciones de exposición en cúpulas**: desarrolladas para identificar debilidades inherentes a estos elementos arquitectónicos particulares, que amplifican el impacto de las amenazas externas.

c) Estructura conceptual y principios de correspondencia:

La metodología plantea una lógica de análisis basada en la trazabilidad de tres dimensiones: amenaza, vulnerabilidad y manifestación observable del deterioro. Esto se refleja en la relación entre las secciones del instrumento:

- **Sección B (Amenazas):** ¿QUÉ puede amenazar el bien? (evaluación de fuerzas externas)
- **Sección C (Vulnerabilidades específicas):** ¿QUÉ hace vulnerable esta cúpula? (características intrínsecas que amplifican el riesgo)
- **Sección A (Agentes de deterioro):** ¿CÓMO se manifiesta el deterioro? (efectos materiales observables)

Principio de correspondencia B → A (Amenazas → Manifestaciones): Toda amenaza física externa que pueda materializarse debe tener un agente de deterioro correspondiente identificable. Esta relación traza la cadena causal externa del riesgo.
Principio de correspondencia C → A (Vulnerabilidades → Manifestaciones): Toda vulnerabilidad intrínseca de la cúpula, que pueda ser activada por amenazas, debe manifestarse como deterioro observable específico. Esta relación traza la cadena causal interna del riesgo.

d) Correspondencia entre agentes ABC y amenazas GRD:

Con el fin de reforzar la coherencia entre ambos enfoques, se presenta una tabla de referencia que vincula los agentes del método ABC con las amenazas recogidas en el manual GRD:

Agente de Deterioro (ABC)	Amenazas relacionadas (GRD)
Agua	Lluvias intensas, humedad capilar, inundaciones
Humedad relativa incorrecta	Condensación, fallos en ventilación, variaciones climáticas
Variaciones de temperatura	Olas de calor, heladas, cambios extremos
Luz y radiación UV	Exposición solar prolongada, orientación arquitectónica
Contaminantes	Emisión de gases, polvo, contaminación urbana
Fuerzas físicas	Sismos, colapsos, asentamientos, vibraciones
Fuego	Incendios (naturales o antrópicos), rayos
Vandalismo y negligencia	Daño humano, usos indebidos, abandono
Ladrones y saqueadores	Robo, destrucción por extracción ilícita
Plagas biológicas	Plantas invasoras, microorganismos, nidos de aves

e) Aplicación de la lista de verificación:

Secciones A y C (Agentes de deterioro / Vulnerabilidades):

- Marcar los ítems aplicables con base en observación directa (visita de campo) y/o la información existente en registros documentales (fichas de inventario, informes).
- Registrar detalles en las observaciones e incluir el tipo de ocurrencia.
- Fotografiar o documentar los hallazgos para su posterior análisis.
- Marcar el nivel de confianza y las limitaciones.
- Identificar posibles correspondencias C → A durante la inspección.

Sección B (Amenazas GRD):

- Marcar los ítems que correspondan a las amenazas típicas, conforme el conocimiento especializado del contexto territorial, la investigación histórica y documental realizada para la valoración de los bienes inmuebles, y la información obtenida en

entrevistas/encuestas con los técnicos restauradores, expertos y tenedores de los bienes.
- Realizar procesos de investigación en fuentes oficiales: mapas de amenazas, reportes técnicos institucionales, registros históricos de eventos, estudios de riesgo territorial.
- Registrar detalles en las observaciones las observaciones, donde corresponda.
- Marcar el nivel de confianza y las limitaciones.
- Verificar correspondencias B → A con las manifestaciones observadas en campo.

Nivel de confianza:

- **Alto (90–100%):** Observación directa con evidencia verificable, levantamiento exhaustivo en campo y/o respaldo en estudios técnicos previos.
- **Medio-alto (80–89%):** Observación directa con información consistente y mayoritariamente verificable, con limitaciones puntuales de bajo impacto analítico.
- **Medio (70–79%):** Información suficiente basada en observación directa y/o fuentes secundarias, con limitaciones que introducen incertidumbre moderada.
- **Bajo (50–69%):** Información parcial o indirecta, sustentada principalmente en inspección visual, estimaciones o fuentes secundarias.
- **Muy bajo (<50%):** Información insuficiente o fragmentaria, basada en supuestos o indicios, con alta incertidumbre interpretativa.

Esta lista de verificación sirve como puente entre la inspección diagnóstica y el análisis técnico de la magnitud del riesgo (MR), permitiendo una evaluación integral, trazable y estructurada. Su organización en torno a categorías, tipos de riesgos e indicadores permite construir una base sólida para la toma de decisiones sobre conservación, intervención o monitoreo preventivo.

f) Registro de correspondencias

Identifique y registre las correspondencias entre amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones observadas. Para ello, utilice como apoyo las matrices de correspondencia que se adjuntan en la sección de “Instrumentos”.

Correspondencias B → A (Amenazas → Manifestaciones)

Ejemplo: B1.1 (Zona sísmica alta) → A1.2 (Grietas en tambor)

Amenaza	→	**Agente de Deterioro**
	→	

Correspondencias C → A (Vulnerabilidades → Manifestaciones)

Ejemplo: C1.2 (Empujes no controlados) → A1.5 (Separación elementos)

Vulnerabilidad	→	**Agente de Deterioro**
	→	

g) Instrumentos

Se detallan las listas de verificación a ser aplicadas, así como las matrices de correspondencia entre amenazas (B), vulnerabilidades (C) y agentes de deterioro (A) permiten verificar la coherencia interna del instrumento y fundamentar las relaciones causales plausibles. Estas matrices operan a nivel categorial, mientras que la identificación específica de manifestaciones se realiza mediante los subcódigos A-x registrados durante la evaluación técnica de cada caso de estudio.

Las matrices de correspondencia son herramientas que orientan la evaluación de la plausibilidad técnica entre amenazas, vulnerabilidades y manifestaciones observables. Por ello, la ausencia de una correspondencia fuerte no invalida la observación realizada en campo, aunque sí requiere una justificación técnica adicional por parte del evaluador, basada en las condiciones específicas del caso analizado.

A. AGENTES DE DETERIORO (MÉTODO ABC - ICCROM) Y SUS MANIFESTACIONES OBSERVABLES

Instrucciones: Marque con una **X** la casilla del agente de deterioro identificado, y agregue como anexos la información de respaldo descrita en observaciones con el código del indicador.

1. Fuerzas Físicas Directas		**2. Ladrones y Vandalismo**		**3. Fuego**	
	A1-1 Fisuras en la estructura de la cúpula		A2-1 Pérdida de elementos decorativos por remoción intencionada (robo)		A3-1 Carbonización o ennegrecimiento de superficies (en yesos, maderas, pinturas o elementos decorativos)
	A1-2 Grietas en tambor y pechinas		A2-2 Grafitis o aplicación de pinturas no autorizadas sobre superficies		A3-2 Fusión o vitrificación localizada en materiales (vidrios, metales, cerámicas expuestas a alta temperatura)
	A1-3 Deformaciones visibles en la geometría		A2-3 Daños intencionados en revestimientos o enlucidos (rayones, golpes, desprendimientos superficiales)		A3-3 Fisuración térmica en piedra (grietas o microfisuras por choque térmico).
	A1-4 Desplomes o inclinaciones		A2-4 Huellas de accesos forzados a la cúpula (roturas de cerraduras, golpes en puertas o ventanales)		A3-4 Desprendimiento de revestimientos o enlucidos debido al calor extremo.
	A1-5 Separación entre elementos constructivos		A2-5 Destrucción o pérdida material por apropiación indebida y degradación social del espacio		A3-5 Deformación o colapso de elementos metálicos (clavos, anclajes, refuerzos estructurales).
	A1-6 Daños por impactos (granizo, caída de objetos, colisiones)		A2-6 Fracturas o desprendimientos en vitrales, vidrieras o ventanas u otros elementos frágiles por vandalismo		A3-6 Pérdida de capas policromadas o doradas (desintegración o caída por efecto del calor).
	A1-7 Daños por vibraciones (tráfico o actividades cercanas)		A2-7 Erosión superficial intencional en piedra o mortero (picoteo, raspado)		A3-7 Acumulación de hollín y depósitos de humo (en paramentos, intradós de la cúpula, pechinas)
	A1-8 Asentamientos diferenciales en la base		A2-8. Alteración cromática por aplicación de pinturas o sustancias químicas		A3-8 Colapso o debilitamiento de elementos secundarios combustibles (entablados, andamios, carpintería, mobiliario integrado a la cúpula)
Observaciones: Registrar ubicación, dimensiones y severidad de cada daño identificado.		*Observaciones:* Documentar tipo de daño, extensión y medidas de protección existentes.		*Observaciones:* Evaluar el potencial de incendio por materiales presentes y las medidas de prevención existentes.	
4. Agua		**5. Plagas**		**6. Contaminantes**	
	A4-1 Filtraciones por cubiertas		A5-1 Daños en madera por presencia de insectos xilófagos		A6-1 Depósitos superficial de hollín o polvo industrial en paramentos.
	A4-2 Condensación interior		A5-2 Excrementos de aves o murciélagos		A6-2 Corrosión o pátinas de oxidación en elementos metálicos
	A4-3 Daños por humedad ascendente		A5-3 Nidos en elementos estructurales		A6-3 Alteración cromática en revestimientos por polución (decoloración, amarillamiento, ennegrecimiento).
	A4-4 Acumulación de agua por deficiencias en sistemas de drenaje		A5-4 Daños en materiales por roedores		A6-4 Costras negras en piedra por acumulación de contaminantes sulfurosos.
	A4-5 Goteras activas		A5-5 Presencia de microorganismos (hongos, bacterias)		A6-5 Desintegración granular de la piedra por exposición prolongada a contaminantes.
	A4-6 Manchas de humedad en paramentos		A5-6 Plantas parasitarias en muros o cubiertas		A6-6 Formación de depósitos particulados en juntas, cornisas o zonas protegidas.
	A4-7 Eflorescencias salinas		A5-7 Colonización de plagas en zonas húmedas/oscuras		A6-7 Erosión o disgregación superficial atribuible a lluvia ácida
	A4-8 Problemas en bajantes y canalones (roturas u obstrucciones)				A6-8 Manchas o veladuras persistentes en superficies expuestas a contaminantes químicos.
Observaciones: Identificar fuentes de humedad y patrones de daño		*Observaciones:* Registrar tipo de plaga, extensión del daño y condiciones facilitadoras		*Observaciones:* Documentar tipo de contaminante y grado de afectación	

7. Luz y Radiación UV		8. Variaciones de Temperatura		9. Humedad Relativa Incorrecta	
	A7-1 Decoloración de materiales orgánicos		A8-1 Agrietamiento por dilatación/contracción térmica		A9-1 Daños materiales por niveles de HR fuera del rango óptimo
	A7-2 Deterioro de pinturas murales		A8-2 Condensación por diferenciales térmicos		A9-2 Condensación en superficies frías
	A7-3 Degradación de elementos textiles		A8-3 Desprendimiento de revestimientos por incompatibilidad térmica		A9-3 Daños por sequedad excesiva o humedad prolongada
	A7-4 Desgaste superficial por exposición solar directa excesiva		A8-4 Deformación permanente por temperatura sostenida		A9-4 Condensación y moho por falta de ventilación controlada
	A7-5 Decoloración en vidrieras por falta de filtros UV		A8-5 Fisuras localizadas en puentes térmicos		A9-5 Desprendimientos superficiales por fluctuaciones bruscas de humedad
	A7-6 Daños localizados en materiales por iluminación artificial intensa		A8-6 Erosión desigual de superficies por exposición térmica diferencial		A9-6 Deterioro en revestimientos por ciclos de humectación-secado
	A7-7 Grietas y cambios cromáticos por radiación térmica		A8-7 Microfisuras en zonas de concentración térmica		A9-7 Activación de sales solubles (eflorescencias, disgregación)
	A7-8 Foto-degradación de materiales sensibles		A8-8 Apertura o deformación de juntas constructivas		A9-8 Biodeterioro en superficies favorecido por HR alta
Observaciones: Evaluar niveles de iluminación y medidas de protección		*Observaciones:* Registrar rangos de temperatura y efectos observados		*Observaciones:* Monitorear valores de HR e identificar causas de variación	
10. Disociación		***Nivel de confianza***		***Limitaciones***	
	A10-1 Separación de elementos constructivos históricos		Alto (90–100%)		Accesibilidad restringida
	A10-2 Evidencia material visible de intervenciones inadecuadas previas		Medio-alto (80-89%)		Falta de información histórica
	A10-3 Daños estructurales asociados a sobrecargas o intervenciones incompatibles		Medio (65–79%)		Ausencia de estudios especializados
	A10-4 Fisuras, eflorescencias salinas o desprendimientos asociados a incompatibilidad de materiales nuevos y originales		Bajo (50–64%)		Limitaciones tecnológicas
	A10-5 Evidencia material de pérdida de legibilidad estructural o constructiva asociada a intervenciones no documentadas		Muy Bajo (<50%)		
Observaciones: Evaluar integridad arquitectónica y coherencia histórica		***Observaciones adicionales:***			

A4 (Agua): presencia directa de agua líquida / **A9 (HR):** efectos derivados del equilibrio higroscópico del aire, incluso sin presencia de agua líquida visible

B. AMENAZAS TÍPICAS DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (GRD)

Instrucciones: Marque con una **X** la casilla de la amenaza identificada, y agregue como anexos la información de respaldo descrita en observaciones con el código del indicador.

AMENAZAS NATURALES		
1. Amenazas Sísmicas	**2. Amenazas Hidrometeorológicas**	**3. Amenazas Geológicas**
☐ B1-1 Zona de alta sismicidad según mapa de amenaza	☐ B2-1 Precipitaciones intensas frecuentes	☐ B3-1 Deslizamientos de tierra
☐ B1-2 Fallas geológicas activas cercanas	☐ B2-2 Riesgo de inundaciones	☐ B3-2 Subsidencia del terreno
☐ B1-3 Tipo de suelo (amplificación sísmica)	☐ B2-3 Vientos extremos y tornados	☐ B3-3 Erosión del suelo de fundación
☐ B1-4 Deterioro de la estructura portante (FA)	☐ B2-4 Granizo de gran tamaño	☐ B3-4 Expansión-contracción de arcillas
☐ B1-5 Conexiones estructurales inadecuadas (FA)	☐ B2-5 Rayos y descargas eléctricas	☐ B3-5 Licuefacción del suelo
☐ B1-6 Rigidez diferencial entre elementos (FA)	☐ B2-6 Nieve y sobrecarga por hielo	☐ B3-6 Actividad volcánica (cenizas, gases)
☐ B1-7 Falta de refuerzo antisísmico	☐ B2-7 Sequías prolongadas	☐ B3-7 Movimientos en masa
☐ B1-8 Histórico de daños sísmicos	☐ B2-8 Cambio climático (eventos extremos)	☐ B3-8 Socavación de cimientos
Observaciones: Consultar mapas de amenaza sísmica: registrar aceleración máxima (PGA) y distancia a fallas (<5km = alto riesgo). Evaluar tipo de suelo y sistemas estructurales. Documentar intervenciones antisísmicas previas y consultar archivos históricos de daños.	*Observaciones:* Revisar datos meteorológicos (últimos 30 años): precipitación máxima 24h, vientos máximos, frecuencia granizo >2.5 cm. Consultar mapas de inundación y evaluar sistemas de drenaje. Verificar pararrayos y documentar daños previos por eventos extremos.	*Observaciones:* Consultar estudios geológicos del área. Evaluar pendientes y estabilidad de taludes. Verificar tipo de suelo y presencia de arcillas expansivas. Inspeccionar cimientos: profundidad, socavación, erosión perimetral. En zonas volcánicas registrar distancia y eventos históricos.
AMENAZAS ANTRÓPICAS		***Nivel de confianza***
4. Amenazas Tecnológicas	**5. Amenazas Sociales**	☐ Alto (90–100%)
☐ B4-1 Proximidad a industrias peligrosas	☐ B5-1 Conflictos armados o disturbios sociales	☐ Medio-alto (80-89%)
☐ B4-2 Transporte de materiales peligrosos	☐ B5-2 Terrorismo y sabotaje	☐ Medio (65–79%)
☐ B4-3 Riesgo de explosiones	☐ B5-3 Vandalismo organizado / delincuencia	☐ Bajo (50–64%)
☐ B4-4 Contaminación química	☐ B5-4 Ocupación ilegal / invasión	☐ Muy Bajo (<50%)
☐ B4-5 Radiaciones ionizantes	☐ B5-5 Turismo masivo descontrolado	***Limitaciones***
☐ B4-6 Colapso de infraestructuras cercanas	☐ B5-6 Manifestaciones / concentraciones masivas	☐ Accesibilidad restringida
☐ B4-7 Fallas en servicios básicos	☐ B5-7 Actividades incompatibles cercanas	☐ Falta de información histórica
☐ B4-8 Ciberataques a sistemas de seguridad	☐ B5-8 Falta de gobernanza patrimonial	☐ Ausencia de estudios especializados
Observaciones: Mapear industrias en radio de 2km: químicas, petroquímicas, de gas, explosivos. Identificar rutas de transporte de materiales peligrosos y frecuencia. Evaluar infraestructuras críticas cercanas: represas, puentes, edificios altos, torres de telecomunicaciones (radio <500m = alto riesgo). Verificar sistemas de seguridad digitales y su vulnerabilidad. Consultar con autoridades locales sobre planes de emergencia industrial.	*Observaciones:* Evaluar contexto sociopolítico y tensiones comunitarias. Documentar eventos de vandalismo previos: frecuencia, tipo, época del año. Verificar sistemas de vigilancia y control de acceso existentes. Analizar flujos turísticos: temporadas altas, capacidad de carga, impacto en el entorno. Identificar actividades cercanas incompatibles: bares, discotecas, mercados informales. Evaluar marcos institucionales de protección patrimonial y su efectividad.	☐ Limitaciones tecnológicas ***Observaciones adicionales:***

FA: Factores de amplificación de la amenaza sísmica. Corresponden a condiciones estructurales o constructivas que, sin constituir amenazas independientes, incrementan la intensidad de los efectos producidos por un evento sísmico sobre el bien patrimonial, diferenciándose de las vulnerabilidades intrínsecas analizadas en la Sección C

C. VULNERABILIDADES ESPECÍFICAS Y CONDICIONES DE EXPOSICIÓN EN CÚPULAS

Esta sección identifica elementos de la geometría, construcción y uso de las cúpulas que pueden aumentar la vulnerabilidad estructural y la exposición funcional ante amenazas externas. No representan riesgos por sí mismos, pero condicionan la forma en que se manifestará el daño ante un evento.

Instrucciones: Marque con una **X** la casilla del riesgo identificado, y agregue como anexos la información de respaldo descrita en observaciones con el código del indicador.

	1. Estructurales Específicos		2. Interfaz y Conexiones		3. Geometría y Configuración Específica
	C1-1 Concentración de cargas en puntos específicos (pechinas, tambor)		C2-1 Conexión cúpula-tambor deficiente		C3-1 Efectos aerodinámicos adversos (vórtices, succión)
	C1-2 Empujes horizontales no controlados hacia muros perimetrales		C2-2 Incompatibilidad de materiales en juntas		C3-2 Concentración de tensiones en cambios de curvatura
	C1-3 Pandeo en elementos de compresión (nervios, cascarón)		C2-3 Movimientos diferenciales entre elementos		C3-3 Zonas de difícil acceso para inspección y mantenimiento
	C1-4 Fatiga en elementos estructurales por cargas cíclicas		C2-4 Puentes térmicos en interfaces		C3-4 Acumulación de agua en geometrías cóncavas
	C1-5 Resonancia por viento o vibraciones		C2-5 Filtraciones en uniones estructurales		C3-5 Amplificación de movimientos sísmicos por altura
	C1-6 Inestabilidad lateral por asimetrías constructivas		C2-6 Corrosión en elementos de conexión metálicos		C3-6 Efectos de sombra y microclima diferenciado
	C1-7 Efectos de segundo orden (grandes deformaciones)		C2-7 Deterioro de sellos y juntas de estanqueidad		C3-7 Dificultades para evacuación de emergencia
	C1-8 Redistribución de cargas por daños localizados		C2-8 Falta de juntas de dilatación adecuadas		C3-8 Complejidad para instalación de protecciones
	C1-9 Colapso progresivo por falla de elementos clave		C2-9 Conexiones inadecuadas entre cúpula y linterna		C3-9 Gradientes térmicos por exposición diferencial
	C1-10 Insuficiencia estructural por sobrecargas (nieve, equipos)		C2-10 Problemas en anclajes de elementos decorativos		C3-10 Fenómenos de eco y resonancia acústica
	Observaciones: Medir fisuras en pechinas/tambor (>3mm = crítico). Evaluar deformaciones con plomada (desplomes >1/300 = preocupante). Verificar tirantes y elementos de arriostramiento. Documentar sobrecargas vs. capacidad original.		*Observaciones:* Medir abertura de juntas (>5mm indica movimiento). Verificar compatibilidad electroquímica entre metales. Evaluar anclajes decorativos y estabilidad de linterna. Registrar ubicación exacta de filtraciones.		*Observaciones:* Documentar altura total y relación altura/diámetro. Medir gradientes térmicos (>15°C problemáticos). Evaluar drenaje (pendiente mínima 2%). Mapear zonas de difícil acceso.
	4. Funcionales y de Uso		**5. Constructivos y Tipológicos**		**6. Ambientales Específicos**
	C4-1 Sobrecarga por equipos (iluminación, sonido, campanas)		C5-1 Técnicas constructivas históricas vulnerables		C6-1 Exposición extrema a radiación solar
	C4-2 Modificaciones de uso incompatibles con diseño original		C5-2 Materiales tradicionales sin mantenimiento adecuado		C6-2 Efectos de inversión térmica interior
	C4-3 Acceso no controlado de personas a zonas altas		C5-3 Sistemas mixtos (histórico-contemporáneo) incompatibles		C6-3 Condensación por diferencias térmicas altura-base
	C4-4 Instalación inadecuada de sistemas modernos (HVAC, eléctrico)		C5-4 Pérdida de conocimiento sobre técnicas originales		C6-4 Corrosión acelerada por altura y exposición
	C4-5 Uso de la cúpula como soporte de antenas o equipos		C5-5 Intervenciones previas inadecuadas o reversibles		C6-5 Impacto directo de precipitaciones extremas
	C4-6 Alteración de la ventilación natural por modificaciones		C5-6 Falta de documentación técnica histórica		C6-6 Efectos de viento en zona de mayor exposición
	C4-7 Incompatibilidad entre uso religioso y turístico		C5-7 Incomprensión del comportamiento estructural original		C6-7 Contaminación atmosférica concentrada por altura
	C4-8 Falta de control de aforo en actividades especiales		C5-8 Materiales de reposición incompatibles químicamente		C6-8 Rayos y descargas eléctricas por prominencia
	Observaciones: Inventariar equipos: peso, fijación, antigüedad. Calcular sobrecargas vs. capacidad estimada. Evaluar sistemas eléctricos y riesgo de incendio. Verificar control de acceso y aforo máximo seguro.		*Observaciones:* Investigar técnica constructiva original y caracterizar materiales. Documentar intervenciones previas: fechas, reversibilidad, efectividad. Evaluar compatibilidad de materiales nuevos vs. originales.		*Observaciones:* Monitorear temperatura/humedad en varios puntos durante 24h mínimo. Evaluar ventilación natural: aberturas, velocidad de aire (<0.1 m/s = deficiente). Verificar pararrayos y documentar productos de corrosión.

	Nivel de confianza		***Limitaciones***	
		Alto (90–100%)		Accesibilidad restringida
		Medio-alto (80-89%)		Falta de información histórica
		Medio (65–79%)		Ausencia de estudios especializados
		Bajo (50–64%)		Limitaciones tecnológicas
		Muy Bajo (<50%)		
	Observaciones adicionales:			

Matrices Generales de Correspondencias

Escala de relación:

- F = Relación fuerte (activación directa del agente)
- M = Relación moderada (activación condicionada)
- D = Relación débil (incidencia indirecta)
- - = No relación significativa
- FA = Factor de amplificación de amenaza sísmica

	Amenazas					
Agentes de Deterioro	B1 Sísmicas	B1 (FA)	B2 Hidrometeo-rológicas	B3 Geológicas	B4 Tecnológicas	B5 Sociales
A1 Fuerzas físicas directas	F	F	D	M	M	M
A2 Ladrones y vandalismo	-	-	-	-	-	F
A3 Fuego	-	-	-	D	M	F
A4 Agua	-	-	F	M	M	M
A5 Plagas (biodeterioro)	-	-	F	-	-	M
A6 Contaminantes	-	-	M	-	F	M
A7 Luz y radiación UV	-	-	-	-	M	M
A8 Variaciones de Temperatura	D	M	-	-	M	M
A9 HR incorrecta	D	M	F	-	-	M
A10 Disociación	F	F	M	M	F	F

	Vulnerabilidades específicas					
Agentes de Deterioro	C1 Estructur. Específicos	C2 Interfaz y conex.	C3 Geome-tría	C4 Func. y de uso	C5 Construc. Y tipológicos	C6 Ambien-tales
A1 Fuerzas físicas directas	F	M	M	F	M	D
A2 Ladrones y vandalismo	-	-	-	M	-	D
A3 Fuego	M	D	-	F	M	D
A4 Agua	M	M	M	D	F	F
A5 Plagas (biodeterioro)	-	-	-	D	F	F
A6 Contaminantes	-	-	-	D	F	F
A7 Luz y radiación UV	-	-	-	F	M	M
A8 Variaciones de Temperatura	M	M	-	D	F	M
A9 HR incorrecta	M	M	-	D	F	F
A10 Disociación	F	F	F	M	M	-

Anexo 3. Cuestionario de entrevista a profesionales intervinientes en las cúpulas estudiadas

CUESTIONARIO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

Para profesionales que participaron en las intervenciones de las cúpulas estudiadas.

Introducción

Buenos días/tardes (nombre del entrevistado). Mi nombre es Arq. Miguel Chávez, y estoy desarrollando una investigación sobre sistemas de reforzamiento estructural en cúpulas de piedra de iglesias patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador. Su experiencia directa en estas intervenciones es fundamental para comprender las decisiones técnicas y los resultados obtenidos. La entrevista durará aproximadamente 45-60 minutos y, con su autorización, será grabada para garantizar la precisión de la información.

A. Perfil Profesional y Experiencia:

1. ¿Podría indicarme su nombre completo, describir su formación profesional y experiencia específica en restauración y conservación de patrimonio arquitectónico?

2. ¿Cuál fue su rol específico en la intervención de [nombre de la iglesia específica]? ¿En qué fases del proyecto participó?

3. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con estructuras patrimoniales de piedra, específicamente con cúpulas?

B. Diagnóstico y Evaluación Inicial:

4. ¿Qué metodologías utilizaron para el diagnóstico estructural inicial de la cúpula? (estudios previos, ensayos, análisis patológicos)

5. ¿Cuáles fueron las principales patologías estructurales identificadas en la cúpula antes de la intervención?

6. ¿Se realizaron estudios de caracterización de materiales originales? ¿Qué aspectos consideraron más relevantes?

7. ¿Cómo evaluaron el nivel de riesgo estructural de la cúpula? ¿Utilizaron alguna matriz o sistema de valoración específico?

C. Criterios y Decisiones Técnicas

8. ¿Qué criterios técnicos, normativos y patrimoniales guiaron la selección del sistema de reforzamiento aplicado?

9. ¿Se consideraron múltiples alternativas de reforzamiento? ¿Cuáles fueron descartadas y por qué razones?

10. ¿Cómo se equilibraron los criterios de eficiencia estructural con los de preservación del valor patrimonial?

11. ¿Qué papel jugaron las normativas nacionales e internacionales de patrimonio en las decisiones técnicas?

12. ¿Se consultó con organismos patrimoniales (INPC, municipios, etc.) durante el proceso de diseño de la intervención?

D. Implementación y Desafíos

13. ¿Cuáles fueron los principales desafíos técnicos enfrentados durante la ejecución del reforzamiento?

14. ¿Se presentaron incompatibilidades entre los materiales de reforzamiento y los materiales originales?

15. ¿Cómo se manejaron los aspectos de reversibilidad y mínima intervención durante la ejecución?

16. ¿Qué medidas de control de calidad se implementaron durante la aplicación del reforzamiento?

E. Evaluación de Resultados y Seguimiento

17. ¿Cómo evaluaría la efectividad del sistema de reforzamiento implementado en términos de:

    - Estabilidad estructural
    - Preservación del valor patrimonial
    - Durabilidad esperada

18. ¿Se ha realizado algún tipo de monitoreo post-intervención? ¿Qué resultados se han observado?

19. ¿Han surgido patologías no previstas o efectos secundarios tras la intervención?

F. Reflexión Crítica y Recomendaciones

20. Considerando su experiencia en este proyecto, ¿qué aspectos modificaría si tuviera que intervenir una cúpula similar?

21. ¿Qué técnicas o materiales emergentes considera que podrían ser aplicables en futuras intervenciones?

22. ¿Qué recomendaciones haría para mejorar los protocolos de intervención en cúpulas patrimoniales de piedra?

23. ¿Considera que existen vacíos normativos o técnicos que deberían ser abordados en el ámbito nacional?

G. Cierre

24. ¿Hay algún aspecto relevante de su experiencia en este proyecto que no hemos abordado y que considere importante mencionar?

Anexo 4. Cuestionario de encuesta a profesionales en restauración y conservación

CUESTIONARIO DE ENCUESTA
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

Dirigido a profesionales en restauración y conservación

PRESENTACIÓN

Estimado/a profesional, lo/la invitamos a participar en esta investigación sobre sistemas de reforzamiento estructural en cúpulas de piedra de iglesias patrimoniales. Su experiencia y conocimiento son valiosos para identificar mejores prácticas en este campo. El cuestionario tomará aproximadamente 10-15 minutos.

A. Datos Generales:

Nombre y Apellidos:	_____
Profesión/título:	_____
Institución donde labora:	_____
Años de experiencia en restauración/conservación de patrimonio arquitectónico:	☐ Menos de 5 años ☐ 5-10 años ☐ 11-20 años ☐ Más de 20 años
¿Ha trabajado en proyectos relacionados con la intervención de cúpulas de piedra?	☐ Sí, frecuentemente (más de 5 proyectos) ☐ Sí, ocasionalmente (1-5 proyectos) ☐ No, pero he trabajado con otras estructuras de piedra ☐ No
Ámbito geográfico principal de su trabajo:	☐ Región Sierra (Ecuador) ☐ Región Costa (Ecuador) ☐ Región Amazónica (Ecuador) ☐ Internacional ☐ Otro: _____

B. Experiencia en Diagnóstico y Patologías

Responder la sección, en caso de tener la experiencia profesional específica:

1. ¿Qué metodologías considera más efectivas para el diagnóstico estructural de cúpulas de piedra? (Seleccione las 3 más importantes)

- ☐ Inspección visual detallada
- ☐ Estudios fotogramétricos
- ☐ Ensayos no destructivos (georadar, ultrasonido, etc.)
- ☐ Análisis de laboratorio de materiales
- ☐ Modelamiento estructural computacional
- ☐ Monitoreo con instrumentación

- ☐ Otra:_____

2. ¿Cuáles son las patologías más frecuentes en cúpulas de piedra patrimoniales? (Seleccione las 3 más comunes)

- ☐ Fisuración por asentamientos diferenciales
- ☐ Disgregación de morteros de junta
- ☐ Pérdida de adherencia entre elementos
- ☐ Deformaciones por fluencia del material
- ☐ Daños por efectos sísmicos
- ☐ Deterioro por factores ambientales
- ☐ Otra: _____

C. Técnicas de Reforzamiento:

3. ¿Cuál considera que es el mayor desafío técnico en la intervención de cúpulas de piedra (seleccione uno)?

- ☐ Garantizar la estabilidad estructural a largo plazo
- ☐ Mantener la compatibilidad con materiales originales
- ☐ Preservar la autenticidad y valor patrimonial
- ☐ Cumplir con normativas sísmicas actuales
- ☐ Gestionar la complejidad geométrica de la cúpula
- ☐ Otro: _____

4. ¿Qué tipo de técnicas de reforzamiento estructural ha observado que se utilizan con mayor frecuencia en cúpulas de piedra?

- ☐ Refuerzos metálicos (barras, perfiles, zunchos)
- ☐ Inyecciones de resinas epóxicas o cementosas
- ☐ Refuerzos con materiales compuestos (fibra de carbono, vidrio)
- ☐ Reconstrucción parcial con técnicas tradicionales
- ☐ Sistemas mixtos (combinación de técnicas)
- ☐ Post-tensado con cables o barras
- ☐ Otro: _____

5. En caso de tener la experiencia específica, ¿cuál ha sido la técnica de reforzamiento más eficiente que ha empleado en cúpulas de piedra? y ¿en qué tipo de problemática fue aplicada?

- ☐ Refuerzos metálicos
- ☐ Inyecciones de resinas
- ☐ Refuerzos con fibra de carbono
- ☐ Otros (especifique)

☐ No aplica

Problemática: (fisuración, pérdida de confinamiento, inestabilidad, degradación de juntas, entre otras)_____

D. Criterios de Selección y Evaluación

6. Jerarquice los siguientes factores según su importancia al seleccionar una técnica de reforzamiento (1=más importante, 6=menos importante)

( ) Durabilidad y vida útil esperada
( ) Compatibilidad con materiales originales
( ) Reversibilidad de la intervención
( ) Costo de implementación
( ) Facilidad de aplicación y mantenimiento
( ) Impacto visual en el patrimonio

7. ¿Qué criterios adicionales considera fundamentales pero que no se evalúan suficientemente?

_____
_____

E. Sugerencias y Recomendaciones:

8. ¿Qué mejoras propondría en las técnicas de reforzamiento actuales para cúpulas de piedra?

.....
.....
.....
.....

9. ¿Considera que las normativas y guías actuales son adecuadas para este tipo de intervenciones?

☐ Si
☐ No

Si respondió "No", ¿qué aspectos cree que deberían mejorarse?

.....
.....
.....

Gracias por su colaboración

Anexo 5. Cuestionario de entrevista a tenedores de Iglesias Patrimoniales

CUESTIONARIO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

Para tenedores de Iglesias Patrimoniales en el Ecuador.

Introducción

Buenos días/tardes (nombre del entrevistado). Mi nombre es Arq. Miguel Chávez, y estoy desarrollando una investigación sobre sistemas de reforzamiento estructural en cúpulas de piedra de iglesias patrimoniales de la Zona 3 del Ecuador. Su experiencia como administrador, custodio, o tenedor de la Iglesia (nombre de la iglesia) es fundamental para comprender como se afronta el tema de conservación en términos de gestión de riesgos. La entrevista durará aproximadamente 30-45 minutos y, con su autorización, será grabada para garantizar la precisión de la información.

A. Datos Generales

1. ¿Cuál es su nombre completo, la institución donde labora y su cargo?

2. ¿Desde cuándo realiza las funciones de tenedor, custodio, o tenedor de la Iglesia (nombre de la iglesia)?

B. Uso del inmueble y actividades desarrolladas

3. ¿Con qué frecuencia se realizan actividades dentro de la iglesia? (misas, eventos religiosos, visitas turísticas, etc.)

4. ¿Cuál es el número promedio de personas que asisten a estos eventos?

5. ¿Existen temporadas del año en las que aumenta significativamente el uso de la iglesia? ¿Cuáles?

6. ¿Se permite el ingreso de turistas o visitantes fuera de las ceremonias religiosas? ¿Con qué frecuencia?

C. Estado general del inmueble y características

7. ¿Cómo describiría el estado general de la iglesia?

8. ¿Sabe de qué materiales está construida la cúpula? (piedra, ladrillo, etc.)

9. ¿Qué problemas principales han observado en la iglesia, especialmente en la cúpula? (goteras, grietas, desprendimientos, manchas)

10. ¿Los problemas en la cúpula han respondido a algún evento natural como un sismo?

11. ¿Estos problemas han empeorado con el tiempo o aparecen en ciertas épocas del año?

D. GESTIÓN DE RIESGOS – Fase de preparación

D.1. Cuidado preventivo y mantenimiento

12. ¿Qué actividades de limpieza y mantenimiento realizan regularmente?

13. ¿Tienen personal específico encargado del cuidado del inmueble?

14. ¿Quién suele detectar problemas en la iglesia? (personal, feligreses, usted)

15. ¿Tienen alguna rutina para revisar el estado general del inmueble?

16. ¿Toman precauciones especiales durante épocas de lluvia o eventos climáticos?

D.2. Planificación y preparación ante riesgos

17. ¿Tienen algún plan de emergencia para sismos u otros eventos durante las misas?

18. ¿Saben a quién contactar si se presenta un problema grave en la estructura?

19. ¿Han traído especialistas para evaluar preventivamente el estado de la iglesia?

20. ¿Quién decide cuándo es necesario hacer una reparación importante en el bien inmueble?

E. GESTIÓN DE RIESGOS – Fase de respuesta

E.1. Experiencia con situaciones de emergencia

21. Durante su gestión, ¿han tenido emergencias que afectaran la iglesia? (sismos, vendavales, etc.)

Si respondieron que sí, continuar con la pregunta 22, si no, continuar con la sección F.2.

22. ¿Cómo reaccionaron inicialmente? ¿Cuáles fueron sus primeras acciones?

23. ¿Observaron daños específicos en la cúpula después de estos eventos?

E.2. Coordinación y búsqueda de ayuda inmediata

24. ¿A quiénes acudieron para pedir ayuda durante la emergencia?

25. ¿Qué instituciones respondieron más rápidamente? (bomberos, municipio, Secretaría de Nacional de Gestión de Riesgos, ECU 911) ¿Recibieron el apoyo necesario de las autoridades?

26. ¿Alguien evaluó inmediatamente la seguridad de la estructura?

F. GESTIÓN DE RIESGOS – Fase de recuperación

F.1. Evaluación post-evento y toma de decisiones

27. ¿Alguien evaluó profesionalmente los daños después de la emergencia?

28. ¿Quién(es) les ayudó a tomar decisiones técnicas sobre las reparaciones necesarias (reparaciones urgentes vs. las que pueden esperar)?

F.2. Proceso de reparación y rehabilitación

29. ¿Se han hecho reparaciones importantes en la cúpula durante su gestión?

Si respondieron que sí, continuar con la pregunta 30, si no, continuar con la sección G.

30. ¿Cómo eligieron a las personas o empresas que realizaron los trabajos?

31. ¿Fue complicado conseguir los permisos necesarios para las reparaciones?

32. ¿Tuvieron que cerrar la iglesia durante los trabajos?, ¿durante cuánto tiempo?

F.3. Resultados de la recuperación

33. ¿Los trabajos se completaron según lo planeado?

34. ¿Quedaron satisfechos con los resultados de las reparaciones?

35. ¿La apariencia de la iglesia cambió notablemente? ¿Cómo reaccionó la comunidad?

36. ¿Han reaparecido problemas similares después de las reparaciones?, ¿en cuánto tiempo?

G. Recursos y capacidades

37. ¿De dónde provienen los recursos para el mantenimiento correctivo o preventivo de la iglesia?, ¿Tienen el apoyo de empresas públicas o privadas?

38. ¿Es suficiente el presupuesto para cubrir las necesidades de mantenimiento?

39. ¿Tienen un fondo específico reservado para emergencias?

H. Relación con Instituciones y Trámites

H.1. Experiencia institucional

40. ¿Conocen a qué institución acudir si necesitan asesoría técnica?

41. ¿Han recibido apoyo técnico del INPC, municipio, gobierno provincial u otras instituciones?, ¿cómo ha sido esa experiencia?, ¿recibieron orientación útil?

H.2. Permisos y trámites

42. ¿Saben qué permisos necesitan para hacer reparaciones en la iglesia?

43. ¿Los procesos de permisos han sido complicados o demorados?

H.3. Redes de apoyo

44. ¿Tienen contacto con otros administradores de iglesias patrimoniales?

45. ¿Se apoyan mutuamente con consejos o recursos?

I. DESAFÍOS Y RECOMENDACIONES

I.1. Principales dificultades

46. ¿Cuáles son sus mayores desafíos para mantener la iglesia en buen estado?

47. ¿Qué es más complicado, según su experiencia: conseguir financiamiento, encontrar profesionales calificados, o manejar trámites?

I.2. Necesidades y sugerencias

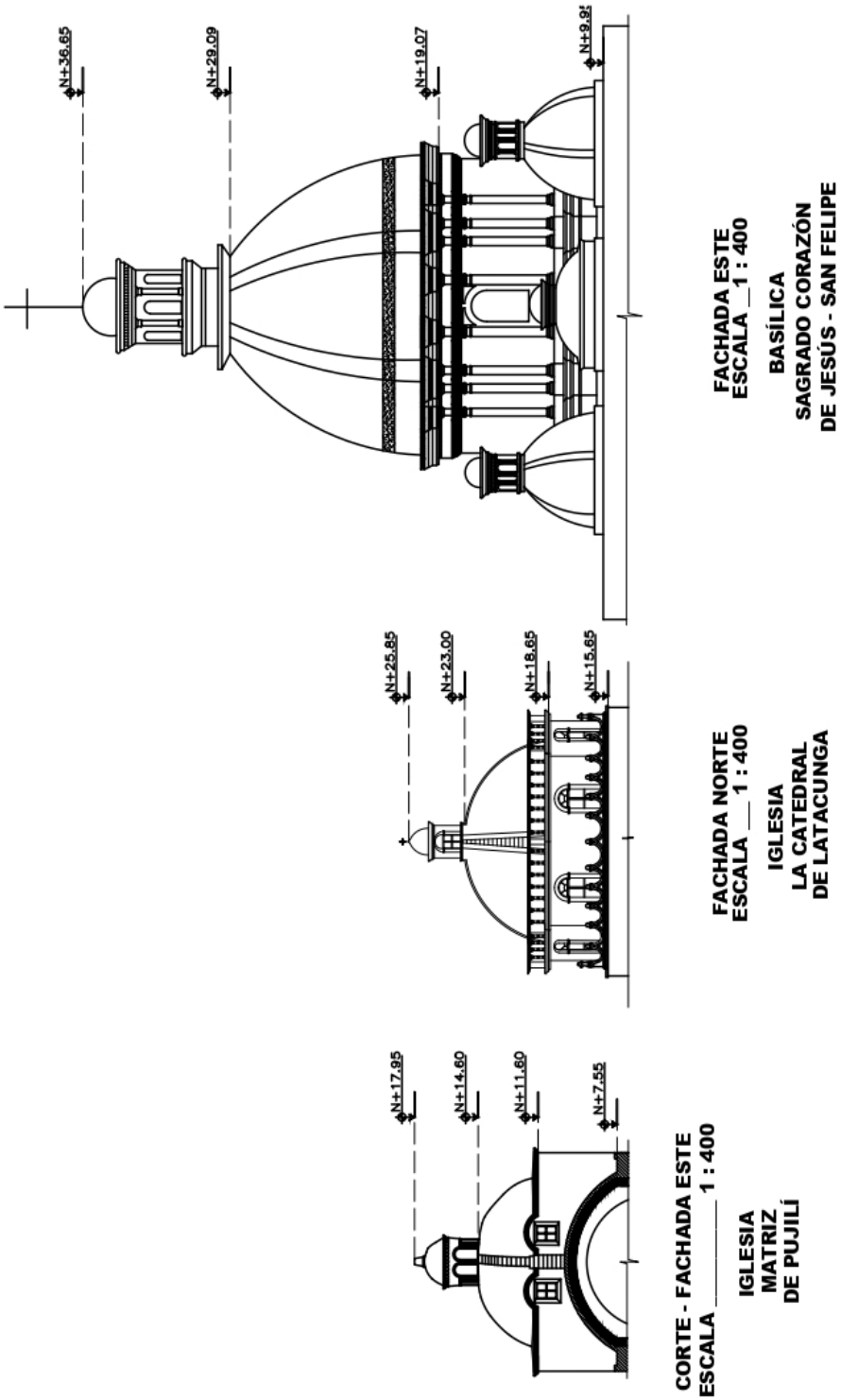
48. ¿Qué tipo de apoyo necesitarían para cuidar mejor la iglesia?

49. ¿Les gustaría recibir capacitación sobre detección temprana de problemas?

50. ¿Qué estrategias les han funcionado mejor para conseguir recursos?

Esta entrevista contribuirá al desarrollo de mejores prácticas para el cuidado de iglesias patrimoniales en Ecuador. Su experiencia administrativa es muy valiosa para entender cómo mejorar los procesos de conservación. Gracias por su colaboración.

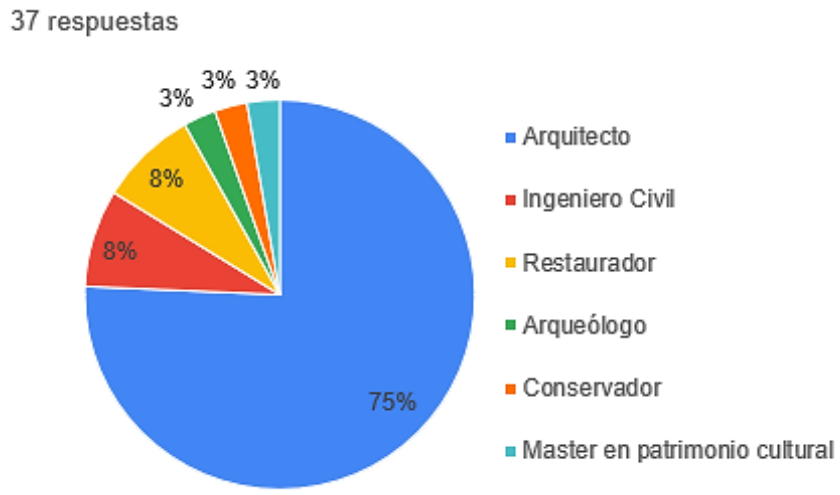
Anexo 6. Representación gráfica comparativa morfológica de las cúpulas de la Iglesia Matriz de Pujilí, Catedral de Latacunga y Basílica de Riobamba



Anexo 7. Resultados - Encuesta a profesionales en restauración y conservación

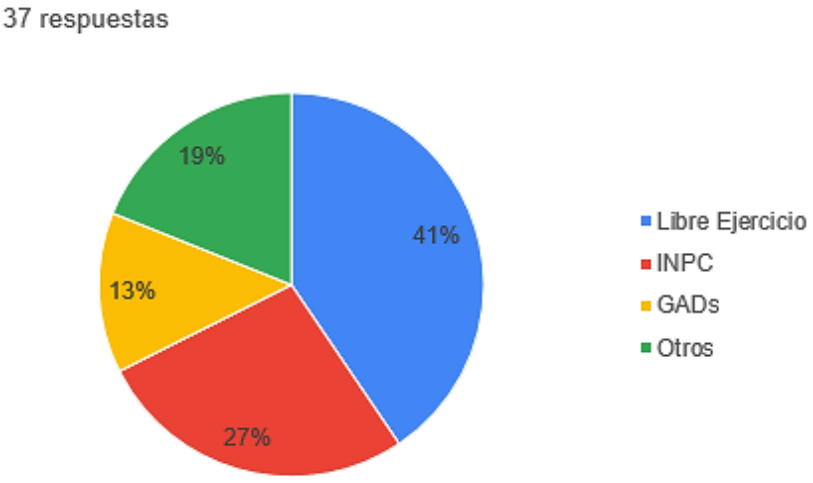
A. Datos Generales

A.1. Profesión



Análisis: La mayoría de encuestados son Arquitectos(as) (75%); en menor porcentaje respondieron Ingenieros Civiles (8%) y Restauradores (8%). El restante 9% son Arqueólogos, Conservadores o Masters en Patrimonio Cultural.

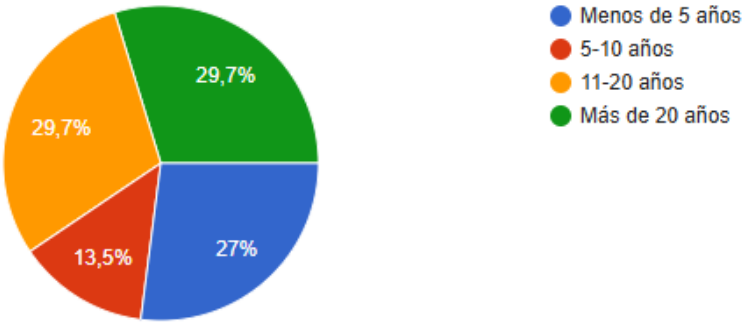
A.2. Institución donde labora



Análisis: El 41% de los encuestados laboran en Libre Ejercicio, el 27% en el Instituto nacional de Patrimonio Cultural (INPC), el 13% en GADs y el 19% restante en diversas empresas públicas y privadas.

A.3. Años de experiencia en restauración/conservación de patrimonio arquitectónico

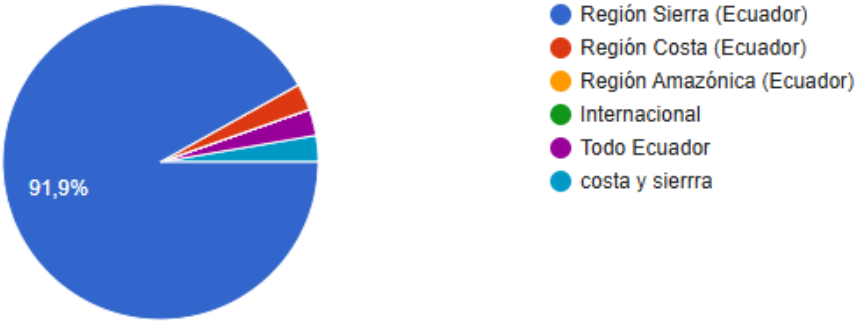
37 respuestas



Análisis: A penas el 27% de los encuestados tiene una experiencia menor de 5 años. El resto de encuestados (73%) tienen una experiencia superior a 5 años en temas de restauración/conservación de patrimonio arquitectónico.

A.4. Ámbito geográfico principal de su trabajo

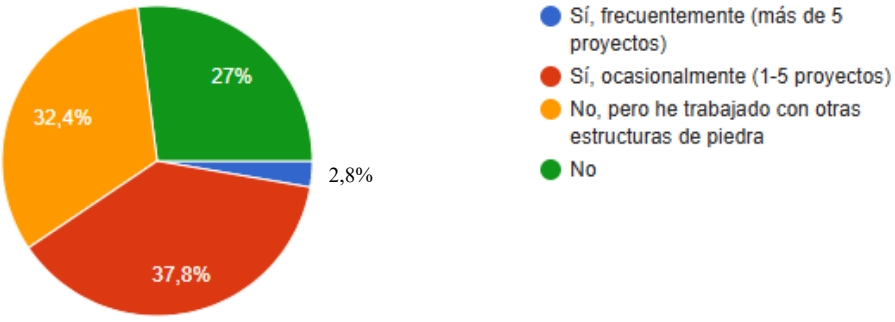
37 respuestas



Análisis: La mayoría de encuestados laboran en la Región Sierra del Ecuador (91.9%).

A.5. ¿Ha trabajado en proyectos relacionados con la intervención de cúpulas de piedra?

37 respuestas



Análisis: El 40,6% de los encuestados ha laborado en al menos 1 proyecto relacionado con la intervención de cúpulas de piedras, y el 32,4% ha trabajado con otro tipo de estructuras de piedras. El 27% nunca ha estado involucrado en este tipo de proyectos.

Conclusiones Sección A

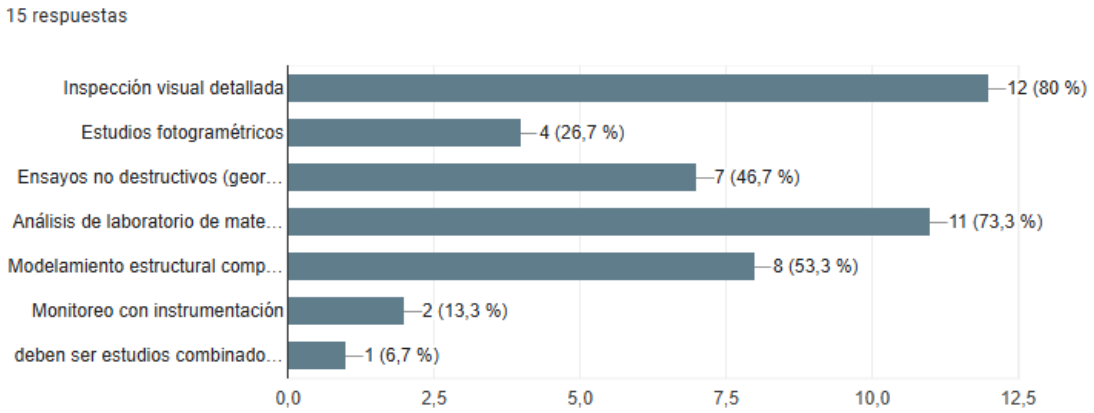
Los datos generales de la encuesta revelan un perfil profesional altamente especializado y experimentado en el campo de la conservación y restauración del patrimonio arquitectónico en Ecuador. La muestra está dominada por arquitectos (75%), seguidos por ingenieros civiles y restauradores, con una experiencia consolidada, donde el 73% de los encuestados posee más de 5 años de experiencia en restauración y conservación patrimonial. Este grupo de profesionales predomina en la Región Sierra del Ecuador (91,9%), lo que refleja la importante concentración de patrimonio arquitectónico en esta zona del país.

Un aspecto destacado es que el 73% de los encuestados ha tenido experiencia directa o indirecta con estructuras de piedra, siendo el 40.6% específicamente con cúpulas de piedra y el 32,4% con otro tipo de estructuras pétreas. Esta experiencia práctica, combinada con la diversidad institucional de los participantes, que incluye tanto profesionales de libre ejercicio (41%) como especialistas del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (27%) y de GADs (13%), proporciona una base sólida y representativa para el análisis de las problemáticas y soluciones técnicas relacionadas con la intervención de cúpulas de piedra patrimoniales. Los resultados sugieren que las respuestas provienen de un grupo altamente calificado y con experiencia práctica significativa en el campo específico de estudio.

La concentración geográfica de los encuestados en la Sierra ecuatoriana representa una fortaleza metodológica fundamental para este proyecto, ya que sus aportes resultan especialmente valiosos al contar con mayor experiencia en la región donde se ubican las tres iglesias objeto de análisis. Los profesionales consultados poseen un conocimiento profundo de las condiciones climáticas, sísmicas, geológicas y culturales específicas de la zona, así como familiaridad con las técnicas constructivas tradicionales y los materiales pétreos locales. Por tanto, sus contribuciones en las secciones posteriores de la encuesta adquieren una relevancia particular, al estar fundamentadas en la experiencia práctica directa con el contexto patrimonial específico de análisis.

B. Experiencia en Diagnóstico y Patologías

1. ¿Qué metodologías considera más efectivas para el diagnóstico estructural de cúpulas de piedra? (Seleccione las 3 más importantes)

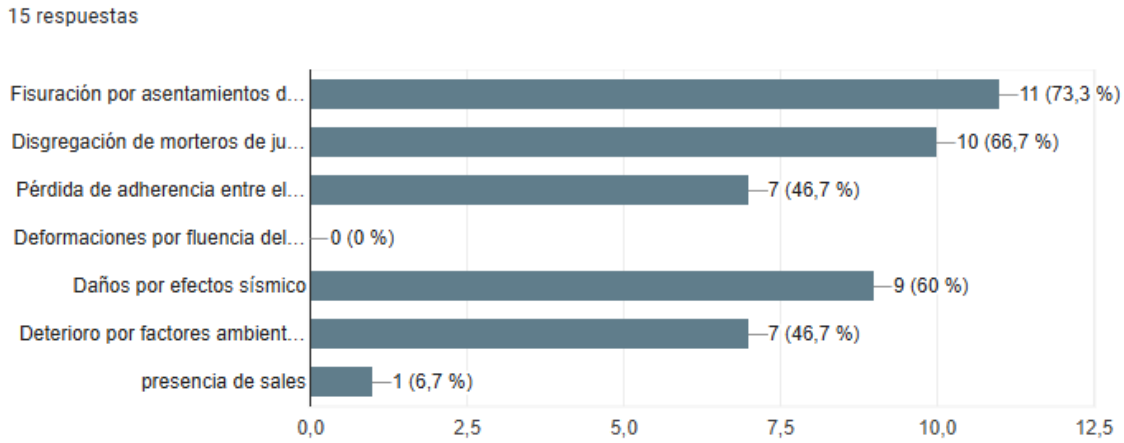


Análisis: Las metodologías más efectivas para el diagnóstico estructural de cúpulas de piedra, según los profesionales encuestados, son:

- Inspección visual detallada (80,0%)
- Análisis de laboratorio de materiales (73,3%)
- Modelamiento estructural computacional (53,3%)

Los resultados demuestran que los profesionales priorizan un enfoque que combina métodos tradicionales con análisis técnico especializado. La inspección visual detallada mantiene su relevancia fundamental como primera aproximación diagnóstica, complementada por el análisis de laboratorio para la caracterización precisa de materiales. El modelamiento computacional también se considera una herramienta valiosa para la evaluación estructural.

2. ¿Cuáles son las patologías más frecuentes en cúpulas de piedra patrimoniales? (Seleccione las 3 más comunes)



Análisis: Según los datos estadísticos obtenidos, las patologías más frecuentes identificadas en cúpulas de piedra patrimoniales son:

- Fisuración por asentamientos diferenciales (73,3%)
- Disgregación de morteros de junta (66,7%)
- Daños por efectos sísmicos (60,0%)

Los resultados muestran que las patologías más críticas en cúpulas de piedra patrimoniales están relacionadas con problemas estructurales y de materiales de unión. Las deformaciones por fluencia del material no se presentan, sugiriendo que la piedra como material estructural mantiene su estabilidad dimensional a largo plazo.

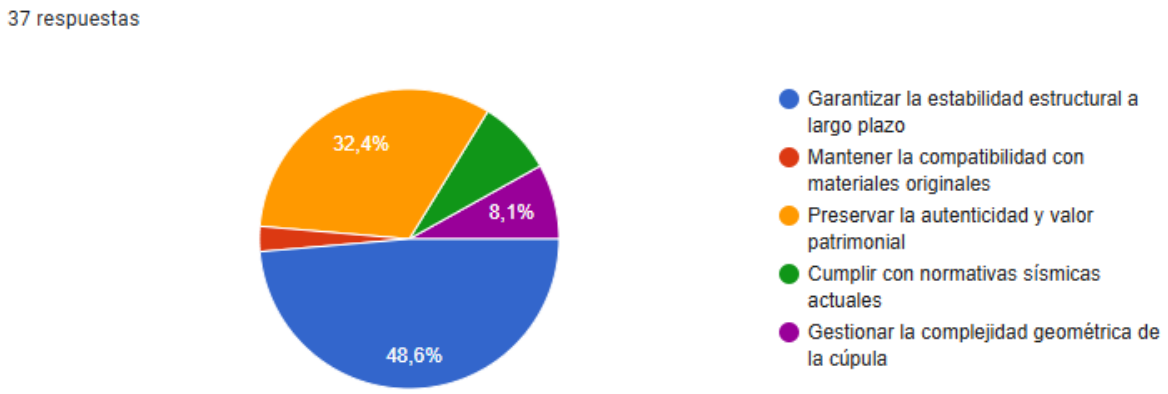
Conclusiones Sección B

El análisis de la experiencia profesional en diagnóstico y patologías demuestra un enfoque metodológico híbrido que combina técnicas tradicionales con herramientas tecnológicas avanzadas. Los profesionales priorizan la inspección visual detallada (80%) como método diagnóstico fundamental, complementándola con análisis de laboratorio de materiales (73,3%) y modelamiento estructural computacional (53,3%). Esta jerarquización evidencia una práctica profesional madura que reconoce la importancia de la observación directa como base diagnóstica, pero la refuerza con análisis técnico especializado.

En cuanto a las lesiones identificadas, los resultados del cuestionario indican que los problemas estructurales y de materiales de unión son las principales amenazas para las cúpulas de piedra patrimoniales. La fisuración por asentamientos diferenciales (73,3%) y la disgregación de morteros de junta (66,7%) emergen como las patologías más críticas. Adicionalmente, el 60% de los profesionales identificó los efectos sísmicos como un factor destacable en la aparición o agravamiento de estas patologías. Estos hallazgos son importantes para el contexto ecuatoriano, donde la actividad sísmica representa un factor determinante en la conservación patrimonial. La escasa mención de deformaciones por fluencia del material sugiere que este fenómeno no es percibido como una patología frecuente en cúpulas de piedra, lo cual es consistente con la estabilidad dimensional que caracteriza a este material estructural.

C. Técnicas de Reforzamiento:

3. ¿Cuál considera que es el mayor desafío técnico en la intervención de cúpulas de piedra (seleccione uno)?

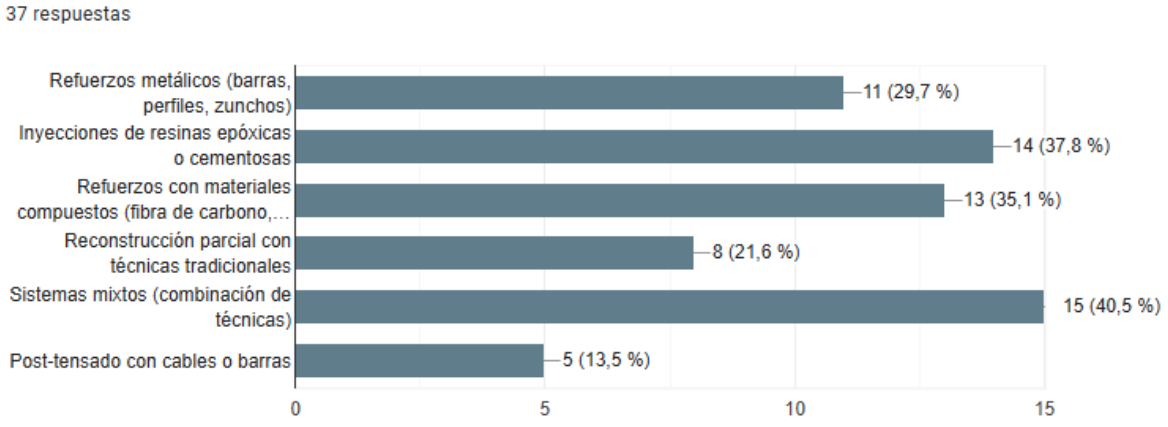


Análisis: Las respuestas evidencian una variedad de desafíos técnicos percibidos por los profesionales. Los más frecuentes fueron:

- *Garantizar la estabilidad estructural a largo plazo (48,6%):* mostrando una preocupación por la efectividad duradera de las soluciones aplicadas.
- *Preservar la autenticidad y valor patrimonial (32,4%):* lo cual refleja la sensibilidad del grupo encuestado frente al valor histórico y simbólico de estas estructuras.

Existe un equilibrio entre la preocupación técnica y patrimonial, lo que sugiere que los profesionales buscan intervenciones integrales, que sean respetuosas del patrimonio.

4. ¿Qué tipo de técnicas de reforzamiento estructural ha observado que se utilizan con mayor frecuencia en cúpulas de piedra?



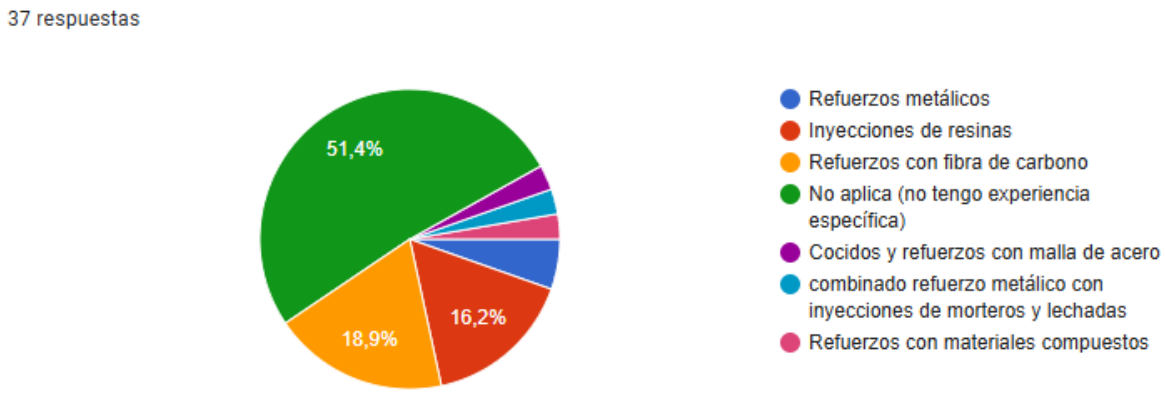
Análisis: Entre las técnicas más mencionadas destacan:

- Sistemas mixtos, con la combinación de técnicas tradicionales y modernas (40,5%).

- Inyecciones de resinas (epóxicas o cementosas) (37,8%).
- Refuerzos con materiales compuestos como fibra de carbono o vidrio (35,1%).
- Refuerzos metálicos: barras, perfiles, zunchos (29,7%).

Se evidencia una diversidad de enfoques, con una fuerte presencia de soluciones modernas, pero también con uso de sistemas mixtos. Esto sugiere que se están aplicando técnicas adaptadas a cada caso, posiblemente por la complejidad y singularidad de cada cúpula.

5. **En caso de tener la experiencia específica, ¿cuál ha sido la técnica de reforzamiento más eficiente que ha empleado en cúpulas de piedra? y ¿en qué tipo de problemática fue aplicada?**



Análisis: Las técnicas de reforzamiento más efectivas aplicadas en cúpulas de piedra, incluyeron:

- Refuerzos con fibra de carbono (18,9%)
- Inyecciones de resinas (16,2%)

La problemática más mencionada fue la fisuración; también se señalaron la pérdida de confinamiento y degradación de juntas. La fisuración se reconoce como la lesión estructural dominante. Las técnicas empleadas varían, pero en su mayoría buscan soluciones compatibles y de bajo impacto visual, lo cual indica una práctica centrada en la conservación del valor patrimonial y la integridad estructural.

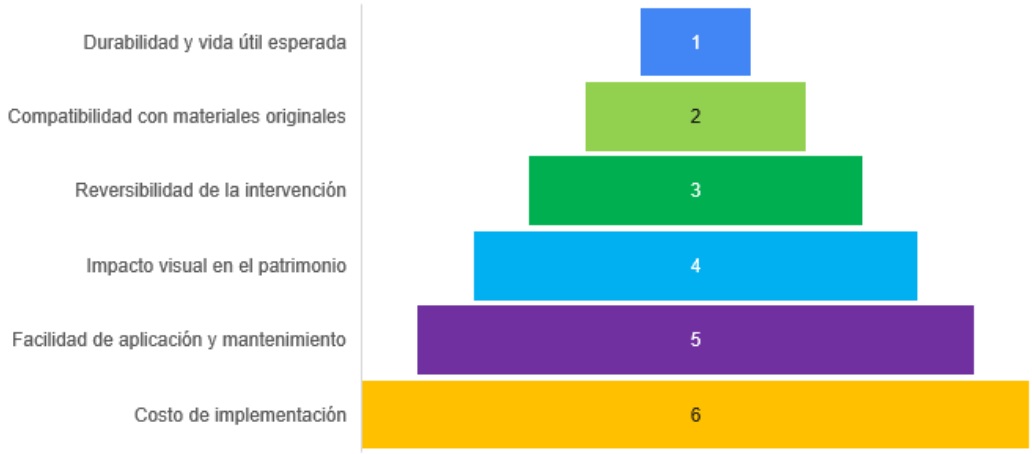
Conclusiones Sección C

Los resultados de esta sección evidencian la complejidad técnica y patrimonial inherente a las intervenciones en cúpulas de piedra. Los profesionales identifican como principal desafío técnico garantizar la estabilidad estructural a largo plazo (48,6%), seguido de preservar la autenticidad y valor patrimonial (32,4%). Esta distribución refleja un equilibrio profesional entre las preocupaciones técnicas y la sensibilidad patrimonial, indicando una práctica consciente de la responsabilidad dual que implica intervenir estructuras históricas.

El panorama de técnicas de reforzamiento muestra una clara tendencia hacia soluciones híbridas y adaptativas. Los sistemas mixtos que combinan técnicas tradicionales y modernas (40,5%) lideran las preferencias, seguidos por inyecciones de resinas (37,8%) y refuerzos con materiales compuestos (35,1%). Esta diversidad técnica sugiere que los profesionales están adoptando enfoques caso-específicos, reconociendo que cada cúpula requiere soluciones particulares. La experiencia práctica confirma la efectividad de los refuerzos con fibra de carbono (18,9%) y las inyecciones de resinas (16,2%), principalmente aplicadas para tratar fisuración, pérdida de confinamiento y degradación de juntas.

D. Criterios de Selección y Evaluación

6. Jerarquice los siguientes factores según su importancia al seleccionar una técnica de reforzamiento (1=más importante, 6=menos importante)



Análisis: Los factores más valorados por los encuestados fueron:

1. Durabilidad y vida útil esperada
2. Compatibilidad con materiales originales
3. Reversibilidad de la intervención

Los resultados muestran una jerarquización que prioriza los aspectos técnicos y patrimoniales sobre los aspectos económicos y operativos. La durabilidad es considerada el factor más crítico, seguido por la compatibilidad con materiales originales, evidenciándose una mentalidad profesional enfocada en la preservación a largo plazo del patrimonio. El costo de implementación ocupa el último lugar en importancia, sugiriendo que los profesionales consideran que la calidad técnica y el respeto patrimonial no deben comprometerse por consideraciones económicas. En un punto intermedio se encuentran la reversibilidad y el impacto visual, lo cual indica un equilibrio entre criterios técnicos y estéticos en la toma de decisiones.

7. ¿Qué criterios adicionales considera fundamentales pero que no se evalúan suficientemente?

Análisis: Las respuestas de los encuestados se pueden agrupar en los siguientes ejes temáticos:

a. *Análisis integral de materiales y sistemas constructivos:*

- Ensayo de materiales y tomas de muestras
- Análisis químico de la piedra
- Resistencia de materiales y tecnología constructiva tradicional
- Análisis del comportamiento de materiales y sistemas constructivos en su conjunto
- Estado actual del material y deterioro de materiales de unión
- Abrasión, desgaste granulométrico y mortero de adherencia
- Presencia de sales en la estructura

b. *Evaluación estructural y sísmica específica:*

- Comportamiento sísmico real del conjunto
- Alteraciones de la estructura interna
- Análisis de cimentaciones
- Peso y carga de los añadidos en la estructura
- Evaluación de sistemas constructivos tradicionales vs. intervenciones modernas

c. *Monitoreo y seguimiento post-intervención:*

- Sistemas de monitoreo (sensores, fisurómetros)
- Falta de sistemas de seguimiento para evaluar eficacia real de técnicas
- Documentación y monitoreo en todas las etapas del proceso
- Reconstrucciones 3D para monitoreo
- Accesibilidad para tareas de conservación

d. Durabilidad y comportamiento a largo plazo:

- Durabilidad a largo plazo de las intervenciones
- Vida útil de los materiales y sistemas implementados
- Durabilidad de materiales nuevos en referencia a cambios climáticos
- Análisis de condiciones ambientales y climáticas
- Efectos antrópicos y de la naturaleza sobre las estructuras

e. *Aspectos patrimoniales y culturales:*

- Componente cultural en las intervenciones
- Valoración de técnicas y saberes constructivos tradicionales
- Conservación preventiva y control de intervenciones inconsultas
- Estética y conservación del patrimonio
- Utilización adecuada de materiales vs. el objeto patrimonial

f. Planificación y gestión de intervenciones:

- Reversibilidad de las intervenciones (mencionado, a pesar que si fue contemplado en la pregunta previa)
- Inclusión de plan de mantenimiento programado
- Técnicas de intervención apropiadas
- Mano de obra capacitada y especializada
- Uso de nuevas tecnologías en el diagnóstico y tratamiento

Los encuestados identifican una notable deficiencia en la evaluación integral de las intervenciones patrimoniales. Se evidencia la necesidad urgente de incorporar criterios técnicos más rigurosos que incluyan análisis profundos de materiales, evaluación sísmica específica, sistemas de monitoreo continuo y planificación a largo plazo. La falta de estos criterios compromete tanto la efectividad técnica como la preservación del valor patrimonial de las intervenciones realizadas.

Conclusiones Sección D

Esta sección presenta una jerarquización clara y consistente en los criterios de selección de técnicas de reforzamiento. Los profesionales priorizan la durabilidad y vida útil esperada

como factor más importante, seguido por la compatibilidad con materiales originales y la reversibilidad de la intervención. Esta jerarquización demuestra una mentalidad profesional madura que antepone la calidad técnica y el respeto patrimonial a consideraciones económicas inmediatas, ya que el costo de implementación ocupa consistentemente el último lugar en importancia.

Los criterios adicionales identificados por los encuestados muestran deficiencias significativas en la evaluación integral de las intervenciones patrimoniales. Existe una necesidad urgente de incorporar análisis profundos de materiales, evaluación sísmica específica, sistemas de monitoreo continuo y planificación a largo plazo. Los profesionales reclaman mayor rigor en el análisis de materiales y sistemas constructivos, evaluación estructural y sísmica específica, implementación de sistemas de monitoreo post-intervención, y consideración de aspectos patrimoniales y culturales. Esta identificación de criterios faltantes constituye una base sólida para el desarrollo de mejores prácticas en el campo.

E. Sugerencias y Recomendaciones:

8. ¿Qué mejoras propondría en las técnicas de reforzamiento actuales para cúpulas de piedra?

Análisis: Las respuestas fueron variadas, pero se pueden agrupar en los siguientes ejes temáticos:

a. *Diagnóstico previo riguroso:*

- Estudios estructurales.
- Ensayos de laboratorio y materiales.
- Modelado computacional y análisis sísmico.

b. *Mejora en técnicas y materiales:*

- Uso de materiales más compatibles y reversibles.
- Inclusión de materiales compuestos (como PRFV).
- Incorporación de tecnologías menos invasivas.

c. *Sistemas de monitoreo y mantenimiento:*

- Fisurómetros, sensores, evaluación periódica post-intervención.

d. *Capacitación profesional:*

- Mayor formación para técnicos y autoridades.

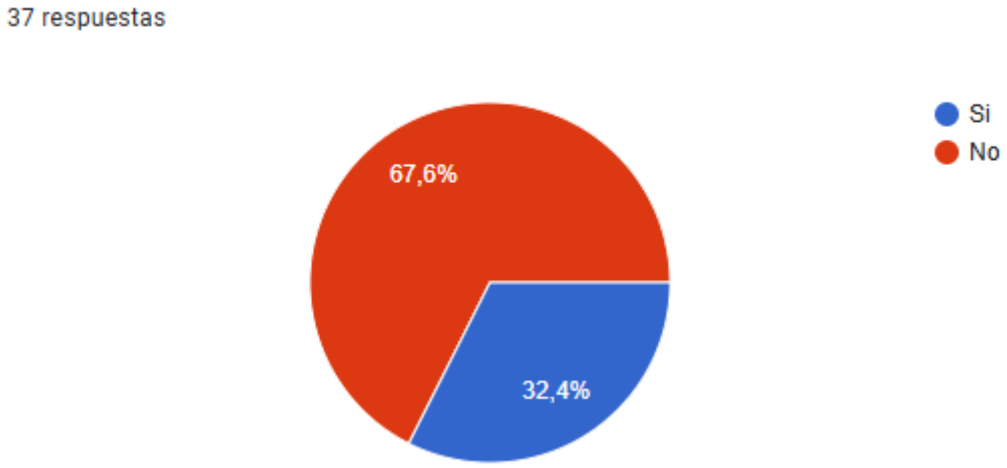
- Promoción del conocimiento interdisciplinario.

e. Respeto al patrimonio:

- Intervenciones menos invasivas.
- Diseño de sistemas ocultos o integrados.

Se demuestra una necesidad urgente de mejorar la planificación, control y seguimiento de las intervenciones estructurales. Los encuestados muestran una preferencia por soluciones respetuosas del patrimonio, técnicamente justificadas y sostenibles en el tiempo.

9. ¿Considera que las normativas y guías actuales son adecuadas para este tipo de intervenciones?



Análisis: La mayoría de encuestados (67,6%) respondieron que las normativas y guías actuales no son adecuadas para este tipo de intervenciones.

Existe una amplia percepción de insuficiencia normativa. Las críticas apuntan a que las normas ecuatorianas no se ajustan a las realidades del patrimonio construido en piedra, ni contemplan suficientemente técnicas locales, evaluación sísmica o métodos modernos de análisis.

Si respondió "No", ¿qué aspectos cree que deberían mejorarse?

Análisis: Las respuestas de los encuestados se pueden agrupar en los siguientes ejes temáticos:

1. *Necesidad de normativas específicas y contextualizadas:*

- Desarrollo de guías técnicas específicas para cada material y estructura
- Creación de normas propias adaptadas al contexto ecuatoriano
- Normativas regionales que consideren las particularidades geográficas
- Instrumentos locales especializados para intervenciones en piedra

2. *Deficiencias en la formación y selección de profesionales:*

- Falta de contratación de profesionales con experiencia y preparación académica adecuada
- Necesidad de mayor capacitación para técnicos y autoridades de control
- Formación universitaria básica e insuficiente en patrimonio cultural
- Requerimiento de profesionales titulados específicamente en conservación y restauración

3. *Actualización técnica y metodológica:*

- Incorporación de métodos no lineales en el análisis estructural
- Integración de nuevas tecnologías en las normativas
- Normativas menos restrictivas para la experimentación
- Actualización de la NEC con tratamientos específicos de reforzamiento estructural

4. *Aspectos procedimentales y de control:*

- Establecimiento de procedimientos claros de intervención
- Regulación nacional y local más estricta
- Mejora en procesos de fiscalización desde perspectiva técnica, no política
- Desarrollo de estudios de caso específicos y replicables

5. *Enfoque interdisciplinario y patrimonial:*

- Integración de criterios estructurales, histórico-culturales y ambientales
- Consideración de compatibilidad con materiales originales
- Evaluación del impacto visual en las intervenciones
- Respeto y sensibilidad patrimonial en las normativas

6. *Gestión del conocimiento y difusión:*

- Promoción de la publicación de experiencias e intervenciones
- Creación de repertorios de intervenciones por ámbito geográfico
- Compartir experiencias entre profesionales
- Desarrollo de investigación específica en materiales patrimoniales

Los encuestados mostraron una necesidad urgente de reformulación integral del marco normativo actual. Las deficiencias identificadas abarcan desde la falta de especificidad técnica hasta problemas sistémicos en la formación profesional y gestión del conocimiento. Se requiere un enfoque que combine rigor técnico actualizado, sensibilidad patrimonial y procedimientos claros, desarrollado desde una perspectiva interdisciplinaria y contextualizada a la realidad ecuatoriana.

Conclusiones Sección E

Los aportes de esta sección final consolidan una visión integral de las mejoras necesarias en los procesos de restauración de cúpulas de piedra. Los profesionales demandan un enfoque más riguroso que incluya diagnóstico previo exhaustivo, mejora en técnicas y materiales, implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento, capacitación profesional continua y mayor respeto al patrimonio en las intervenciones.

La percepción mayoritaria de inadecuación normativa (67,6%) es un hallazgo crítico que confirma la necesidad urgente de reformulación del marco regulatorio. Los encuestados identifican deficiencias que abarcan desde la falta de normativas específicas y contextualizadas hasta problemas sistémicos en la formación profesional y gestión del conocimiento. Las mejoras propuestas incluyen el desarrollo de guías técnicas específicas, actualización metodológica, establecimiento de procedimientos claros, enfoque interdisciplinario y mejor gestión del conocimiento.

Estos resultados proporcionan una base sólida para el desarrollo de un capítulo de las mejores prácticas aplicables a intervenciones de bienes patrimoniales religiosos en cúpulas de piedra, el cual aborde tanto las deficiencias identificadas como las soluciones propuestas por los profesionales más experimentados en el campo, garantizando su aplicabilidad en el contexto específico de la Sierra ecuatoriana.

Anexo 8. Respuestas de Entrevista – Tenedores de Iglesias Patrimoniales

Iglesia: Basílica del Sagrado Corazón de Jesús, Riobamba

A. Datos Generales

1. ¿Cuál es su nombre completo, la institución donde labora y su cargo?

Mi nombre completo es Víctor Hugo Chiluisa y laboro en la unidad educativa San Felipe Neri, que está a cargo de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús y la Capilla del Sacrilegio.

2. ¿Desde cuándo realiza las funciones de tenedor, custodio, o tenedor de la Iglesia (nombre de la iglesia)?

La comunidad jesuita de Riobamba me hizo cargo como custodio de esta iglesia, la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús, desde el año 2021 y obviamente también la iglesia de la Capilla del Sacrilegio.

B. Uso del inmueble y actividades desarrolladas

3. ¿Con qué frecuencia se realizan actividades dentro de la iglesia? (misas, eventos religiosos, visitas turísticas, etc.)

Las actividades de la Basílica del Sagrado Corazón las tenemos a diario, es decir, de lunes a domingo las misas de las seis de la tarde, que son comunitarias, y lo mismo el domingo a las ocho de la mañana. También ha habido eventos religiosos a nivel de la ciudad o visitas turísticas que el municipio se encarga muchas veces de enviar a los grupos.

4. ¿Cuál es el número promedio de personas que asisten a estos eventos?

El promedio de asistencia a estos eventos generalmente es entre 40 personas hasta unas 400 personas cuando la unidad educativa asiste a los eventos.

5. ¿Existen temporadas del año en las que aumenta significativamente el uso de la iglesia? ¿Cuáles?

El número de personas que aumenta significativamente en esta Basílica del Sagrado Corazón son los meses de diciembre por la Navidad, febrero, marzo, abril, por lo que es la cuaresma. Como hay misas comunitarias, como decía anteriormente, los meses que aumenta significativamente la venida de personas es en Navidad, en la Semana Santa, en las fiestas patronales del colegio que son en abril, y por la Virgen que es en mayo.

6. ¿Se permite el ingreso de turistas o visitantes fuera de las ceremonias religiosas? ¿Con qué frecuencia?

Previa a una cita sí se permite el ingreso de turistas o visitantes o grupos de empresas que suelen a veces pedir un recorrido por las dos iglesias que tenemos aquí. La frecuencia de

estas visitas generalmente son una vez al mes o a los dos meses, o sea, no es muy seguido, y solamente en la Semana Santa se permite pues un poquito más, porque es la visita de las siete iglesias, y se permite que puedan asistir también exclusivamente grupos a estas visitas.

C. Estado general del inmueble y características

7. ¿Cómo describiría el estado general de la iglesia?

El estado de la Basílica del Sagrado Corazón se encuentra en un estado general, bueno, lo que está ahí es restaurado íntegramente, las cúpulas de la misma, para evitar que siga la filtración de agua y por eso estaba acuarteando, se tenía fisuras. Lo que falta en este momento es hacer la pintura y el refuerzo de los techos, donde están estas pinturas de las cúpulas pequeñas y central también de esta iglesia.

8. ¿Sabe de qué materiales está construida la cúpula? (piedra, ladrillo, etc.)

La cúpula central está construida con piedra pómez, en cambio las otras cúpulas, las cupulines usan también este tipo de material y reforzado con una malla y un material como la cal.

9. ¿Qué problemas principales han observado en la iglesia, especialmente en la cúpula? (goteras, grietas, desprendimientos, manchas)

Dentro de la basílica, sí se encuentra deteriorada todo lo que es la pintura en las cúpulas pequeñas, cupulines y también en la cúpula central, que bueno ya se tomó la respectiva restauración, pero de todas maneras existe todavía quizás una pequeña filtración del agua, porque generalmente es una cúpula muy grande y tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente.

10. ¿Los problemas en la cúpula han respondido a algún evento natural como un sismo?

La cúpula de la Basílica del Sagrado Corazón fue intervenida en el año 80 hasta el 83, donde se observaron grandes grietas y eso fue a consecuencia del terremoto de 1949, suscitado en Pelileo. Debemos anotar también con el terremoto que hubo en la ciudad de Puerto Viejo, también de alguna manera contribuyó para que se hagan más grandes las grietas existentes ya en la cúpula.

11. ¿Estos problemas han empeorado con el tiempo o aparecen en ciertas épocas del año?

Estos problemas no han empeorado, sí se ha mantenido con esto de ya el reforzamiento que tuvo las cúpulas en el año 2019 hasta el 2021, donde se tuvo la última restauración de las cúpulas en la parte externa.

D. GESTIÓN DE RIESGOS – Fase de preparación

D.1. Cuidado preventivo y mantenimiento

12. ¿Qué actividades de limpieza y mantenimiento realizan regularmente?

La limpieza y mantenimiento se realizan exclusivamente dentro del templo para el uso de las personas un día a la semana, los días viernes generalmente.

13. ¿Tienen personal específico encargado del cuidado del inmueble?

Las personas encargadas de esta limpieza y mantenimiento son de la unidad educativa donde elaboran. El personal que hace esta limpieza es el grupo de mantenimiento de la unidad educativa.

14. ¿Quién suele detectar problemas en la iglesia? (personal, feligreses, usted)

Como encargado y custodio de la basílica, suelo yo personalmente subir hasta las cúpulas, darme la vuelta por el interior de la iglesia para detectar algún problema que existe y obviamente también recibimos alguna pues alerta de los feligreses cuando vienen también acá a la iglesia.

15. ¿Tienen alguna rutina para revisar el estado general del inmueble?

Solemos tener también la visita del personal que es de la compañía de Jesús, la que se encarga de ver cómo está el estado de todos los bienes patrimoniales que tiene la compañía de Jesús. Las visitas de este personal generalmente son una vez al año, no es muy seguido.

16. ¿Toman precauciones especiales durante épocas de lluvia o eventos climáticos?

Sí tomamos las precauciones durante la época de lluvias o los eventos climáticos que se suelen presentar.

D.2. Planificación y preparación ante riesgos

17. ¿Tienen algún plan de emergencia para sismos u otros eventos durante las misas?

Sí se ha tenido algunos ejercicios inclusive sobre plan de emergencia contra sismos o contra otros eventos que ha habido naturales, en todo caso sí tenemos ese plan de emergencia donde se realiza la evacuación y los sitios por donde tienen que salir.

18. ¿Saben a quién contactar si se presenta un problema grave en la estructura?

Como le decía, si hay un problema serio en lo que es la iglesia pues se comunica a la compañía de Jesús, en este caso a la Fundación Mariana de Jesús que es la encargada, como decía, de la custodia general de todos los edificios de la compañía.

19. ¿Han traído especialistas para evaluar preventivamente el estado de la iglesia?

Cuando se ha presentado algún problema grave en la estructura de la Basílica del Sagrado Corazón, siempre se recurre a la Fundación Mariana de Jesús que es la encargada de la custodia de todos los bienes patrimoniales que tiene en el país y entonces ellos mandan a los especialistas para que puedan evaluar y pueda hacerse cualquier reparación en la Basílica.

20. ¿Quién decide cuándo es necesario hacer una reparación importante en el bien inmueble?

La decisión la toma el Padre Superior de la comunidad de aquí de Chimborazo junto con los miembros que se encuentran aquí.

E. GESTIÓN DE RIESGOS – Fase de respuesta

E.1. Experiencia con situaciones de emergencia

21. Durante su gestión, ¿han tenido emergencias que afectaran la iglesia? (sismos, vendavales, etc.)

En estos cuatro años que he estado al frente de la Basílica no ha habido ninguna emergencia.

22. ¿Cómo reaccionaron inicialmente? ¿Cuáles fueron sus primeras acciones?

No aplica

23. ¿Observaron daños específicos en la cúpula después de estos eventos?

No aplica

E.2. Coordinación y búsqueda de ayuda inmediata

24. ¿A quiénes acudieron para pedir ayuda durante la emergencia?

No aplica

25. ¿Qué instituciones respondieron más rápidamente? (bomberos, municipio, Secretaría de Nacional de Gestión de Riesgos, ECU 911) ¿Recibieron el apoyo necesario de las autoridades?

No aplica

26. ¿Alguien evaluó inmediatamente la seguridad de la estructura?

No aplica

F. GESTIÓN DE RIESGOS – Fase de recuperación

F.1. Evaluación post-evento y toma de decisiones

27. ¿Alguien evaluó profesionalmente los daños después de la emergencia?

No aplica

28. ¿Quién(es) les ayudó a tomar decisiones técnicas sobre las reparaciones necesarias (reparaciones urgentes vs. las que pueden esperar)?

No aplica

F.2. Proceso de reparación y rehabilitación

29. ¿Se han hecho reparaciones importantes en la cúpula durante su gestión?

No se ha hecho ninguna reparación durante mi gestión importante en las cúpulas de la Basílica del Sagrado Corazón.

30. ¿Cómo eligieron a las personas o empresas que realizaron los trabajos?

No aplica

31. ¿Fue complicado conseguir los permisos necesarios para las reparaciones?

No aplica

32. ¿Tuvieron que cerrar la iglesia durante los trabajos?, ¿durante cuánto tiempo?

No aplica

F.3. Resultados de la recuperación

33. ¿Los trabajos se completaron según lo planeado?

No aplica

34. ¿Quedaron satisfechos con los resultados de las reparaciones?

No aplica

35. ¿La apariencia de la iglesia cambió notablemente? ¿Cómo reaccionó la comunidad?

No aplica

36. ¿Han reaparecido problemas similares después de las reparaciones?, ¿en cuánto tiempo?

No aplica

G. Recursos y capacidades

37. ¿De dónde provienen los recursos para el mantenimiento correctivo o preventivo de la iglesia?, ¿Tienen el apoyo de empresas públicas o privadas?

Los recursos que se tienen para la prevención y mantenimiento de la iglesia, sí nos ha ayudado especialmente el municipio de Riobamba, algunas entidades bancarias, empresas privadas y también pues algunas donaciones que lo han hecho los ex alumnos del colegio. Actualmente se está captando fondos por medio de una fundación justamente para poder hacer la reparación interna de la pintura de la Basílica.

38. ¿Es suficiente el presupuesto para cubrir las necesidades de mantenimiento?

No respondió directamente

39. ¿Tienen un fondo específico reservado para emergencias?

No respondió

H. Relación con Instituciones y Trámites

H.1. Experiencia institucional

40. ¿Conocen a qué institución acudir si necesitan asesoría técnica?

Implícito en respuestas previas: Fundación Mariana de Jesús

41. ¿Han recibido apoyo técnico del INPC, municipio, gobierno provincial u otras instituciones?, ¿cómo ha sido esa experiencia?, ¿recibieron orientación útil?

Si se ha recibido el apoyo técnico del INPC, también del municipio, del gobierno provincial también, y de otras instituciones.

H.2. Permisos y trámites

42. ¿Saben qué permisos necesitan para hacer reparaciones en la iglesia?

Sí se ha tenido conocimiento cómo ser, cómo sacar los permisos correspondientes para las reparaciones de la iglesia.

43. ¿Los procesos de permisos han sido complicados o demorados?

Sí se han demorado un poco.

H.3. Redes de apoyo

44. ¿Tienen contacto con otros administradores de iglesias patrimoniales?

Como decía la Fundación Mariana de Jesús, la Iglesia Compañía de Jesús, son los dientes más próximos que nos vienen a hacer pues las debidas visitas para hacer reparaciones o prever cualquier caso que pueda necesitar la Basílica.

45. ¿Se apoyan mutuamente con consejos o recursos?

El apoyo es mutuo, con consejos, a veces hasta con recursos.

I. DESAFÍOS Y RECOMENDACIONES

I.1. Principales dificultades

46. ¿Cuáles son sus mayores desafíos para mantener la iglesia en buen estado?

El mayor desafío para mantener las iglesias, especialmente la Basílica del Corazón de Jesús, es la educación a los usuarios. Muchas veces a veces vienen las familias con niños pequeños que comienzan en vez de estar correctamente ubicados, molestan a veces los confesionarios o algunos de los espacios que hay en la iglesia. Como es una iglesia patrimonial entonces llama mucho la atención para los niños y mejor comienzan a jugar. El mayor desafío que se tiene para mantener la iglesia es culturizar a los visitantes y a los que usan en las misas diarias. Muchas veces niños también son imprudentes y comienzan a estar pues jugando en los confesionarios o trotando, corriendo dentro de la iglesia.

47. ¿Qué es más complicado, según su experiencia: conseguir financiamiento, encontrar profesionales calificados, o manejar trámites?

Lo más complicado realmente siempre es el aspecto de financiamiento para cambio de florecentes. Bueno, no se usa ya florecentes sino simplemente los reflectores LED, pero sin embargo, como son algunos, siempre es un poco inconveniente cambiarlos porque se encuentran a gran altura. Realmente el problema grave que siempre se tiene es el financiamiento, porque es una iglesia patrimonial grande y más de 100 años de existencia, entonces donde se necesita que el recurso económico siempre esté permanente para poder coger las fallas que está saliendo muchas veces en poco tiempo.

I.2. Necesidades y sugerencias

48. ¿Qué tipo de apoyo necesitarían para cuidar mejor la iglesia?

En nuestro caso, el apoyo que sería necesario es la visita quizás trimestral o semestral para ver cómo está el cuidado por medio de las iglesias, las fundaciones que tiene la Compañía de Jesús.

49. ¿Les gustaría recibir capacitación sobre detección temprana de problemas?

Ellos sí se encargan de dar capacitación y bueno, instruirnos en cómo deberíamos seguir cuidando estos templos.

50. ¿Qué estrategias les han funcionado mejor para conseguir recursos?

Bueno, los pocos recursos que se han conseguido pues es a base de las reuniones que muchas veces tienen los exalumnos por cumplir bodas, es decir, ya desde que se graduaron siempre se ha reunido en bodas de oro, plata o también cada cinco años, cada diez años, entonces la única manera que ellos dejan una pequeña contribución para el mantenimiento o para el arreglo inmediato de alguna cosa que falte en el templo.

Anexo 9. Respuestas de Entrevista – Profesionales intervinientes en las cúpulas estudiadas

Iglesia: Iglesia Matriz de Pujilí (Pujilí)

A. Perfil Profesional y Experiencia

1. ¿Podría indicarme su nombre completo, describir su formación profesional y experiencia específica en restauración y conservación de patrimonio arquitectónico?

Soy el arquitecto Hernán Patricio León Ruiz. Tengo 35 años de experiencia en intervención en el patrimonio edificado, de los cuales 27 los hice o los he hecho en libre ejercicio de la profesión. Tuve la oportunidad de trabajar 15 años en el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.

2. ¿Cuál fue su rol específico en la intervención de la Iglesia Matriz de Pujilí? ¿En qué fases del proyecto participó?

En el proyecto específico del que vamos a hablar en esta oportunidad, la intervención en la Iglesia de Pujilí, debo manifestar que fui el encargado de elaborar el estudio del comportamiento y tipos de sistemas constructivos en piedra, para lo cual se utilizó o se hizo el estudio sobre dos inmuebles, sobre la Iglesia de Pujilí y la Basílica de Riobamba. En específico, referente a la Iglesia de Pujilí, tuve la oportunidad de participar en la ejecución de la intervención.

3. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con estructuras patrimoniales de piedra, específicamente con cúpulas?

Mi experiencia en general la he realizado tanto en inmuebles de la costa como de la sierra. Conozco los materiales y sistemas constructivos de las dos zonas.

B. Diagnóstico y Evaluación Inicial

4. ¿Qué metodologías utilizaron para el diagnóstico estructural inicial de la cúpula? (estudios previos, ensayos, análisis patológicos)

Cuando nosotros hicimos el estudio, se hizo un estudio muy pormenorizado, se realizó análisis de piedra. Cabe mencionar que la piedra de la fábrica de la Iglesia, es una piedra pómez y es conocido que la piedra pómez tiene diferentes grados de porosidad y obviamente de la porosidad de la piedra depende la dureza, es decir, no todas las piedras pómez son totalmente suaves, hay piedras pómez que, por ser un poco menos porosas, son un poco más duras, y ese es el caso de la fábrica de la Iglesia: la mayor parte de la piedra utilizada es una piedra pómez, pero poco porosa, si se podría llamar así. Entonces hicimos análisis del tipo de piedra y del tipo de morteros y argamasas utilizados; el estudio partió de eso.

5. ¿Cuáles fueron las principales patologías estructurales identificadas en la cúpula antes de la intervención?

Inicialmente la Iglesia se pudo establecer como diagnóstico que permanentemente se podía observar la caída de arena, es decir, el mortero, la argamasa de cal de la fábrica de piedras estaba desgregando. Cabe mencionar que la Iglesia de Pujilí, Iglesia doctrinera, originalmente era enlucida por dentro y por fuera. En alguna intervención realizada en el año 76, una intervención estructural, la bóveda de la Iglesia tenía una fisura a todo lo largo del cañón. Entonces, se contrata a un grupo de connotados profesionales para que realicen el estudio y la intervención. En esta oportunidad, se hicieron cinco anillos en el desarrollo de la nave, de la bóveda.

Y con esa oportunidad, mientras se realizaba la intervención, se pudo detectar que la fábrica de piedra de la Iglesia era muy bien realizada. Se hicieron reuniones técnicas y se propuso la posibilidad pelarle a la Iglesia, con el objeto de recuperar una expresión de la construcción tradicional importante. Al momento, bajo mi criterio, la Iglesia de Pujilí es una Iglesia típicamente baroca, y parte de esta expresión de la Iglesia es la fábrica de piedra, que al conocimiento de la mayoría de los profesionales se piensa que la Iglesia era así, pero no. Originalmente la Iglesia era enlucida.

Obviamente al momento que se retiran los enlucidos interior y exteriormente, la argamasa de la fábrica empieza a comportarse de otra manera y empieza un proceso de disgregación de la mezcla. Ese es el primer diagnóstico inicial de la Iglesia en general; obviamente de la cúpula, que es el tema que en este caso nos ocupa, empieza a disgregarse el material de la argamasa de la fábrica de pieza, producto en gran parte del retiro de los enlucidos.

En el caso específico de la cúpula, se detectaron fisuramientos en algunos sitios, fisuramientos que del análisis físico (por la parte exterior obviamente) pudimos determinar que no se trataba de fisuramientos de tipo estructural, es decir, era más bien el comportamiento de la argamasa, del momento que se retiró el enlucido, pues obviamente la argamasa de la fábrica empezó a comportarse de otra manera y en ciertas zonas se produjeron fisuramientos.

6. ¿Se realizaron estudios de caracterización de materiales originales? ¿Qué aspectos consideraron más relevantes?

Se realizaron análisis del tipo de piedra, los grados de porosidad de la piedra, los tipos de morteros, es decir, las argamasas de la fábrica y obviamente el estado a simple vista inicialmente, y luego de comportamiento o la definición de las razones del aparecimiento de las fisuras para el caso específico de la cúpula.

7. ¿Cómo evaluaron el nivel de riesgo estructural de la cúpula? ¿Utilizaron alguna matriz o sistema de valoración específico?

Se realizó con el concurso de un ingeniero especializado, obviamente se realizó un análisis de la estructura y en una siguiente etapa haremos referencia a los criterios empleados una

vez realizado el diagnóstico. El ingeniero, el asesor estructural que tuvimos, determinó que no se trataba de problemas estructurales importantes, más bien era comportamiento del material.

C. Criterios y Decisiones Técnicas

8. ¿Qué criterios técnicos, normativos y patrimoniales guiaron la selección del sistema de reforzamiento aplicado?

Cuando se trató el tema de la intervención, con la asesoría estructural del ingeniero que fue parte de nuestro equipo de trabajo, se determinó en términos generales y, en primer lugar, la consolidación de las argamasas, es decir, de las mezclas de cal arena. La inyección de las fisuras producía manchas por humedad, es decir, se determinó que el aparecimiento de fisuras en la parte exterior se trasladaba al interior generando áreas con presencia de humedad, obviamente en las épocas de lluvia. Entonces, lo primero que se apuntó en la solución de la intervención fue la consolidación de la argamasa y la inyección de las fisuras.

9. ¿Se consideraron múltiples alternativas de reforzamiento? ¿Cuáles fueron descartadas y por qué razones?

Se analizaron varias posibilidades, se vio si cabía (si era necesario) el realizar un engrapado de las fisuras. Se consideró que no eran de mayor trascendencia en la estructura (en la fábrica), por lo cual se prefirió no realizar ninguna intervención estructural con hierro, es decir, ni grapas ni ningún cosido de las fisuras. Simplemente se decidió realizar la consolidación de las fisuras a través de la inyección de lechadas de cal.

10. ¿Cómo se equilibraron los criterios de eficiencia estructural con los de preservación del valor patrimonial?

Se hizo un análisis de la compatibilidad de materiales a utilizarse con las mezclas originales utilizadas en la edificación, por eso es que se decidió utilizar lechadas de cal. Desde luego, las mezclas que utilizábamos en ese momento y entiendo que se utilizan hasta el momento, son mezclas con bajos porcentajes de cemento. El cemento se utiliza con un criterio, el cemento tiene como material de fabricación la cal, entonces hay un nivel de compatibilidad entre la cal y el cemento; obviamente para casos de intervención en patrimonio con bajos porcentajes de uso en las mezclas.

En ese momento, obviamente utilizamos aditivos que permiten el llenado de las fisuras en la parte interior en forma total; el uso de aditivos es importante en la mezcla y es lo que usamos en la intervención que está en análisis. Resumiendo, la etapa de los criterios de decisiones técnicas, se decidió no utilizar reforzamiento con elementos metálicos, simplemente realizar mezclas con base en cal, bajo contenido de cemento y aditivos expansores que permiten el llenado total de las fisuras.

Cuando se decidió utilizar como alternativa estructural, teniendo el criterio de que no se trataba de un problema estructural excesivamente grave, se decidió utilizar un consolidante

con base en silicón o un consolidante importado. Cabe mencionar que un poco antes de la intervención que se iba a realizar en Pujilí, ya se utilizó este material en varias iglesias de la ciudad de Quito para la consolidación de la piedra. Se tenía ya un análisis de resultados de los procesos de intervención en varias iglesias de Quito, una de las cuales realicé yo la intervención de consolidación, recuperación y rehabilitación de la fachada de piedra de la iglesia del Sagrado, y utilizamos este consolidante importado con base en silicón.

11. ¿Qué papel jugaron las normativas nacionales e internacionales de patrimonio en las decisiones técnicas?

Desde las primeras reuniones que se realizaron con el patrocinio de la UNESCO, se determinó la necesidad de poner la tecnología al servicio del patrimonio edificado, es decir, utilizar los avances de la tecnología para la protección y preservación del patrimonio edificado y eso es lo que debemos hacer sin temor. Lo que sí se debe considerar, algo que es muy recurrente en este formato de entrevista, que es el hecho de analizar la compatibilidad de materiales, es decir, usamos la tecnología, pero analizando la compatibilidad con los materiales y sistemas constructivos utilizados en el inmueble a intervenir.

12. ¿Se consultó con organismos patrimoniales (INPC, municipios, etc.) durante el proceso de diseño de la intervención?

No respondió.

D. Implementación y Desafíos

13. ¿Cuáles fueron los principales desafíos técnicos enfrentados durante la ejecución del reforzamiento?

Se utilizaron las lechadas de cal y, desde luego en el caso de Pujilí, se debían tomar ciertas seguridades para la aplicación de este producto. El producto debía utilizarse bajo ciertas condiciones técnicas o ambientales, por lo cual en vista de las condiciones de bajas temperaturas y de presencia de humedad que existía en la iglesia optamos por generar un microclima interno cubriendo todos los ingresos de humedad desde fuera. Sellamos la iglesia, hicimos un análisis de temperaturas durante todo el día y la noche, y la aplicación de este producto de acuerdo a las especificaciones del fabricante y la práctica que se hizo en la ciudad de Quito. Pues en el caso de la iglesia de Pujilí se realizó durante la noche la aplicación, cuidando de que no ingrese mayor cantidad de humedad ni neblina; se impidió el ingreso y logramos un ambiente o unas condiciones interiores que nos permitió la aplicación del material en la temperatura ambiental, las condiciones ambientales y la temperatura del material.

14. ¿Se presentaron incompatibilidades entre los materiales de reforzamiento y los materiales originales?

Nosotros cuando hicimos el estudio de la iglesia de Pujilí, determinamos que en ciertas zonas que habían sido intervenidas con morteros inadecuados, con morteros cemento-arena,

morteros inadecuados para la piedra, porque impermeabilizaron las zonas y lo que produjeron fue rotura de los bordes de las piedras, en algunos casos, y desplacamiento en otros. Existieron zonas en las cuales nos tocó hacer reemplazo de placas de piedra, porque se habían utilizado morteros inadecuados que produjeron desplacamiento y deterioro del material.

Ya específicamente en el caso de la cúpula no fue el caso. La cúpula de Pujilí, en la parte exterior la cúpula, estaba revestida por tejuelo, material que cuando nosotros hicimos la intervención el material ya no estaba en muy buen estado, y es un material que por el nivel de porosidad del tejuelo ofrece una impermeabilización por una cantidad de años, pero luego ya cuando se va deteriorando la capa del vidriado, el tejuelo no cumple la función de impermeabilización. En el caso de la cúpula de Pujilí las fisuras fueron evidentes, en cambio ahí el tejuelo nos ayudó a determinar a simple vista ver dónde estaban las fisuras y poder intervenir.

15. ¿Cómo se manejaron los aspectos de reversibilidad y mínima intervención durante la ejecución?

Se decidió no utilizar reforzamiento con elementos metálicos, simplemente realizar mezclas con base en cal, bajo contenido de cemento y aditivos expansores que permiten el llenado total de las fisuras. Se decidió utilizar un consolidante con base en silicón o un consolidante importado. La ventaja del material que utilizamos fue que es un consolidante no impermeabilizante, que es lo importante de la intervención.

16. ¿Qué medidas de control de calidad se implementaron durante la aplicación del reforzamiento?

El control de calidad del material se dio al observar cómo se comportó el material en la aplicación. En este caso no se produjo cristalización del material, lo cual nos indicó que el material cumplió con su objetivo de consolidar sin impermeabilizar. La ventaja del material que utilizamos fue que es un consolidante no impermeabilizante, que es lo importante de la intervención y que fue una de las formas de evaluar.

E. Evaluación de Resultados y Seguimiento

17. ¿Cómo evaluaría la efectividad del sistema de reforzamiento implementado en términos de: estabilidad estructural, preservación del valor patrimonial, durabilidad esperada?

En el caso de la cúpula, adicionalmente, se habían hecho inyecciones de lechada de cal; se pudo observar que ya no se producían estas zonas o estas áreas de humedad a pesar de que el tiempo en el que hicimos llovía. Se logró con la inyección, aparte de consolidar la cúpula llenando las fisuras que se presentaron, adicionalmente se logró evitar el ingreso de agua de lluvia, es decir, ya no se generaron zonas con presencia de humedad.

Adicionalmente se veía en el interior varias áreas con cal, obviamente producto del efecto del agua lluvia en la mezcla, es decir, aparecían zonas blancas, zonas con presencia de cal. Eso se dejó de generar, lo cual nos aseguró que se habían cumplido con los objetivos de la intervención: consolidación estructural de la cúpula, llenado de las fisuras e impermeabilización, que fueron los objetivos de la intervención. Adicionalmente, repito lo que se decía.

Se utilizó un material adecuado, un consolidante no impermeabilizante, lo que permitirá que la piedra, que es un material natural, un material vivo, continúe respirando a través de los poros naturales de la piedra y no se produzcan deterioros o aparecimientos de desplacamiento, es decir, el deterioro de la piedra (lo que antes se llamaba el cáncer de la piedra). Técnicamente decimos que el desplacamiento es un efecto de la meteorización, es decir, la falta de respiración de la piedra.

18. ¿Se ha realizado algún tipo de monitoreo post-intervención? ¿Qué resultados se han observado?

La otra fue obviamente la del uso diario de la iglesia. Luego de la intervención se pudo comprobar que ya el material había dejado de disgregarse; dejó de caer esta arena que caía todo el tiempo en la iglesia, es decir, la capa superficial quedó consolidada.

19. ¿Han surgido patologías no previstas o efectos secundarios tras la intervención?

No se vio la presencia de elemento cristalizado, lo cual hubiera sido un efecto de una intervención inadecuada del material, es decir, si el material no hubiera cumplido con su objetivo de consolidar el material, hubieran aparecido áreas con el material cristalizado, lo que nos quería decir que no ingresó el material y se quedó en la superficie. Pero en este caso no sucedió eso, no se cristalizó el material, lo cual nos aseguró que las condiciones de intervención fueron las adecuadas.

F. Reflexión Crítica y Recomendaciones

20. Considerando su experiencia en este proyecto, ¿qué aspectos modificaría si tuviera que intervenir una cúpula similar?

No respondió directamente

21. ¿Qué técnicas o materiales emergentes considera que podrían ser aplicables en futuras intervenciones?

En casos de mayor problema estructural o si las fisuras hubieran sido de mayor grosor, si hubiéramos llegado a grietas, pues posiblemente hubiéramos llegado a un reforzamiento con material metálico, es decir, de pronto un engrapado de las fisuras, una colocación de grapas metálicas o una colocación de un reforzamiento metálico tipo espina de pez, es decir, con varillas cruzadas en el centro de la fisura. En este caso eso no se lo hizo, sin embargo, fue una de las posibilidades que se estudiaron en el desarrollo de la propuesta.

22. ¿Qué recomendaciones haría para mejorar los protocolos de intervención en cúpulas patrimoniales de piedra?

A mi criterio es fundamental el determinar previamente el tipo de piedra con el que se está trabajando, el tipo de piedra del inmueble a intervenir, el tipo de morteros utilizados, el estado actual del material. Debemos considerar que la piedra es un material natural que debe respirar, que se garantiza el comportamiento y la permanencia del material.

23. ¿Considera que existen vacíos normativos o técnicos que deberían ser abordados en el ámbito nacional?

En nuestro país, en la intervención del patrimonio edificado, somos ortodoxos en nuestra intervención; pero no debemos tener temor de emplear materiales y sistemas constructivos contemporáneos. Realmente como dicen los políticos, estas reuniones internacionales no son de cumplimiento obligatorio, no es que estemos obligados a uno u otro tipo de intervención.

G. Cierre

24. ¿Hay algún aspecto relevante de su experiencia en este proyecto que no hemos abordado y que considere importante mencionar?

Ya en la parte final yo podría decir que no debemos tener temor del uso de la tecnología en la intervención en el patrimonio edificado. Desde hace mucho tiempo, desde las primeras reuniones internacionales, en donde básicamente lo que se hizo no era determinar normas o leyes de intervención, sino lo que se hacía es compartir experiencias y a través del mutuo compartir de experiencias, sacar conclusiones en beneficio del patrimonio edificado.

Tómese en cuenta que el material, la piedra, es un material muy utilizado en la sierra ecuatoriana y la realización de esta temática técnica va a ser muy positiva para futuras intervenciones. Espero haya cumplido con los objetivos de la entrevista y buenas noches, gracias por su atención.

Iglesia: Basílica del Sagrado Corazón de Jesús (Riobamba) (Entrevista 1)

A. Perfil Profesional y Experiencia

1. ¿Podría indicarme su nombre completo, describir su formación profesional y experiencia específica en restauración y conservación de patrimonio arquitectónico?

Bueno, mi nombre es Arq. Diego Gustavo Villacís Merchán. Soy arquitecto graduado en la Universidad Central. Luego de algún tiempo de experiencia, sobre todo laboral y de estudios en Italia, tuve la oportunidad ya desde el 2008 de trabajar en los procesos de inventario con el decreto de emergencia y posteriormente en algunos estudios y sobre todo ya en cargos de dirección, tanto en el municipio de Riobamba, en la Zonal 3 del Instituto Nacional de Patrimonio y como consultor.

2. ¿Cuál fue su rol específico en la intervención de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús? ¿En qué fases del proyecto participó?

Bueno, realmente mi participación se da a partir del cargo como director de Gestión de Patrimonio desde el 2014, en el que estuve con el rol de director de esa nueva área y en la que se propone realizar los estudios para la consolidación estructural y reforzamiento de las cúpulas y cupulines de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús, en la ciudad de Riobamba. Este estudio justamente nace a partir de una evidencia, sobre todo ya visual, de la afectación que tenía este importante inmueble, y luego, justamente ya de una decisión sobre todo técnica y también administrativa, de invertir recursos en primera instancia para lograr el reforzamiento y la consolidación estructural.

Entonces, mi experiencia va ligada al ser el administrador y la persona en la cual propusimos al municipio que se realicen primero los estudios, luego, posteriormente, estar al frente de la exposición de los resultados de estos estudios a la comunidad jesuita, estar junto a la comunidad jesuita para la recaudación de los presupuestos y de los valores para poder financiar, en virtud de que el municipio no aportó con todo el presupuesto, sino con el cincuenta por ciento de los costos que determinó este estudio y el otro cincuenta por ciento, la comunidad jesuita. Y luego, ya cuando se da el proceso de intervención en el rol como director técnico del Instituto Nacional del Patrimonio, con la supervisión técnica de este reforzamiento estructural de las cúpulas y cupulines de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús.

3. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con estructuras patrimoniales de piedra, específicamente con cúpulas?

Tengo una experiencia más o menos de unos de diez a quince años trabajando solo en los temas de patrimonio y específicamente en estructuras patrimoniales de piedra, como las cúpulas. Creo que es la mayor experiencia, se determinó desde el 2014 hasta el 2019, que estuve tanto al frente del municipio de Riobamba, en la Dirección de Patrimonio y en el INPC. Sobre todo, ya en las intervenciones que se dan en algunas obras, no solamente en las cúpulas, se da en el tema de la consolidación de la fachada de la Iglesia Matriz o de la

Catedral de la ciudad de Riobamba. También en otras obras y estudios que se realizaron, como ejemplo, en el tema del Teatro León, aunque sobre todo con la revisión de lo que pasó en algunos proyectos privados también, sobre todo en las bases de las estructuras. Entonces, eso también creo que como experiencia nos ayudó bastante para plantearnos algunas inquietudes al respecto.

B. Diagnóstico y Evaluación Inicial

4. ¿Qué metodologías utilizaron para el diagnóstico estructural inicial de la cúpula? (estudios previos, ensayos, análisis patológicos)

Luego, esta respuesta creo que hay que irla, sobre todo ya ligada a todo el conglomerado que captó el estudio, que fue un estudio integral que fue contratado con la ingeniera Nora Manosalvas y en la cual, con un equipo también especializado, ella estructuró todo un estudio, obviamente, desde sus objetivos, sus análisis ya más amplios, hasta seguir aterrizando, creo yo, con un componente mucho más específico, que es el análisis estructural de las cúpulas y cupulines, que es realmente también un tema que estuvo a cargo del ingeniero Washington Lincango, como consultor estructural, en donde suscribe en octubre del 2016 su informe con todos los anexos y en el cual justamente utilizaron estudios primeros de suelos, estudios de los núcleos de los muros portantes, estudios de núcleos en la conformación de las cúpulas, estudio de núcleos en la conformación de las losetas, el análisis y las recomendaciones, sobre todo para las soluciones y los reforzamientos estructurales que se realizaron.

En este caso, yo creo que fue en este proceso estudios muy completos, estudios en los que, sobre todo, permitieron tener una objetividad mucho más técnica y con una solución también aplicada a dar una respuesta hacia esta patología que se estaba evidenciando, justamente en las cúpulas y en los cupulines. Entonces, luego de todo, todo, justamente el recorrido que se da, tanto las tomas de muestras, el análisis de los componentes físicos, de los componentes también estructurales, de las modelaciones que se dieron, creo que es importante que se resalte que este diagnóstico creo que marca un referente que es importante también en este sentido.

5. ¿Cuáles fueron las principales patologías estructurales identificadas en la cúpula antes de la intervención?

El proceso, sobre todo visual, podemos un poquito ya marcar desde la preocupación, digamos, directa, en la que se evidenciaba estos fisuramientos verticales en las cúpulas, que eran sobre todo evidentes. Pero ya en sitio, uno de los elementos que sí nos llamaba la atención, tanto como técnicos, como personas que conocíamos un poco de esto, era el proceso en el cual las edificaciones contemporáneas que se realizaron posteriormente a la construcción de este edificio patrimonial, estaban ancladas a este edificio.

Entonces, en este caso, la construcción tanto de la escuela o colegio, que son estructuras en hormigón armado, estaban ancladas a la basílica, estaban trabajando de manera conjunta, y

este proceso justamente sí nos preocupaba, porque, bueno, conocemos también un poco que esto muestra una incompatibilidad y un manejo estructural que no es el correcto para estas edificaciones. Entonces, las primeras visualizaciones se fueron evidenciándose y justamente el estudio es el que permite realizar una evaluación mucho más precisa, una evaluación desde la estructura muraria, la composición de su técnica constructiva, así como cada uno de los elementos que componen un correcto funcionamiento de esta estructura patrimonial. Esta estructura hay que resaltar que se levanta desde un tambor con pilastras o columnas, digamos, pilastras, sobre todo portantes, de espesores entre un metro y un metro veinte.

Entonces, y sobre todo, hay un dato interesante, que es de menester o que resaltó, sobre todo, es el dimensionamiento inicial que se podía percibir de estos análisis, de estas perforaciones que se realizó, las cúpulas con espesores, sobre todo en la capa donde se encontraban las cúpulas. Los cupulines con espesores de cerca de trece centímetros y los nervios, todo el aparataje con dimensiones de casi de veinte centímetros. Entonces, estructuras que fueron en su época estructuralmente también conformadas, estructuralmente ya con un cierto redimensionamiento, pero que no cuentan o no contaron con añadidos o con otros tipos de elementos, o sistemas o instrumentos que permitan brindar una solución, digamos, que permita una adecuada preservación. Entonces, es ahí donde se evidencian estas grietas, grietas que eran incluso mayores a cinco centímetros, desprendimientos de los tejuelos, agrietamientos en muchas partes, en las zonas planas de esta estructura patrimonial y que, justamente, ya a nivel visible, eran muy evidentes con temas de mamposterías que estaban con humedad, con los techos con humedad, etcétera.

Entonces, estos diagnósticos, estas patologías, sí fueron identificadas. Creo que hubo un muy buen diagnóstico y, sobre todo, un análisis de las lesiones, ligados también a todo un proceso de análisis de cargas, de cargas gravitacionales, de cargas horizontales, de una modelación también que se realizó por parte del equipo consultor. Las tomas de muestras no solamente se dan en las cúpulas, también en las losetas se dieron las tomas de muestras, también en las bases, junto a las mamposterías, también donde se pudo ver el dimensionamiento de las bases de los muros donde se sustenta toda esta estructura. Entonces, es importante anotar que no solamente se analizan las patologías estructurales, sino todo el funcionamiento de la estructura patrimonial que sostiene estas cúpulas, que sostiene toda la estructura, que sostiene su conformación. El detalle también de cada una de las patologías ubicadas a nivel de planos fue evidentemente muy bien evidenciada, con planos temáticos que permitieron justamente determinar estas causas de fisuras y poder hacer un adecuado diagnóstico.

6. ¿Se realizaron estudios de caracterización de materiales originales? ¿Qué aspectos consideraron más relevantes?

Bueno, hay un capítulo, creo que, dentro de estos estudios, que también toma el tema de los defectos constructivos y el envejecimiento en sí de los materiales, sobre todo, creo que el uso del ladrillo, la piedra pómez. Pero, sobre todo, creo que el componente que más evidenció, como repito, fue esta anexión de otras estructuras no compatibles, como el hormigón dentro de la basílica. Entonces, creo que esto aún sigue siendo un tema pendiente, pese a que se trabajó en el reforzamiento. Las microfisuras que fueron evidenciadas,

obviamente, presentan un tema de evidencia de su material, sobre todo en piedra pómez, y en los análisis y en las perforaciones se pudo determinar con precisión la composición tanto del tejuelo, de las diferentes capas que tienen igual las cúpulas y al igual que las losetas y en cada uno de ellos. Entonces, creo que la caracterización fue evidente, aunque creo que lo más relevante es el tema de esta incompatibilidad que se da en la estructura.

7. ¿Cómo evaluaron el nivel de riesgo estructural de la cúpula? ¿Utilizaron alguna matriz o sistema de valoración específico?

Yo creo que más allá de todo el análisis histórico, técnico, ampliado, es el análisis estructural que se compone justamente de algunos componentes que permitió este adecuado diagnóstico, sobre todo revisando las lesiones estructurales, modelando las hipótesis mediante hipótesis de carga y con todos los modelos matemáticos, determinando las posibles causas, que creo que no era una sola, sino algunas causas, evidenciando sus defectos constructivos, el comportamiento del sistema estructural y siendo mucho más propositivo dentro del diagnóstico estructural. Creo que ahí está la clave de este mecanismo, no solamente centrarnos en el diagnóstico, sino llegar ya en el diagnóstico mismo a tratar de evidenciar ya una propuesta, que creo que fue uno de los componentes mucho más acertados dentro del propio estudio para que se pueda ejecutar. Entonces, no hay que ir más allá que de la evidencia técnica y con técnicos realmente especializados, llegar a una alternativa o una propuesta dentro del diagnóstico, entonces, porque ya es ahí donde se evidencia justamente una solución muy práctica para poder reducir tanto el riesgo estructural, como la reducción o presentar también alternativas de reforzamiento, que es lo que justamente se da.

C. Criterios y Decisiones Técnicas

8. ¿Qué criterios técnicos, normativos y patrimoniales guiaron la selección del sistema de reforzamiento aplicado?

Más allá que creo que el tema inicial dentro de los estudios sí marca unos mecanismos a nivel de la ley de patrimonio, las normas que estaban en el GAD en ese momento, cartas internacionales, son componentes que aún no lograron aterrizar ya dentro del diagnóstico, sino que fue más una propuesta realizada por el equipo consultor que tiene ya experticia en ese tema. Entonces, aún los lineamientos fueron muy generales, sobre todo en el campo normativo para este tipo de intervenciones. A nivel amplio, creo que son útiles, son importantes las guías, sobre todo dentro de un mecanismo en el cual se estructuran diferentes fases dentro de este estudio.

No creo que pueda centrarme mucho en eso, pero creo que es importante que toda esta composición dentro de un estudio, desde lo macro hasta el tema propositivo, tiene que ser analizado de debida forma, más allá de la normativa. Entonces, la razón técnica creo que primó en este sentido y, sobre todo, con el componente estructural le dio una valoración mucho más efectiva. Entonces, creo que la clave en esto, y dentro de este tema, sobre todo, hay que resaltar el análisis estructural, el informe estructural, que es realmente el nudo neurálgico de esta intervención.

9. ¿Se consideraron múltiples alternativas de reforzamiento? ¿Cuáles fueron descartadas y por qué razones?

Bueno, yo creo que, al poder realizar un diagnóstico, la alternativa fundamental o más fuerte que se pudo evidenciar fue el tener la junta de dilatación entre la estructura contemporánea y la estructura patrimonial. Creo que era uno de los elementos mucho más centrales en esto, el poder que las edificaciones estén separadas porque tienen un comportamiento estructural muy diferente. Sin embargo, las alternativas en este caso fue el reforzamiento y con la utilización de fibras de carbono tipo Carboweb 600 y fibra de vidrio tipo Epowrap o similares.

Entonces, creo que este planteamiento fueron los más efectivos para esta propuesta de reforzamiento, porque ya los análisis técnicos, los análisis, sobre todo dentro del componente estructural, guió al equipo consultor a plantear ya, digamos, y con la experiencia que este equipo ha tenido, creo que en algunos casos ya, la utilización de estas alternativas. Parece que sí se pudo haber también mejorado en algunos componentes, aunque, bueno, a nivel técnico, uno de los temas más interesantes que creo que se podría realizar son con los sistemas de adherencia o de reforzamiento que se pueden implementar. Hay que resaltar también que el proceso de decisión no solamente fue el intervenir en las grietas, sino dar una solución total a este componente de las cúpulas y de los cupulines y la cubierta del techo.

Entonces, la mirada mucho más ampliada de poder intervenir, no solamente a este elemento, digamos, a las cúpulas, o para poder resanar solamente la grieta, fue más allá, o sea, fue a dar una solución global a este componente. Entonces, creo que este tema fue discutido, aunque creo que la guía mucho más fuerte fue la experiencia y el razonamiento técnico del cálculo estructural, y que la mejor alternativa para lograr un reforzamiento adecuado, dada la complejidad, fue la utilización de fibra de carbono y fibra de vidrio para este reforzamiento.

10. ¿Cómo se equilibraron los criterios de eficiencia estructural con los de preservación del valor patrimonial?

Bueno, yo creo que el edificio nunca estuvo en riesgo a nivel de que este estudio y la propuesta iba ligado a trabajar en el componente de reforzamiento estructural y de protección del primer elemento que soporta tanto la seguridad para las personas como para los bienes patrimoniales que se encuentran dentro de sí y para el mismo bien, que es el tema de sus cúpulas y sus cupulines, que creo que es ahí donde jugaron un papel fundamental el lograr que la intervención sea sobre estos componentes, es decir, sobre la quinta fachada, que permita lograr una solución técnica y una solución también equilibrada en el mismo sentido a nivel social y de su intervención en la participación del municipio, que tenga su presupuesto, como del propietario del bien. Entonces, creo que aquí, más allá del componente estructural, que creo que fueron los válidos, también contaron con componentes sociales y de participación para lograr este objetivo, que creo que es también uno de los elementos claves y como decisiones técnicas administrativas que se marcó en ese momento.

11. ¿Qué papel jugaron las normativas nacionales e internacionales de patrimonio en las decisiones técnicas?

Bueno, yo creo que son fundamentales como guías, son fundamentales dentro del análisis de experiencia, también dentro del referente y de la caracterización de repertorio de estas edificaciones. No hay muchas, creo que en el Ecuador han de ser contadas, pero creo que estas pueden apoyar mucho, sobre todo dando una suerte de especialización en este reforzamiento ligado a las cúpulas, ligado no solamente a las iglesias, sino también a diferentes edificaciones, que permite contar con este elemento arquitectónico que es, sin lugar a duda, muy, muy importante y que es también complicado poder manejar. Entonces, creo que las normativas dieron una guía, dieron un tema ampliado, pero no influyeron en mayor medida en las decisiones técnicas, sino salvo los criterios de las personas que estuvimos apoyando en el equipo, tanto a nivel técnico como luego a nivel social.

12. ¿Se consultó con organismos patrimoniales (INPC, municipios, etc.) durante el proceso de diseño de la intervención?

Bueno, el municipio participó en su conformación mucho más amplia. El municipio fue el gestor, justamente de estos estudios y luego el que ejecutó, el que también estuvo coadyuvando con el comité conformado por los jesuitas para poder lograr esta obra. El INPC también estuvo informado, aunque en esa época a veces se estaba dando un tema de transferencia de competencias y creo que en ese sentido permitió que el municipio tenga una suerte de libertad de poder seguir avanzando, tanto en el planteamiento del estudio, en su aprobación, como en su implementación.

Entonces, se dio con absoluta corresponsabilidad, creo que también con una adecuada coordinación entre el equipo consultor, el equipo que revisaron estos estudios y luego ya con el proceso de contratación, en donde sí hay que recalcar que mientras estos procesos estén ligados a un tema de la propia dirección de patrimonio, a temas del personal que esté capacitado y que tenga la sensibilidad, puede ser un modelo también a seguir en este sentido. Entonces, la participación de los organismos es importante, pero siempre hay que resaltar que hay que lograr estos objetivos, sobre todo dentro del punto de vista administrativo, en el menor tiempo, porque se contaba ya con la presión de tener un estudio, de tener un compromiso financiero de ambas partes, tanto del municipio como de la comunidad jesuita, por parte de los padres de familia, por parte de la institución y luego ya por parte de la propia Iglesia, que participó en este sentido.

D. Implementación y Desafíos

13. ¿Cuáles fueron los principales desafíos técnicos enfrentados durante la ejecución del reforzamiento?

Bueno, yo creo que uno de los elementos principales fue el manejo de la sobrecubierta, una sobrecubierta que no es sencilla, una sobrecubierta que creo que se pudo. Hubo algunos temas, por ejemplo, sus amarres, que no se los hicieron con soguillas, sino con alambre, por

unos temas de recomendaciones que ya se dio en su época, ya como INPC, que creo que es uno de los elementos claves. Y que también estos desafíos también están ligados a contar con contratistas especializados. Y aquí yo creo que fue un rol fundamental, en que ya la parte decorativa, la parte del resultado, era lo que no, una vez ya visitando la cúpula, subiéndote a la cúpula, viendo cómo estaban, sí quedó aún un componente en que mejorar, en que los trazados estén mucho más homogéneos, pese a que se había retirado el tejuelo, se había preparado adecuadamente la superficie, manejado los epóxicos. Ya la recolocación de un nuevo tejuelo, la recolocación de un nuevo recubrimiento con un patrón, pese a que es similar, ya de cerca sí presenta ciertas diferencias, por la complejidad mismo de poder ir conformando nuevamente la cúpula. Esto no se lo nota, digamos, a lo lejos, pero ya de cerca, cuando estás ya en los andamios, cuando ves estos temas, sí se lo nota. Entonces, yo creo que ahí, este es uno de los componentes que hay que resaltar, pero en líneas generales, sí hubo un adecuado manejo ya de esta intervención en su ejecución.

14. ¿Se presentaron incompatibilidades entre los materiales de reforzamiento y los materiales originales?

No, porque realmente se hizo un muy buen tratamiento, tanto para el retiro del tejuelo, la preparación de la superficie y la colocación del epóxico para recolocar nuevamente, para colocar la fibra de vidrio y la fibra de carbono de acuerdo a las especificaciones técnicas y luego ya para el recubrimiento. Creo que ahí estuvo adecuadamente la intervención, creo que era la parte un poco más delicada. La colocación de la fibra de carbono y fibra de vidrio se la hizo de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes de los productos, su pegado, su disposición, etcétera. Yo creo que se hizo un muy, muy buen trabajo, pero sí aún te queda un poquito es este tema del trazado, que se pudo haber mejorado, que en líneas generales estuvo muy bien.

15. ¿Cómo se manejaron los aspectos de reversibilidad y mínima intervención durante la ejecución?

Bueno, la reversibilidad creo que, más allá de que el tejuelo que fue nuevamente colocado no correspondía en la cromática al que fue retirado, obviamente por el tiempo, por el proceso de envejecimiento, por la propia fábrica, que ya no fue la misma la que ejecutaron estos tejuelos. Se pudo notar, aunque en líneas generales se trató de utilizar el mismo color, las mismas franjas, el mismo color de las franjas, y asimismo, tanto en las cúpulas y en los cupulines, se trató de seguir con este, de no causar un mayor impacto y es lo que creo que se pudo evidenciar. Obviamente, la sobrecubierta colocada te permite ver eso, pero ya en su intervención, estos elementos de reversibilidad creo que pueden ser también aplicados, porque puedes volver a retirar el tejuelo en años posteriores, puedes volver a hacer un análisis de cómo se encuentra este reforzamiento. Obviamente, en ciertas zonas, pero creo que quedó ya delineado y quedaron los planos en el municipio, que permite tener una precisión mucho más precisa.

16. ¿Qué medidas de control de calidad se implementaron durante la aplicación del reforzamiento?

Bueno, yo creo que el componente del seguimiento de las especificaciones técnicas que dictaban para los epóxicos, que permitieron la colocación de estas, temas de la fibra de vidrio y la fibra de carbono, porque son los fundamentales. Las visitas eran permanentes, tanto del equipo de fiscalización del propio municipio, luego como INPC, para poder revisar los materiales y que sigan justamente con este control. Creo que es lo que más se pudo realizar, a nivel de control. Obviamente, el tema ya, como repetía, el tema ya del trazado, de algunas cosas, se pudo mejorar, pero en líneas generales estuvo muy bien planteado. También hay que resaltar el apoyo por parte de los propietarios, en este caso de la comunidad jesuita, que también daban un cierto seguimiento. Hay un equipo técnico dentro de la comunidad que permite también dar un seguimiento y que permitió también dar el aval de esta intervención.

E. Evaluación de Resultados y Seguimiento

17. ¿Cómo evaluaría la efectividad del sistema de reforzamiento implementado en términos de: estabilidad estructural, preservación del valor patrimonial, durabilidad esperada?

Creo que logró el objetivo, un objetivo evidente, que fue el reducir este impacto de las grietas, tanto en cúpulas, cupulines. Falta un poco más. Yo creo que el objetivo luego también de esto era poder hacer que este lugar sea mucho más transitable o turísticamente visitable, como en otros lados, pero ya el presupuesto no avanzaba. Tal vez también un poco de la perspectiva de uso de manera particular, en caso como director en esa época, era de que se pueda hacer un sitio turístico, un sitio controlado y que permita tener ciertos ingresos para un mantenimiento, obviamente con las seguridades, pero eso ya implicaba ejecutar algunas otras acciones y obviamente, el tema de la generación de esta junta de dilatación a nivel estructural, creo que aún es un tema pendiente. Sin embargo, ya la estabilidad estructural y el riesgo, sobre todo para tanto personas como para algunos bienes muebles o la estructura en sí, está en la medida de lo posible, estable. Sí sería importante hacer una evaluación si es que se presentara algún tipo de sismo, algún tipo de evento natural, que permita justamente ver una evaluación mucho más precisa.

A nivel de preservación del valor patrimonial, creo que se logró el objetivo. Más allá del bien, creo que uno de los modelos claros de preservación es la cooperación entre el municipio y el ente privado o el tenedor del bien inmueble. En este caso, una comunidad que también apalancó desde lo local como desde lo nacional. Aproximadamente, con más de trescientos sesenta mil dólares costó esta obra. El municipio apoyó con el cincuenta por ciento y el otro cincuenta por ciento tenía que poner la comunidad. Esto se dividió en dos partes: este cincuenta por ciento restante, el veinticinco por ciento se lo apoyó desde los padres de familia, desde la propia institución, con rifas, algunas campañas, y una vez que se completó, digamos, ya este setenta y cinco por ciento, el veinticinco por ciento vino por añadidura por parte de la autoridad nacional religiosa. Entonces, creo que este es un tema clave dentro de un modelo de gestión que permita lograr este tipo de intervenciones.

Obviamente, la idea no fue sencilla, el venderles a las autoridades, porque se estuvo en un proceso mucho más ampliado, en el cual la comunidad al principio no estaba segura. Sin embargo, se pudo convencer, se pudo luego tener ya un diálogo técnico y se llegó a buen término.

La durabilidad esperada creo que es, dentro de las recomendaciones, sería prudente realizar, por lo menos ya a los diez años de ejecutado el estudio, un análisis de este proceso. Creo que esta investigación puede apoyar mucho en ese sentido, que permita también hacer una visita y ver si realmente se cumplieron algunos elementos. No he podido visitar en últimos tiempos este bien, pero creo que en la mayor franqueza, es una de las mejores obras, digamos, que ha permitido ejecutar de manera técnica estos reforzamientos. Esperemos que tenga un análisis cada diez, cada década, estas estructuras, y poder ir ejecutando sus alternativas o sus soluciones, que vayan mejorando la habitabilidad, que vaya mejorando su conservación al interno y al externo.

18. ¿Se ha realizado algún tipo de monitoreo post-intervención? ¿Qué resultados se han observado?

No estoy seguro. Creo que ya luego de que hemos ejercido las funciones y no he podido tampoco revisar, me parece que es una alternativa importante, como cualquier tipo de obra, realizar un monitoreo post-intervención, un monitoreo a partir de la información que se encuentre dentro de los archivos, dentro de las investigaciones que realice la academia, dentro de este propio tema que se está ejecutando por parte de este máster, para poder hacer una evaluación. Y poder difundir este proceso también a nivel de otras edificaciones importantes. El tema de la quinta fachada no puede ser solamente un tema de discurso, de imagen, sino de un tema técnico, de un tema que ayude mucho a las edificaciones, sobre todo de gran valor histórico. Hay cantidad de edificaciones que siguen pasando los años y creo que estos temas y estos mecanismos ayudan bastante a entender, organizados desde sus estudios, su proceso de intervención y, claro, su post-intervención, para poder hacer un seguimiento mucho más específico, caso por caso.

19. ¿Han surgido patologías no previstas o efectos secundarios tras la intervención?

Bueno, yo más allá de patologías o algunos, el efecto sí. Por ejemplo, uno de los temas claves es que se desmontó un antiguo órgano o un bien mueble inventariado para no afectarlo en el proceso de intervención, y lo que se ha visto es que aún no se ha recuperado, o sea, no se ha devuelto en el sitio. Creo que es uno de los efectos que, más allá de la intervención, se puede analizar, a nivel de los bienes muebles. Me parece que también hay una preocupación de poder seguir trabajando en estos temas de reforzamiento, por ejemplo, en la pintura mural. El seguir trabajando al interno, porque también hay una intención o hubo una intención de seguir trabajando en la recuperación de la pintura mural, de las cúpulas y los cupulines. Me parece que es muy loable seguir en estos temas y en donde estas bases permitan también dar alternativas.

F. Reflexión Crítica y Recomendaciones

20. Considerando su experiencia en este proyecto, ¿qué aspectos modificaría si tuviera que intervenir una cúpula similar?

Bueno, yo creo que el tema presupuestario es importante el poder analizarlo y cómo la ciudadanía, los tenedores, los propietarios, estén realmente, digamos, empoderados de llevar a cabo este proyecto. Más allá de que se plantee técnicamente o se plantee una preocupación, es el componente social, de que tenga esa voluntad ambas partes o una parte con toda la sinceridad de lograr estos objetivos. Y que no se pierda, que no se pierde, posiblemente, solo en estudios o solo en su visibilidad, digamos, física, sino que quede también legados en investigaciones técnicas, en publicaciones. Esta no creo que fue la primera intervención, pero creo que fue la de mayor análisis técnico, de mayor envergadura, porque esta iglesia también se la recuperó, pero de una manera muy artesanal en los años ochenta. Hoy día creo que sí se hizo un análisis con la participación de ingenieros, de arquitectos, de personas especializadas, que permitió lograr este mejor involucramiento y, obviamente, de la inversión económica de una ciudadanía, de estudiantes comprometidos, de autoridades comprometidas que llegaron a buen término. Creo que una publicación en este sentido sí sería loable. Ojalá se pueda cristalizar.

21. ¿Qué técnicas o materiales emergentes considera que podrían ser aplicables en futuras intervenciones?

Bueno, yo creo que el uso de tecnología de materiales compatibles es fundamental para temas de reforzamiento estructural, de intervenciones en bienes patrimoniales. No hay que cerrarse. Creo que el tema clave aquí fue el componente y diagnóstico técnico que permite elevar desde una mirada muy, digamos, subjetiva, de un posible agrietamiento y a llegar a una solución técnica con materiales contemporáneos, como el uso de fibra de carbono y fibra de vidrio. Yo creo que es el tema fundamental, que no solamente lleva la reflexión en estos tipos de intervenciones, sino creo que a futuras intervenciones mayores. ¿Qué pasa con las cubiertas? ¿Qué pasa con las cabezas de muros? ¿Qué pasa con estos elementos que son los primeros que soportan el impacto del clima, el impacto de la naturaleza, en edificaciones patrimoniales son importantes? Entonces, creo que el uso de tecnología, el uso de materiales, el uso de elementos contemporáneos, en ningún sentido creo que puede afectar cuando haya un buen criterio de preservación de un bien patrimonial.

22. ¿Qué recomendaciones haría para mejorar los protocolos de intervención en cúpulas patrimoniales de piedra?

Bueno, esta cúpula realmente tiene algunos componentes, sobre todo el uso de piedra pómez, ladrillo. Creo que es importante tener claro hasta dónde llega cada uno de los componentes dentro de la cúpula. Puede ser a qué altura de esta cúpula, los tres cuartos, al cuarto. Creo que se pudo mejorar en este sentido para poder hacer un planteamiento mucho más adecuado dentro de su conformación. Las cúpulas, sobre todo en este caso, me parece que llegaban a tres cuartas partes armadas con ladrillo y luego cierran con piedra pómez. Entonces, estos

elementos creo que son muy claves para poder entender, tanto para la intervención como para su mantenimiento.

23. ¿Considera que existen vacíos normativos o técnicos que deberían ser abordados en el ámbito nacional?

Es muy complicado. Yo creo que debe seguirse manteniendo, aunque sí exigir o sí difundir los componentes técnicos de intervención. El momento en el que componentes normativos interfieran en mayor medida puede distorsionar el componente técnico. Yo creo que los elementos normativos más claves pueden darse en que estos estudios sean realizados por gente especializada, que tengan una licencia, que las intervenciones tengan un fuerte análisis y una validación ciudadana de participación, que los compromisos financieros tengan fecha estipulada, por ejemplo, para poder concretarse, etcétera. Es decir, hay unos temas normativos que puedan apoyar mucho más, no tanto en el componente técnico, sino para que las obras lleguen a buen término en el marco del respeto de la intervención patrimonial. Yo creo que eso sí, hay un camino aún largo por recorrer y que permita, sobre todo, dar mucha más practicidad a una intervención con técnicos especialistas, que estén debidamente calificados.

G. Cierre

24. ¿Hay algún aspecto relevante de su experiencia en este proyecto que no hemos abordado y que considere importante mencionar?

Yo creo que la mayor cantidad de información he podido pasarlo. Yo creo que va a ser más bien un gusto de poder compartir la información de las memorias de cada una de estas intervenciones. Esta entrevista, sobre todo, va ligado a poder tener una mirada como el técnico, en primera instancia ciudadano, luego técnico, director y, cómo no, también padre de familia, que estaba en esa institución involucrado con sus hijos en esa institución, que permitió abordar, digamos, con una suerte de mayor empoderamiento a esta obra. Creo que este es uno de los elementos también claves, aunque a veces sí, sin buscar este componente de reconocimiento, pocas veces se evidencia, pocas veces se resalta, pero yo creo que debe ser más analizado. No fue un camino sencillo, no se realiza estas intervenciones de la noche a la mañana. Creo que demoró mucho tiempo, pero fue una intervención que permitió ir, en el tiempo que estuvimos, desde su planteamiento, desde su gestión hasta su ejecución y su inauguración. Y obviamente, sí daría satisfacción analizar o ver qué resultados dio luego, qué resultados se tiene. Posiblemente, estos mejoramientos, sobre todo ligados a más temas técnicos, porque a veces se puede dar temas mucho más decorativos, una iluminación o por ahí alguna limpieza que no apoye más el componente técnico. Creo que hay un tema estructural que es importante aún solventarlo, pero que en gran medida yo creo que la comunidad lo tiene mucho más claro.

Iglesia: Basílica del Sagrado Corazón de Jesús (Riobamba) (Entrevista 2)

A. Perfil Profesional y Experiencia:

1. ¿Podría indicarme su nombre completo, describir su formación profesional y experiencia específica en restauración y conservación de patrimonio arquitectónico?

Mi nombre es Alexander Guaña Meza. Soy restaurador museólogo de bienes culturales, con formación en conservación y restauración de patrimonio, complementada con estudios en museología, gestión documental y patrimonio arquitectónico. Cuento con experiencia en intervención, supervisión y fiscalización de proyectos de conservación de bienes inmuebles patrimoniales, especialmente en arquitectura religiosa, estructuras de piedra, morteros históricos y elementos constructivos tradicionales.

2. ¿Cuál fue su rol específico en la intervención de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús? ¿En qué fases del proyecto participó?

Mi rol dentro del proyecto fue el de fiscalización técnica y patrimonial de la intervención realizada en la iglesia, participando principalmente en las fases de:

- Revisión del diagnóstico inicial
- Análisis de criterios técnicos y patrimoniales propuestos
- Seguimiento de la ejecución del reforzamiento
- Verificación del cumplimiento de principios de conservación (mínima intervención, compatibilidad, reversibilidad y respeto al bien patrimonial)

3. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con estructuras patrimoniales de piedra, específicamente con cúpulas?

Cuento con aproximadamente 10 años de experiencia trabajando con estructuras patrimoniales de piedra, incluyendo muros portantes, bóvedas y cúpulas, tanto en procesos de intervención directa como en supervisión y evaluación técnica.

B. Diagnóstico y Evaluación Inicial:

4. ¿Qué metodologías utilizaron para el diagnóstico estructural inicial de la cúpula? (estudios previos, ensayos, análisis patológicos)

Para el diagnóstico estructural inicial se emplearon metodologías combinadas, entre ellas:

- Revisión de estudios previos y antecedentes históricos del inmueble
- Inspección visual detallada y levantamiento fotográfico
- Identificación de lesiones constructivas y patologías
- Análisis patológico de grietas, fisuras y deformaciones
- Evaluación del comportamiento estructural a partir de la geometría de la cúpula y su sistema constructivo

5. ¿Cuáles fueron las principales patologías estructurales identificadas en la cúpula antes de la intervención?

Entre las patologías más relevantes se identificaron:

- Fisuras radiales y circunferenciales
- Pérdida de cohesión en morteros
- Humedad acumulada y filtraciones
- Debilitamiento del sistema portante por envejecimiento de materiales
- Intervenciones anteriores inadecuadas o incompatibles

6. ¿Se realizaron estudios de caracterización de materiales originales? ¿Qué aspectos consideraron más relevantes?

Sí se realizaron estudios de caracterización de materiales originales, poniendo especial énfasis en:

- Tipología de piedra
- Composición y comportamiento de los morteros
- Estado de cohesión, porosidad y compatibilidad con nuevos materiales

Estos aspectos fueron clave para evitar incompatibilidades físico-químicas.

7. ¿Cómo evaluaron el nivel de riesgo estructural de la cúpula? ¿Utilizaron alguna matriz o sistema de valoración específico?

El nivel de riesgo se evaluó mediante una valoración cualitativa y técnica, considerando:

- Grado de fisuración
- Evolución de las lesiones
- Ubicación de las patologías
- Riesgo potencial de colapso parcial

Se aplicó un sistema de priorización basado en urgencia, vulnerabilidad y valor patrimonial.

C. Criterios y Decisiones Técnicas

8. ¿Qué criterios técnicos, normativos y patrimoniales guiaron la selección del sistema de reforzamiento aplicado?

Los criterios que guiaron la selección fueron:

- Compatibilidad de materiales
- Respeto a la autenticidad del bien
- Mínima intervención
- Reversibilidad

- Cumplimiento de normativas patrimoniales nacionales e internacionales

9. ¿Se consideraron múltiples alternativas de reforzamiento? ¿Cuáles fueron descartadas y por qué razones?

Sí se analizaron varias alternativas, descartándose aquellas que:

- Eran invasivas
- Generaban sobrecarga estructural
- Alteraban la lectura histórica del bien
- Introducían materiales incompatibles (cementos rígidos, sistemas irreversibles)

10. ¿Cómo se equilibraron los criterios de eficiencia estructural con los de preservación del valor patrimonial?

El equilibrio se logró priorizando soluciones que estabilicen sin transformar, reforzando el comportamiento estructural sin alterar la volumetría, textura ni materialidad original.

11. ¿Qué papel jugaron las normativas nacionales e internacionales de patrimonio en las decisiones técnicas?

Se tomaron como referencia:

- Normativa del INPC
- Cartas internacionales (Venecia, Burra, Cracovia)
- Principios de conservación preventiva y restauración científica

12. ¿Se consultó con organismos patrimoniales (INPC, municipios, etc.) durante el proceso de diseño de la intervención?

Sí, el proyecto contó con coordinación y seguimiento por parte de las entidades competentes (INPC y autoridades locales).

D. Implementación y Desafíos

13. ¿Cuáles fueron los principales desafíos técnicos enfrentados durante la ejecución del reforzamiento?

- Accesibilidad a la cúpula
- Fragilidad del material original
- Condiciones ambientales
- Necesidad de intervenir sin interrumpir funciones religiosas

14. ¿Se presentaron incompatibilidades entre los materiales de reforzamiento y los materiales originales?

Se detectaron incompatibilidades en intervenciones antiguas, las cuales fueron corregidas. El sistema aplicado buscó evitar nuevas incompatibilidades.

15. ¿Cómo se manejaron los aspectos de reversibilidad y mínima intervención durante la ejecución?

Se garantizó mediante:

- Uso de materiales compatibles
- Intervenciones localizadas
- Evitar soluciones permanentes irreversibles

16. ¿Qué medidas de control de calidad se implementaron durante la aplicación del reforzamiento?

Se implementaron controles constantes de:

- Dosificación de materiales
- Procedimientos de aplicación
- Registro fotográfico
- Supervisión técnica continua

E. Evaluación de Resultados y Seguimiento

17. ¿Cómo evaluaría la efectividad del sistema de reforzamiento implementado en términos de:

- **Estabilidad estructural:** adecuada y coherente con el diagnóstico
- **Valor patrimonial:** preservado sin alteraciones visibles
- **Durabilidad:** favorable, siempre que exista mantenimiento periódico

18. ¿Se ha realizado algún tipo de monitoreo post-intervención? ¿Qué resultados se han observado?

Se recomendó un sistema de monitoreo visual y técnico periódico, observándose estabilidad en las fisuras tratadas.

19. ¿Han surgido patologías no previstas o efectos secundarios tras la intervención?

Hasta el momento no se han identificado patologías significativas no previstas, aunque se insiste en el seguimiento a mediano plazo.

F. Reflexión Crítica y Recomendaciones

20. Considerando su experiencia en este proyecto, ¿qué aspectos modificaría si tuviera que intervenir una cúpula similar?

Reforzaría la fase de estudios previos con mayor instrumentación y monitoreo inicial.

21. ¿Qué técnicas o materiales emergentes considera que podrían ser aplicables en futuras intervenciones?

- Fibras de refuerzo compatibles
- Morteros de cal formulados específicamente
- Sistemas de monitoreo estructural no invasivos

22. ¿Qué recomendaciones haría para mejorar los protocolos de intervención en cúpulas patrimoniales de piedra?

- Mayor énfasis en conservación preventiva
- Protocolos específicos para cúpulas
- Integración real entre ingenieros y restauradores

23. ¿Considera que existen vacíos normativos o técnicos que deberían ser abordados en el ámbito nacional?

Sí, existen vacíos en:

- Lineamientos técnicos específicos para cúpulas
- Protocolos estandarizados de fiscalización patrimonial
- Formación especializada en patrimonio construido

G. Cierre

24. ¿Hay algún aspecto relevante de su experiencia en este proyecto que no hemos abordado y que considere importante mencionar?

Considero fundamental destacar que la fiscalización patrimonial no debe limitarse al control técnico, sino que debe garantizar que cada intervención respete el valor simbólico, histórico y social del bien, entendiendo que estas cúpulas no son solo estructuras, sino testimonios vivos de la memoria colectiva.

Iglesia: Iglesia Catedral de Latacunga (entrevista 1)

A. Perfil Profesional y Experiencia

1. ¿Podría indicarme su nombre completo, describir su formación profesional y experiencia específica en restauración y conservación de patrimonio arquitectónico?

Mi nombre es Ing. Fernando Endara. Soy ingeniero civil con mención en estructuras, y he participado en conservación, restauración e intervención de edificaciones patrimoniales, particularmente en sistemas estructurales históricos de mampostería, en el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

2. ¿Cuál fue su rol específico en la intervención de una iglesia patrimonial? ¿En qué fases del proyecto participó?

El rol del ingeniero estructural, es el diagnóstico estructural, la definición de criterios de intervención y el diseño de sistemas de reforzamiento. El ingeniero estructural debería participar en las fases iniciales de evaluación y estudios previos, hasta el acompañamiento técnico durante la ejecución de las obras.

3. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con estructuras patrimoniales de piedra, específicamente con cúpulas?

Un ingeniero estructural debería contar con alrededor de 10 años de experiencia en estructuras patrimoniales, de los cuales aproximadamente 5 años corresponden al trabajo específico con cúpulas y bóvedas de mampostería de piedra.

B. Diagnóstico y Evaluación Inicial

4. ¿Qué metodologías utiliza para el diagnóstico estructural inicial de una cúpula patrimonial?

El diagnóstico se basa en una combinación de inspección visual detallada, levantamiento patológico de fisuras, análisis geométrico y constructivo, revisión histórica de intervenciones previas y, cuando es posible, ensayos no destructivos. Todo esto se complementa con un análisis estructural conceptual enfocado en los mecanismos resistentes propios de las cúpulas históricas.

5. ¿Cuáles suelen ser las principales patologías estructurales identificadas en cúpulas de piedra?

Las patologías más comunes incluyen fisuras meridionales y circunferenciales, pérdida de cohesión en morteros, debilitamiento en zonas de arranque, deformaciones asociadas a empujes no confinados, efectos de sismos y daños acumulativos por intervenciones previas inadecuadas.

6. ¿Se realizan estudios de caracterización de materiales originales? ¿Qué aspectos considera más relevantes?

Sí, la caracterización de materiales es fundamental. Los aspectos más relevantes suelen ser la resistencia mecánica, la porosidad, la compatibilidad físico-química, el estado de degradación y la capacidad de deformación, ya que estos factores condicionan tanto el diagnóstico como las soluciones de intervención.

7. ¿Cómo evalúa el nivel de riesgo estructural de una cúpula?

El riesgo se evalúa mediante una valoración cualitativa y semicuantitativa, considerando la gravedad y extensión de las patologías, su evolución, la función estructural de los elementos afectados y las consecuencias de una posible falla. En muchos casos se emplean matrices de riesgo para priorizar las intervenciones.

C. Criterios y decisiones técnicas

8. ¿Qué criterios técnicos, normativos y patrimoniales guían la selección del sistema de reforzamiento?

Los criterios principales son la compatibilidad con los materiales originales, el respeto al sistema estructural histórico, la mínima intervención, la reversibilidad, la durabilidad y la eficacia estructural, siempre en concordancia con las normativas técnicas y patrimoniales vigentes.

9. ¿Se consideran múltiples alternativas de reforzamiento? ¿Por qué se descartan algunas?

Sí, se analizan varias alternativas. Generalmente se descartan aquellas que resultan demasiado invasivas, que introducen rigideces excesivas, que no son reversibles o que pueden generar incompatibilidades mecánicas o químicas con los materiales originales.

10. ¿Cómo se equilibran los criterios de eficiencia estructural con la preservación del valor patrimonial?

El equilibrio se logra entendiendo que, en patrimonio, la solución óptima no siempre es la más rígida o resistente, sino aquella que mejora el comportamiento estructural respetando la autenticidad, la materialidad y la lectura histórica del bien.

11. ¿Qué papel juegan las normativas nacionales e internacionales de patrimonio en las decisiones técnicas?

Estas normativas funcionan como un **marco de referencia técnico y ético**, orientando las decisiones hacia intervenciones respetuosas, justificadas y coherentes con los principios de conservación.

12. ¿Se consulta con organismos patrimoniales durante el proceso de diseño de la intervención?
Sí, la consulta y coordinación con organismos patrimoniales es una práctica habitual y necesaria, ya que garantiza la validación técnica y patrimonial de las soluciones propuestas.

D. Implementación y Desafíos

13. ¿Cuáles suelen ser los principales desafíos técnicos durante la ejecución del reforzamiento?
Los principales desafíos incluyen el acceso limitado, la fragilidad de los materiales originales, la complejidad geométrica de las cúpulas, el control de cargas temporales y la necesidad de intervenir sin afectar el uso del inmueble.

14. ¿Se presentan incompatibilidades entre los materiales de reforzamiento y los originales?
Pueden presentarse si no se realiza una adecuada selección. Por ello, se prioriza el uso de materiales compatibles y se realizan pruebas previas para minimizar riesgos.

15. ¿Cómo se manejan los aspectos de reversibilidad y mínima intervención durante la ejecución?

Estos principios se aplican mediante soluciones **discretas, localizadas y técnicamente reversibles**, evitando modificaciones irreversibles de la fábrica original.

16. ¿Qué medidas de control de calidad se implementan durante la aplicación del reforzamiento?
Se implementan controles de materiales, supervisión técnica permanente, registros fotográficos, verificación de procedimientos constructivos y seguimiento del comportamiento estructural durante la obra.

E. Evaluación de Resultados y Seguimiento

17. ¿Cómo evalúa la efectividad del sistema de reforzamiento implementado?
La evaluación se realiza en términos de mejora de la estabilidad estructural, respeto al valor patrimonial y durabilidad esperada, considerando siempre la necesidad de mantenimiento preventivo.

18. ¿Se realiza monitoreo post-intervención?

Sí, el monitoreo post-intervención es fundamental y suele incluir inspecciones periódicas, control de fisuras y seguimiento visual del comportamiento estructural.

19. ¿Han surgido patologías no previstas tras las intervenciones?

En general no, aunque en algunos casos pueden aparecer efectos secundarios menores, lo que refuerza la importancia del monitoreo continuo.

F. Reflexión Crítica y Recomendaciones

20. ¿Qué aspectos modificaría en futuras intervenciones en cúpulas similares?

Incorporaría de manera más sistemática instrumentación de monitoreo estructural y profundizaría los estudios previos, especialmente en el comportamiento dinámico frente a sismos.

21. ¿Qué técnicas o materiales emergentes considera aplicables en el futuro?

Materiales avanzados compatibles con la mampostería histórica, refuerzos con fibras de bajo impacto y sistemas de monitoreo estructural continuo.

22. ¿Qué recomendaciones haría para mejorar los protocolos de intervención?

Estandarizar metodologías de diagnóstico, fortalecer el trabajo interdisciplinario y mejorar la documentación técnica de cada intervención.

23. ¿Considera que existen vacíos normativos o técnicos?

Sí, especialmente en normativas específicas para estructuras históricas de mampostería, lo que obliga a extrapolar criterios de normas modernas no siempre adecuadas.

G. Cierre

24. ¿Hay algún aspecto relevante que considere importante mencionar?

La intervención en cúpulas patrimoniales debe entenderse como un proceso integral, donde el ingeniero no solo resuelve un problema estructural, sino que asume la responsabilidad de preservar un bien cultural para las futuras generaciones.

Iglesia: Iglesia Catedral de Latacunga (entrevista 2)

A. Perfil Profesional y Experiencia:

1. ¿Podría indicarme su nombre completo, describir su formación profesional y experiencia específica en restauración y conservación de patrimonio arquitectónico?

Muy buenas noches, mi nombre es Edison Mena. Yo soy restaurador. Tengo experiencia de alrededor de 30 años de haber abordado intervenciones de patrimonio cultural a nivel de arquitectura en madera y aplicada a monasterios, a conventos, también en lo que corresponde a cubiertas en diferentes iglesias, edificaciones emblemáticas de la ciudad de Quito, Riobamba, Azogues, entre otros.

2. ¿Cuál fue su rol específico en la intervención de la Catedral de Latacunga? ¿En qué fases del proyecto participó?

En la Catedral de la Ciudad de la Latacunga, mis funciones como técnico de apoyo del Instituto de Patrimonio Cultural fue el de acompañar al equipo que realizó el control técnico de la intervención de la cúpula y de la cubierta de la iglesia catedral de la Ciudad de la Latacunga.

3. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con estructuras patrimoniales de piedra, específicamente con cúpulas?

En cúpulas tengo experiencia aparte de haber estado con el equipo de la Catedral de la Latacunga, en la cúpula de la iglesia de Guápulo, en la cúpula de la Compañía de Jesús y también a nivel de atesorado o cubiertas de la iglesia de San Francisco de Quito.

B. Diagnóstico y Evaluación Inicial:

4. ¿Qué metodologías utilizaron para el diagnóstico estructural inicial de la cúpula? (estudios previos, ensayos, análisis patológicos)

Sin duda, para establecer una intervención es importante siempre señalar la metodología que parte de la construcción de una memoria técnica en la que se describe el estado de conservación del elemento en sí y obviamente establecer las lesiones o patologías que tiene a nivel de sus elementos decorativos. Como restaurador me corresponde, me ha correspondido siempre mirar la parte interior, es decir, lo que está hacia el presbiterio, hacia la parte interna de la iglesia.

¿Y por qué la parte interior? Porque es ahí donde se pueden observar algunos elementos decorativos, llámense éstas: molduras, hendiduras y los diferentes daños de la cúpula. Se identifican elementos decorativos con diferentes motivos, ¿no? Ornamentales o algún tipo de iconografía que está relacionado con el programa iconográfico de la iglesia. Siendo así, se debe reconocer y establecer cuál es el estado de conservación de las diferentes representaciones figurativas que conforman la parte estética decorativa de la cúpula.

5. ¿Cuáles fueron las principales patologías estructurales identificadas en la cúpula antes de la intervención?

Bueno, como usted conoce y todos los profesionales de la arquitectura dirigida a la intervención de bienes patrimoniales, las cúpulas son estructuras que están representando o están en el dominio de un espacio de la parte más alta, de la parte que simbólicamente está representando el cielo, digamos, en la parte más alta de la iglesia. Y esta pues tiene un, por lo general, tiene un cimborrio o unos arcos torales sobre las que se va a descansar, sobre las que se va a apoyar. Entonces, primero, con la ayuda de los profesionales de las estructuras, se va determinando qué tipo de lesiones que normalmente han ido sufriendo de manera intrínseca y también por el paso del tiempo.

¿Qué quiero decir con esto de forma intrínseca? Sería los materiales cómo se han comportado a lo largo del tiempo y de sus características, tanto físicas, mecánicas, cuál ha sido su desempeño, sin que intervenga en ningún factor, como podría ser un movimiento sísmico o algún tipo de afectación por el agua o por el fuego, es decir, algún tipo de daño externo al elemento. Consecuentemente, lo que se ha ido determinando y haciendo un registro es de todo este tipo de lesiones que pueden comprometer la estructura y que tiene que ser un criterio multidisciplinario, desde los ingenieros de las estructuras, los arquitectos y obviamente los restauradores que estaríamos para brindar la protección a estos elementos arquitectónicos que están sufriendo por algún tipo de deterioro. Pero en sí, ¿cuáles serían las patologías? Recordará que se cortó vegetación, ¿se acuerda?, en la parte superior.

Bueno, ya yéndonos un poco al detalle. Lógicamente, cuando no ha habido mantenimiento en la composición, especialmente en las cúpulas que tienen o están cubiertas de tejuelos, en las juntas, se empieza a acumular una gran cantidad de esporas, hongos, líquenes que empiezan a proliferar. Obviamente, al recibir toda la presencia atmosférica, permiten y van abriendo ese paso entre estos intersticios en estas uniones de la cobertura a nivel de tejuelos, llegando a provocar desprendimientos o separaciones de los elementos que van desde la parte de afuera, desde los tejuelos, hacia los morteros que unen con el resto ya de los elementos propiamente de la fábrica, de la cúpula.

Entonces, podríamos tener ahí una primera identificación, es este tipo de afectaciones por factores bióticos, ¿no? Es decir, todos estos elementos que van formando un sistema y que se van nutriendo del agua, de ciertos materiales orgánicos en su descomposición, empiezan a generar escenarios donde estos factores se van convirtiendo en factores de afectación, pero que no pueden actuar solos, sino que siempre tiene que haber un sistema. Refiere usted que, a nivel de la fauna urbana, también estos lugares a veces son utilizados por las palomas, que hoy en gran número se ve en casi todos los centros históricos. Entonces, se vuelve una amalgama de factores resultantes de muchos procesos, ¿no? Entonces, desde la parte biótica.

Y luego, también desde la parte abiótica y a lo que tiene que ver con la luz, la radiación y estos cambios de temperaturas bruscos a nivel físico, a nivel mecánico, los materiales empiezan a sufrir contracciones, retracción, etcétera, y esto empieza a producir craqueladuras, fisuras, más aún, si es que ha habido en algunos momentos movimientos sísmicos que han provocado ya lesiones a nivel estructural. Entonces, de todo esto se ha ido observando cómo se han ido presentando este tipo de deterioros bióticos y abióticos, y por la falta de mantenimiento estos han ido creciendo de manera, digamos, de manera gradual, ¿no? O sea, si un año hubo mayor cantidad de lluvia, obviamente que vamos a tener presencia de plantas o arbustos en gran número, plantas arbustivas que van a colapsar los canales, que van a colapsar las salidas propias del agua cuando llueve. Entonces, es un proceso de deterioro que se va prácticamente materializando de año en año.

Y lo que tiene que ver con la parte ya de la afectación, esto lo que ocurre es que, al degradarse los materiales, no olvide usted que la mayor parte de estos materiales tienen una gran cantidad de carbonatos, de sulfatos, que con el agua empiezan a desintegrarse y empiezan a brindar el alimento para que las plantas arbustivas, hongos, líquenes, se aprovechen de estos

materiales. Es decir, perdón, es decir que dentro de las patologías estaríamos hablando de desgregación o de debilitamiento de los morteros. Sí, a nivel sobre todo de lo que son morteros, recuerde usted que esto de morteros para unir el tejuelo, que es una característica muy particular en la provincia de Cotopaxi, porque cerca de ahí están las fábricas de artesanos, que han permitido darle lustro y darle un acabado característico, pero cuando no hay mantenimiento, cuando hay estas situaciones de orden físico, van a irse soltando y van a irse desgregando, y si es que no se hace un monitoreo al cabo de poco tiempo, vamos a tener ahí ya algunas afectaciones.

De ahí que se vuelve muy necesario el monitoreo, pues permite ir estableciendo en qué lugares podría haber afectaciones y atacar inmediatamente esa situación, no esperar que se convierta en una patología general.

6. ¿Se realizaron estudios de caracterización de materiales originales? ¿Qué aspectos consideraron más relevantes?

Los exámenes o los estudios que normalmente se deben practicar en este tipo de obras, no puedo determinar con certeza la cantidad de estudios o de materiales ensayados, es una condición que debe prevalecer en toda obra. La contratación, los procesos de obra muchas veces indican en base a los términos de referencia, en base a todo lo que el contratista asume que tiene que dar por cumplimiento, y esta es una fase que, en nuestro país, porque va a encarecer la obra, o porque se asume que las TDRs han resuelto todo este tipo de incógnitas, por decirlo de alguna manera, en cuanto a dosificaciones, comportamiento de materiales, ensayos, pruebas, esto se omite, se deja de lado.

7. ¿Cómo evaluaron el nivel de riesgo estructural de la cúpula? ¿Utilizaron alguna matriz o sistema de valoración específico?

No, que yo sepa. No puedo dar fe de esto, porque como digo, es un contrato que estuvo a cargo de una entidad, en este caso un gobierno municipal, y que ya tenía un proceso de contratación en el sistema de compras públicas, y por ello no tuve acceso a esa información.

C. Criterios y Decisiones Técnicas

8. ¿Qué criterios técnicos, normativos y patrimoniales guiaron la selección del sistema de reforzamiento aplicado?

Cuando la obra específicamente de la que estamos haciendo referencia, inicia con una percepción de una patología y de un problema a resolver, como es lógico, pero está un poco distante de lo que realmente se realizó ahí. No fue más que un trabajo a nivel de cubierta de los tejuelos, sin considerar que se estaba proponiendo una intervención a nivel arquitectónico, de tal manera que esto no podría asegurar que se dio un buen trabajo a nivel estructural.

9. ¿Se consideraron múltiples alternativas de reforzamiento? ¿Cuáles fueron descartadas y por qué razones?

Vuelvo al criterio anterior. Había necesidad de retirar la cobertura del tejuelo, pensando siempre en la impermeabilización de la cubierta. Entonces, el retiro fue de este material que había cumplido su vida útil y que había que reponerlo con unos tejuelos de un mejor desempeño, con morteros para lograr una mejor adherencia y, consecuentemente, lograr el objetivo que era la impermeabilización.

Siempre habrá que pensar y monitorear el aspecto estructural, que bien hace ud en querer saber sobre este tema. No tengo yo una respuesta al respecto porque no se conoció que se haya trabajado a ese nivel.

10. ¿Cómo se equilibraron los criterios de eficiencia estructural con los de preservación del valor patrimonial?

En el contrato, en lo que aplicaron en cuanto a la metodología y con el asesoramiento del instituto, se dio un tratamiento de respeto al original, buscando siempre mantener y cuidar los elementos existentes sin aplicar o desarrollar metodologías agresivas. De tal suerte que, podríamos decir que la parte original, todos los elementos que conformaban la cúpula y la cubierta estuvieron protegidos de manera adecuada.

11. ¿Qué papel jugaron las normativas nacionales e internacionales de patrimonio en las decisiones técnicas?

Sí, estuvieron estas respaldadas a nivel de normativo y desde el Estado, por parte del instituto, en lo que corresponde a la ejecución de la obra, sí estuvo presente el aspecto normativo, buscando siempre hacer recomendaciones en la ejecución.

Lo ideal sería hacer un trabajo previo a la formulación, previo a lo que se plantea como una metodología o como un problema a resolver. Por eso insisto en que el título de la obra era reforzamiento estructural, pero más se trabajó en el tema arquitectónico. En el tema arquitectónico lo que iba a hacer el ente rector estuvo presente ahí para que se cumpla con la normativa pertinente.

12. ¿Se consultó con organismos patrimoniales (INPC, municipios, etc.) durante el proceso de diseño de la intervención?

Proceso de diseño, es decir, cuando se estaba haciendo la propuesta. ¿Es decir, cuando se estaba haciendo la propuesta? No, no.

Únicamente tuvimos conocimiento cuando se estaban realizando ya los trabajos. Por eso es importante que cuando se realizan este tipo de obras, y cualquier tipo de obra, hay cierta complejidad o cuando se tiene que resolver temas como el que acusaba la catedral, que podía haber sido un tema estructural, no se solventó y se pasó directamente a un tema de un arreglo

general, un arreglo de la impermeabilización de la cubierta. Es decir, el INPC no tenía conocimiento de la fase de diseño de intervención, ¿verdad? Conocimiento previo, no.

D. Implementación y Desafíos

13. ¿Cuáles fueron los principales desafíos técnicos enfrentados durante la ejecución del reforzamiento?

Puedo yo advertir, como conservador de bienes patrimoniales, no es una contradicción, pero se veía la falta de una metodología para proteger y salir rápido de la situación que se quería retirar el tejuelo, pero tal vez la metodología debía tener un tiempo de prueba y establecer cuál sería la mejor opción. Es decir, cuando voy a retirar o cuando voy a desmontar un elemento por X motivo que se justifique plenamente, eso tiene que primero establecerse una metodología la más adecuada. El uso de herramientas o a veces la cantidad de energía que se puede aplicar sobre los bienes podría tener algún impacto a futuro.

Hablo del uso de materiales y herramientas que posiblemente tenían una acción muy abrasiva o una acción muy fuerte sobre los elementos que son patrimoniales. Recuerde usted, y esto es como norma general, nunca jamás a una estructura patrimonial se le debe someter a un tipo de vibración o golpes para retirar o desmontar algún elemento. Hay que buscar la metodología donde tengamos que causar el menor estrés a la fábrica, a la estructura original.

14. ¿Se presentaron incompatibilidades entre los materiales de reforzamiento y los materiales originales?

Hablaba yo en las preguntas anteriores de que la fase de ensayos, de pruebas, debe ser un tema que nos permita tener, cuando se hagan nuevas intervenciones, podamos hacer monitoreo y tener claramente cuáles son las especificaciones de los materiales que se han utilizado. Si son materiales modernos, como los que colocaron ahí a nivel de morteros, para poder unir, pegar el nuevo tejuelo.

Pero la pregunta es, después de un tiempo, ¿cómo se va a comportar? También bajo los principios, usted conoce de la reversibilidad, por ejemplo, ¿qué tan reversibles son? ¿Se adhieren o tienen algún nivel de afectación sobre la estructura patrimonial, sobre el original? Entonces, esas son preguntas que sólo la posteridad nos dará como resultado, si fue una buena o mala intervención, en definitiva.

15. ¿Cómo se manejaron los aspectos de reversibilidad y mínima intervención durante la ejecución?

Creo que en esto no se miró mucho este aspecto, claro, porque se habla de una intervención integral y que diría yo, se justifica al término de decir, para lograr una buena impermeabilización, tengo que colocar los materiales más idóneos.

Ya, pregunta. Recuerde el material, es una roca de origen volcánico, compuesta mayormente por sílice y alúmina. Entonces, debemos pensar que estos materiales tienen su comportamiento y a la vez tienen sus bondades.

O sea, fueron colocados ahí tras el conocimiento de gente que ha construido durante varios siglos con este material y las bondades a nivel de aislamiento técnico y acústico está probada. Aparte de que, por su peso que es muy liviano, no le confiere una carga excesiva. De tal manera que tenemos que ser muy cuidadosos en que estas propiedades físicas, mecánicas, no las alteremos, no hagamos ningún tipo de adición de materiales, porque a lo mejor podríamos estar dando al traste con estas propiedades de este material que es tan bondadoso como la piedra pólvora.

16. ¿Qué medidas de control de calidad se implementaron durante la aplicación del reforzamiento?

Hacer un trabajo, un contrato de obra, como usted conoce, las herramientas contractuales están dirigidas desde un administrador o fiscalizador y son ellos quienes están al frente del cumplimiento de todo lo que han preparado como TDRs. El instituto, en este caso, que es el ente que realiza el control técnico, ha hecho su presencia o su visita ahí haciendo las recomendaciones a tiempo de lo que hay que corregir, de lo que se debe enmendar, pero de manera muy general, digamos, las recomendaciones.

De tal suerte que siempre estos aspectos están dentro de lo que es la contratación pública y ahí un poco como que se agota el tema del control específico.

E. Evaluación de Resultados y Seguimiento

17. ¿Cómo evaluaría la efectividad del sistema de reforzamiento implementado en términos de: estabilidad estructural, preservación del valor patrimonial, durabilidad esperada?

Bien, yo creo que aquí hay una pregunta o un aspecto muy destacable, que es las bondades, el desempeño. Eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante, tendremos la respuesta. Es decir, que todavía no ha pasado la prueba, porque estos años, después de la intervención, no ha habido un evento telúrico que ponga a prueba esa parte de la pregunta.

En cuanto a los otros aspectos, se ve hasta el momento que está desempeñando, porque no hemos conocido que existan filtraciones o que exista algún tipo de afectación.

18. ¿Se ha realizado algún tipo de monitoreo post-intervención? ¿Qué resultados se han observado?

No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho.

19. ¿Han surgido patologías no previstas o efectos secundarios tras la intervención?

Bueno, yo hablaba de que un poco estaba más enfocado en los aspectos hacia el interior, hacia los elementos decorativos, hacia la arquitectura de madera, etcétera. Entonces, yo sí tengo que advertir algo que no está directamente vinculado con el tema de la parte estructural, a nivel de cubiertas, de cúpulas, etcétera, pero sí pude presenciar en el presbiterio que habían hecho trabajos a nivel de pisos, y en pocos días luego de esta intervención, sufrieron la afectación, el alabeo de cierta madera que fue colocada en ese sector.

Pero específicamente dentro de la cúpula, ¿ha podido observar si es que ha surgido alguna patología no prevista?

No, en la cúpula no, fue a nivel de pisos.

F. Reflexión Crítica y Recomendaciones

20. Considerando su experiencia en este proyecto, ¿qué aspectos modificaría si tuviera que intervenir una cúpula similar?

El aspecto que arranca todo, estudios, memoria técnica, conocer bien al enfermo, establecer cuáles son sus patologías, de tal manera que con eso nos permita a todos tomar decisiones y hacer un buen planteamiento de un proyecto.

21. ¿Qué técnicas o materiales emergentes considera que podrían ser aplicables en futuras intervenciones?

Si es que el tema es a nivel estructural, antes de colocar materiales, el aislamiento, el impedir, el bloquear que agentes de deterioro como el agua, la intemperie, la radiación se sigan manifestando, ocuparía yo un aislamiento a nivel de una sobrecubierta o elementos que puedan estabilizar, cubrir, impedir el ingreso, como digo, de factores externos de riesgo.

22. ¿Qué recomendaciones haría para mejorar los protocolos de intervención en cúpulas patrimoniales de piedra?

Que siempre se agote la fase de estudios, pruebas y el concurso de materiales modernos que de hecho existen ya en el mercado, como membranas, textiles, soportes sintéticos que son muy livianos y que están permitiendo que los trabajos se hagan de manera mucho más rápida y sin incorporar materiales o cargas muertas hacia los elementos.

Entonces que haya ensayos de estos materiales, pero con un seguimiento y un monitoreo casi seriado, es decir, que la experiencia empiece ahí y no se deje de monitorear.

23. ¿Considera que existen vacíos normativos o técnicos que deberían ser abordados en el ámbito nacional?

Desde luego, el control de este tipo de obras debe ser de manera inmediata y no debe pasar de un informe a una entidad que luego determine si se realiza o no el seguimiento. Hablo

específicamente de la necesidad que tienen los municipios, del requisito que deben cumplir los municipios, dando a conocer cuáles son los trabajos, las obras, el alcance en los bienes patrimoniales al ente rector.

Y el ente rector se toma un tiempo en informar al instituto, es decir, aquí nos pasamos mucho tiempo en este lado burocrático y muchas veces cuando queremos hacer el control efectivo ya la obra ha concluido.

G. Cierre

24. ¿Hay algún aspecto relevante de su experiencia en este proyecto que no hemos abordado y que considere importante mencionar?

Es importante que cuando se va a retirar o desmontar materiales que supuestamente han cumplido su vida útil, se haga una valoración mucho más exhaustiva.

Esto digo porque se retiró un material que posiblemente tenía afectaciones, pero no tenemos la demostración de que esos materiales habían cumplido su vida útil. Porque recuerde usted que los materiales tienen sus bondades y con el tiempo esa pátina, esa calidad que adquieren al estar acostumbrados ya y siendo parte de una historia, de un inmueble, no es algo que yo debo retirar por el simple hecho de que las especificaciones técnicas o el contrato así dice y reza. Tiene que haber un sustento mucho más consistente que demuestre que lo que voy a retirar es menester.

Caso contrario, o lo dejo ahí o lo vuelvo a colocar mejorando tal vez los estratos de adherencia, los estratos de haber hecho una buena limpieza de algún elemento invasivo, una buena fumigación, un buen lavado, etc. Y los volvemos nuevamente a poner en funcionamiento. El caso típico de las cubiertas en teja de barro cocido, no es bueno que retiremos este material porque aparentemente ya no funciona.

Es el mismo caso. Entonces creo que se debe agotar siempre esta parte de evaluar y calificar los materiales en una cúpula que tiene algún recubrimiento que es ornamental y que corresponde a una hechura de artesanos que supieron manejar muy bien el tema de los hornos, del tipo de arcilla, etc. Son conocimientos que están ahí en la obra y que no podemos deshacernos de manera un poco ligera, un poco rápida.

Anexo 10. Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Matriz de Pujilí

FASE 1: Establecimiento del Contexto

1.1. Bien Analizado

Cúpula de piedra pómez con linterna de la Iglesia Matriz de Pujilí, provincia de Cotopaxi, Ecuador.

Características técnicas distintivas:

- **Técnica constructiva única:** cúpula semi-elíptica sin pechinas
- **Material:** piedra pómez (pishilatas) poco porosa con argamasa cal-arena
- **Sistema de cubierta:** tejuelo hexagonal vidriado (reemplazado parcialmente por gres colombiano en 2020)
- **Altura:** 17.95 metros
- Linterna superior con función de iluminación cenital y ventilación
- Arranque directo desde cuadrángulo de base sobre cuatro arcos torales

1.2. Horizonte Temporal

20 años (2026-2046): Período que abarca el ciclo de vida esperado de las intervenciones de reforzamiento implementadas en 2020 (sistema “espina de pez” + consolidación química).

Este horizonte permite:

- Evaluación del comportamiento del sistema mixto histórico-contemporáneo a mediano plazo
- Detección temprana de riesgos emergentes (RE-1: corrosión electroquímica, horizonte 15-25 años)
- Planificación de mantenimiento preventivo programado
- Análisis de efectividad de intervenciones ante eventos sísmicos recurrentes (cada 8-12 años)

1.3. Contexto Patrimonial

Valor patrimonial excepcional = 4

Características patrimoniales únicas:

- **Técnica constructiva singular:** Cúpula sin pechinas, sin precedentes comparativos en el país
- **Hito urbano:** Elemento identitario de Pujilí y la región de Cotopaxi
- **Irreemplazabilidad:** Pérdida implicaría desaparición de técnica constructiva única
- **Única iglesia con influencia del estilo románico en Ecuador**

Uso actual: Culto religioso (uso original conservado). La iglesia funciona como templo católico, con celebraciones regulares y eventos especiales como el Corpus Christi (más de 400 años de antigüedad).

Entorno: Urbano consolidado, ubicada en el centro histórico de Pujilí, frente al parque central Luis Fernando Vivero. Forma parte integral del conjunto de valor patrimonial de la ciudad.

1.4. Capacidades Locales

1.4.1. Capacidades Técnicas

Fortalezas:

- **Experiencia local documentada:** Intervención integral 2020 con profesionales especializados (Arq. Hernán Patricio León Ruiz, 35 años experiencia en patrimonio edificado, 15 años INPC)
- **Conocimiento técnico avanzado:** Aplicación exitosa de tecnologías contemporáneas (consolidante químico SILRES BS OH 100, sistema "espina de pez" acero inoxidable)
- **Diagnóstico especializado:** Análisis de materiales pétreos, caracterización morteros, análisis estructural con ingeniero especializado
- **Historial de intervenciones:** Tres generaciones documentadas (1973-1976, 1996-1997, 2020)

Limitaciones:

- Sin monitoreo instrumental continuo post-intervención 2020
- Sin modelamiento estructural del sistema mixto (mampostería + hormigón 1976 + metal 2020)
- Acceso limitado a tecnologías diagnóstico avanzadas (escáner 3D, termografía, georradar)

- Capacidades locales de mantenimiento especializado limitadas (dependencia de expertos externos)

1.4.2. Capacidades Económicas

Fortalezas:

- **Historial de financiamiento:** Intervenciones previas ejecutadas exitosamente (1973-1976, 1996-1997, 2020)
- **Financiamiento disponible:** Presupuesto para mantenimiento regular básico
- **Fuentes múltiples:** Recursos públicos (INPC), eclesiásticos, potencial cooperación internacional

Limitaciones:

- Dependencia de presupuestos públicos e institucionales (ciclos presupuestarios anuales)
- Costos relativos altos para mantenimiento especializado en contexto local
- Sin fondo de emergencia específico para eventos imprevistos

1.4.3. Capacidades Institucionales

Fortalezas:

- **Marco normativo vigente:** INPC (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural) con competencias claras
- **Registro patrimonial actualizado:** Fichas de inventario INPC 2022-2024 completas (50/50 puntos)
- **Coordinación interinstitucional:** INPC + administración eclesiástica local + gobierno municipal
- **Capacidad de gestión:** Proyectos complejos ejecutados exitosamente (intervención 2020)

Limitaciones:

- Protocolos de monitoreo especializado en desarrollo (no implementados)
- Sin programa mantenimiento preventivo quinquenal formalizado
- Coordinación interinstitucional reactiva más que proactiva

FASE 2: Identificación de Riesgos (ABC + GRD)

2.1. Revisión Documental

2.1.1. Informes de Intervención Disponibles

Tabla 1
Historial de Intervenciones Documentadas

Período	Intervención	Documentación disponible
1973-1976	Intervención estructural: 5 anillos interiores de hormigón armado + retiro de enlucidos originales	Documentación básica disponible: • Justificación: Fisuramientos en bóvedas • Consecuencia no prevista: Inicio disgregación argamasas
1996-1997	Reconstrucción fachada: Desplome remate barroco + torre campanario	Documentación básica: • Mantiene composición formal original • Identidad estilística conservada
2020	Intervención integral: Sistema “espina de pez” (acero inoxidable 16mm) + consolidación química (SILRES BS OH 100) + renovación impermeabilización	Documentación exhaustiva: • Estudio comportamiento sistemas constructivos • Análisis materiales pétreos y morteros • Entrevista detallada Arq. León Ruiz • Criterios técnicos fundamentados

2.1.2. Fichas de Inventario INPC 2022-2024

Valoración patrimonial completa basada en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024), alcanzando una valoración excepcional.

Tabla 2
Valoración Patrimonial por Componentes

Componente	Puntuación	Detalle
Antigüedad	15/15	Colonial siglo XVI-XIX (CO)
Entorno Urbano Natural	10/10	Integrada - tramo homogéneo con valor
Histórico-Testimonial-Simbólico	10/10	Valor simbólico sociocultural identidad
Tipológico Funcional	5/5	Conserva identificación tipológica + uso original
Estético Formal	5/5	Identificación estilística + composición formal
Técnico Constructivo	5/5	Tecnología y materiales tradicionales
TOTAL	**50/50**	**Valoración Excepcional**

2.1.3. Registros Históricos de Eventos

Tabla 3
Registros Históricos de Eventos

Eventos Históricos	Detalle
Eventos sísmicos documentados	• **1949:** Sismo con daños severos en torres • **1998:** Sismo con afectaciones estructurales documentadas
Contexto sísmico actual	• Zona sísmica V según NEC-SE-DS • PGA = 0.45g (aceleración máxima del suelo) • Región andina central con actividad sísmica frecuente (IGEPN)
Eventos hidrometeorológicos	• Régimen pluvial: 1,200-1,500 mm anuales (INAMHI) • Temperatura media: 12.4°C • Eventos de precipitación intensa ocasionales
Eventos volcánicos	• Proximidad al Volcán Cotopaxi (≈35–40 km), con vientos predominantes en la región andina ecuatoriana que transportan las cenizas hacia el occidente del volcán, lo que implica una alta probabilidad de afectación por caída de ceniza (Instituto Geofísico - EPN, 2017b). • Evento eruptivo significativo del volcán Cotopaxi en agosto de 2015, que produjo emisiones de ceniza (Troncoso et al., 2017). • Amenaza secundaria ante posible dispersión de ceniza proveniente del Volcán Tungurahua durante su periodo eruptivo 1999–2016 (Instituto Geofísico - EPN, 2017a).

2.2. Aplicación de Lista de Verificación ABC-GRD

Se presentan los resultados de la aplicación de la Lista de Verificación para el Análisis de Riesgos en Cúpulas de Iglesias Patrimoniales. La metodología integra el análisis de tres dimensiones:

- **Sección A (Agentes de deterioro - Método ABC):** Manifestaciones físicas observables del daño

- **Sección B (Amenazas - GRD):** Eventos o fuerzas externas que pueden desencadenar daño

- **Sección C (Vulnerabilidades específicas):** Condiciones intrínsecas de la cúpula que amplifican el impacto de las amenazas

Los resultados se organizan en tablas que documentan solo los ítems identificados como presentes o aplicables al caso de estudio, siguiendo el principio de correspondencia entre amenazas (B), vulnerabilidades (C) y manifestaciones observables (A).

Tabla 4

Sección A - Agentes de Deterioro Identificados (Método ABC)

Categoría	Código	Manifestación Observable	Observaciones Detalladas
A1- Fuerzas Físicas Directas	A1-1	Fisuras en estructura de la cúpula	HISTÓRICO (previo 2020): Fisuras longitudinales documentadas en bóveda de cañón corrido de nave principal y crucero. Orientación predominante meridional. MITIGACIÓN (2020): Sistema "espina de pez" aplicado con perforaciones en "X" cada 20-40 cm a lo largo de las fisuras.
	A1-2	Grietas en tambor y pechinas	HISTÓRICO (previo 2020): Fisuras históricas en tambor que llegaban a cortar el muro (espesor >1m). NOTA TÉCNICA CRÍTICA: La cúpula carece de pechinas (técnica constructiva única en Ecuador), la cúpula arranca directamente del cuadrángulo de la base.
	A1-8	Asentamientos diferenciales en la base	HISTÓRICO (previo 2020): Asentamiento documentado en piso del presbiterio causado por taponamiento del sistema de desalojo de agua lluvia. MITIGACIÓN (2020): Mejora del sistema de drenaje.
A4 – Agua	A4-1	Filtraciones por cubiertas	HISTÓRICO (previo 2020): Filtraciones de agua lluvia que producían humedad en el interior. Sistema de tejuelo hexagonal vidriado deteriorado permitía ingreso de agua. MITIGACIÓN (2020): Renovación impermeabilización + reemplazo tejuelo deteriorado por gres colombiano.
	A4-7	Eflorescencias salinas	HISTÓRICO (previo 2020): Floraciones de sales documentadas en arranques de bóvedas y capillas laterales. Manchas blancas (cal) por efecto de agua lluvia sobre argamasas. RESULTADO (2020): Cesaron tras inyección fisuras con lechadas de cal.
A5 – Plagas	A5-5	Presencia de microorganismos (hongos, bacterias)	HISTÓRICO (previo 2020): Proliferación documentada de hongos, musgos en sectores específicos de muros. Relacionado con filtraciones crónicas.
	A5-6	Plantas parasitarias en muros o cubiertas	HISTÓRICO (previo 2020): Penetración radicular en juntas actuando como cuñas de expansión. Plantas creciendo en zonas húmedas.
A6 – Contaminantes	A6-6	Formación de depósitos particulados	ACTUAL: La altura (17.95m) y configuración geométrica compleja de la cúpula, así como su proximidad a volcanes activos (Cotopaxi y Tungurahua), favorecen la acumulación de ceniza. Esto

			puede generar acumulación de carga, abrasión de recubrimientos y retención de humedad en los materiales históricos.
A10 – Disociación	A10-2	Evidencia de intervenciones inadecuadas previas	IRREVERSIBLE (1976): Retiro de enlucidos originales (interior y exterior) en intervención 1973-1976 alteró el comportamiento de las argamasas de cal-arena, iniciando proceso de disgregación. La iglesia originalmente era enlucida (estilo barroco), no con fábrica de piedra vista. CONSECUENCIA: "Caída de arena" continua documentada hasta consolidación química 2020. OTRAS EVIDENCIAS: Uso documentado de morteros cemento-arena inadecuados en zonas puntuales causó desplacamiento y rotura de bordes de piedras.

Nivel de Confianza - Sección A: MEDIO-ALTO (80-89%)

Fundamento:

- Información completa de intervenciones documentadas
- Levantamiento exhaustivo en campo (2020)
- Diagnósticos estructurales previos disponibles
- Entrevista detallada Arq. León Ruiz (profesional interviniente)

Limitaciones:

- Accesibilidad restringida a zonas altas de la cúpula por seguridad
- Ausencia de monitoreo instrumental continuo post-2020

Tabla 5

Sección B - Amenazas GRD Identificadas

Categoría	Código	Amenaza	Observaciones Detalladas
B1 - Amenazas Sísmicas	B1-1	Zona de alta sismicidad según mapa de amenaza	FUENTES OFICIALES: • Zona sísmica V según MIDUVI (2014) • PGA = 0.45g (aceleración máxima) • Región andina central con actividad sísmica frecuente (IGEPN, 2023) HISTÓRICO: Sismos documentados en 1949 y 1998 con daños severos en torres.
	B1-3	Tipo de suelo (amplificación sísmica)	Suelo tipo andino con potencial de amplificación sísmica. LIMITACIÓN: Requiere estudio geotécnico específico para caracterización precisa.
B1 (FA) - Factores de Amplificación de Amenaza Sísmica	B1-4	Deterioro de la estructura portante	HISTÓRICO (previo 2020): Fisuramientos en bóveda de cañón corrido. Argamasas en proceso de disgregación por retiro de enlucidos (1976). ACTUAL: Mitigado significativamente por intervención 2020.

	B1-5	Conexiones estructurales inadecuadas	CARACTERÍSTICA INTRÍNSECA: Técnica constructiva única sin pechinas concentra esfuerzos en cuatro puntos de apoyo directo. Ausencia de transición gradual de cargas. NOTA: No es un defecto, es parte del sistema constructivo original.
	B1-6	Rigidez diferencial entre elementos	SISTEMA MIXTO post-intervenciones: • Mampostería histórica de piedra pómez (flexible) • Anillos de hormigón armado 1976 (rígido) • Refuerzos metálicos acero inoxidable 2020 (muy rígido) Diferencias significativas en módulos de elasticidad.
B2 - Amenazas Hidrometeorológicas	B2-1	Precipitaciones intensas frecuentes	FUENTES OFICIALES: • Régimen pluvial Cotopaxi: 1,200-1,500 mm anuales • Temperatura media: 12.4°C • Eventos de precipitación intensa superan ocasionalmente capacidad sistema drenaje histórico (INAMHI, 2013)
	B2-5	Rayos y descargas eléctricas	Altura prominente de la cúpula (36m aprox.) aumenta susceptibilidad. ACCIÓN REQUERIDA: Verificación de sistema de pararrayos.
B3 - Amenazas Geológicas	B3-6	Actividad volcánica (cenizas, gases)	CONTEXTO: • Proximidad al volcán Cotopaxi, con alta probabilidad de afectación por ceniza (IGEPN) • Último evento eruptivo significativo en 2015 • Caída de ceniza documentada en la región (Troncoso et al., 2017)

Nivel de Confianza - Sección B:
MEDIO-ALTO (80-89%)

Fundamento:
- Datos oficiales: MIDUVI, IGEPN, INAMHI
- Registros históricos de eventos documentados
- Mapas de amenaza vigentes

Limitaciones:
- Falta de estudio geotécnico específico del sitio
- Ausencia de instrumentación sísmica in situ

Tabla 6

Sección C - Vulnerabilidades Específicas y Condiciones de Exposición en Cúpulas

Categoría	Código	Vulnerabilidad	Observaciones Detalladas
C1 - Estructurales Específicas	C1-1	Concentración de cargas en puntos específicos (pechinas, tambor)	CARACTERÍSTICA ÚNICA DOCUMENTADA: Ausencia de pechinas concentra esfuerzos en cuatro puntos de apoyo directo sobre arcos torales. La cúpula arranca directamente del cuadrángulo de la base dando forma semi-elíptica. IMPORTANCIA: Esta técnica constructiva singular no cuenta con precedentes comparativos en Ecuador.
	C1-2	Empujes horizontales no controlados hacia muros perimetrales	Sistema de bóveda de cañón corrido genera empujes laterales. Anillos de hormigón armado (1976) buscan controlar estos empujes, pero introducen rigidez diferencial.
C2 - Interfaces y Conexiones	C2-2	Incompatibilidad de materiales en juntas	SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO documentado: 1. Piedra pómez original con argamasa de cal-arena 2. Ladrillo y hormigón en arcos reconstruidos 3. Acero inoxidable 16mm en refuerzo “espina de pez” (2020) 4. Anillos de hormigón armado (1976) Diferencias en coeficientes de dilatación térmica.
	C2-3	Movimientos diferenciales entre elementos	Rigidez diferencial entre mampostería original (flexible) y refuerzos contemporáneos (rígidos) puede generar concentraciones de tensión en interfaces durante eventos sísmicos.
	C2-6	Corrosión en elementos de conexión metálicos	SISTEMA IMPLEMENTADO 2020: • Aproximadamente 200 puntos de perforación[a] • Varillas de acero inoxidable 16mm CONDICIONES AMBIENTALES: • Ambiente andino con variaciones térmicas • Humedad relativa alta • Ciclos hielo-deshielo INCERTIDUMBRE: Sin precedentes de compatibilidad electroquímica acero inoxidable-piedra pómez a largo plazo.

C3 – Geometría y configuración específica	C3-1	Efectos aerodinámicos adversos (vórtices, succión)	Altura prominente (≈36m) aumenta exposición a partículas en suspensión transportadas por viento (ceniza volcánica, contaminantes urbanos).
	C3-3	Zonas de difícil acceso para inspección y mantenimiento	Geometría compleja de la cúpula con linterna superior. Altura considerable dificulta inspecciones detalladas sin andamiaje especializado.
	C3-4	Acumulación de agua en geometrías cóncavas	Sistema de tejuelo hexagonal vidriado con pendientes complejas. Renovación 2020 mejoró drenaje, pero geometría intrínseca favorece acumulación en eventos extremos.
C5 - Constructivas y Tipológicas	C5-3	Sistemas mixtos (histórico-contemporáneo) incompatibles	TRES GENERACIONES de intervenciones estructurales: 1. Sistema original siglo XVII (piedra pómez + cal-arena) 2. Anillos hormigón armado 1976 3. Sistema “espina de pez” acero inoxidable 2020 LIMITACIÓN CRÍTICA: Sin modelamiento estructural del comportamiento integrado.
	C5-5	Intervenciones previas inadecuadas o reversibles	INTERVENCIÓN IRREVERSIBLE (1976): Retiro de enlucidos originales alteró comportamiento de argamasas, iniciando disgregación. Decisión irreversible con consecuencias a largo plazo documentadas.
C6 - Ambientales Específicas	C6-3	Condensación por diferencias térmicas altura-base	Temperatura media local 12.4°C. Diferencias térmicas entre interior y exterior de la cúpula pueden generar condensación en superficies frías.
	C6-5	Impacto directo de precipitaciones extremas	Régimen pluvial 1,200-1,500 mm anuales. Sistema de tejuelo expuesto directamente a precipitaciones.

Nota. a. Sistema extensivo de perforaciones en “X” cada 20-40 cm aplicadas en bóveda nave principal (28.15m) y crucero (25.15m), resultando en aproximadamente 200 puntos de intervención con varillas de acero inoxidable 16mm

Nivel de Confianza - Sección C:
MEDIO-ALTO (80-89%)

Fundamento:

- Documentación técnica exhaustiva de intervenciones
- Análisis de materiales realizado (2020)
- Caracterización constructiva detallada
- Entrevista especializada Arq. León Ruiz

Limitaciones:

- Ausencia de modelamiento estructural del comportamiento mixto
- Sin precedentes comparativos de técnica constructiva sin pechinas
- Falta de estudios de compatibilidad electroquímica a largo plazo

2.3. Análisis de Correspondencias

Tabla 7

Matriz de Correspondencias: Amenazas → Agentes de Deterioro

Amenaza	→	Agente de Deterioro	Tipo Relación	Justificación Técnica
B1-1 (Alta sismicidad PGA=0.45g) + B1-5 (FA: Conexiones inadecuadas)	→	A1-1, A1-2 (Fisuras longitudinales en bóveda y tambor)	FUERTE	Zona sísmica V + eventos históricos 1949/1998 + concentración de esfuerzos en apoyo directo sin pechinas = fisuramientos documentados con orientación meridional predominante
B2-1 (Precipitaciones 1,200-1,500 mm anuales)	→	A4-1 (Filtraciones) + A4-7 (Eflorescencias) + A1-8 (Asentamientos)	FUERTE	Lluvias intensas → deterioro tejuelo vidriado → filtraciones → manchas humedad + floraciones sal → taponamiento drenaje → asentamiento presbiterio
B3-6 (Ceniza volcánica Cotopaxi)	→	A6-6 (Deposición de partículas)	FUERTE	Evento 2015 documentado → acumulación de ceniza en geometría compleja de la cúpula
B1-6 (FA: Rigidez diferencial sistema mixto)	→	A10-2 (Intervenciones inadecuadas)	MODERADA	Anillos hormigón (1976) + refuerzo metálico (2020) → diferencias módulos elasticidad → comportamiento no homogéneo

Tabla 8

Matriz de Correspondencias: Vulnerabilidades → Agentes de Deterioro

Vulnerabilidad	→	Agente de Deterioro	Tipo Relación	Justificación Técnica
C1-1 (Concentración cargas sin pechinas) + C2-3 (Movimientos diferenciales)	→	A1-1, A1-2 (Fisuras estructurales)	FUERTE	Técnica única sin transición gradual → concentración esfuerzos en 4 puntos → fisuras meridionales + agrietamiento tambor
C3-1 (Efectos aerodinámicos por altura 36m) + C3-4 (Geometría cóncava)	→	A6-6 (Deposición particulada)	FUERTE	Altura prominente + configuración compleja → mayor captura ceniza volcánica y contaminantes urbanos
C2-2 (Incompatibilidad materiales) + C5-5 (Retiro enlucidos 1976)	→	A10-2 (Intervenciones inadecuadas) + disgregación argamasas	FUERTE	Pérdida capa protectora → exposición directa argamasas → disgregación documentada (“caída de arena”)

C2-6 (Acero inoxidable en matriz pétrea)	→	*Manifestación potencial futura* (corrosión, micro-fisuras)	MODERADA	~200 puntos perforación + ambiente húmedo + ciclos térmicos → corrosión electroquímica probable en horizonte 15-25 años

2.4. Identificación de Riesgos

Tabla 9
Riesgos Históricos Documentados

Código	Denominación	Documentación	Correspondencia	Comportamiento Original
RH-1	Fisuración estructural por actividad sísmica	Fisuras longitudinales bóveda cañón + grietas tambor (previo 2020). Sismos 1949/1998 con daños en torres	B1-1 + B1-5 + C1-1 → A1-1, A1-2	Concentración esfuerzos en apoyo directo sin pechinas + eventos sísmicos recurrentes = fisuramientos meridionales
RH-2	Infiltraciones por fallo sistema drenaje	Filtraciones cubiertas + manchas humedad interior + asentamiento presbiterio (previo 2020)	B2-1 → A4-1 + A4-7 + A1-8	Sistema histórico insuficiente para régimen pluvial 1,200-1,500 mm + deterioro tejuelo = ingreso agua + eflorescencias
RH-3	Disgregación argamasas por retiro enlucidos	"Caída de arena" continua interior iglesia (1976-2020). Revocados no consolidados disgregándose	C5-5 → A10-2 + disgregación argamasas	Retiro capa protectora enlucido → exposición directa argamasa cal-arena → meteorización + pérdida cohesión
RH-4	Acumulación ceniza volcánica con sobrecarga	Deposición de partículas por eventos volcánicos del Cotopaxi (2015 documentado IGEPN)	B3-6 + C3-1 → A6-6	Altura prominente + geometría compleja cúpula = captura eficiente partículas suspensión
RH-5	Biodeterioro por condiciones humedad	Hongos, musgos, plantas en muros. Penetración radicular en juntas (previo 2020)	B2-1 + filtraciones → A5-5, A5-6	Filtraciones crónicas + orientación + microclima favorable = colonización biológica

Tabla 10
Riesgos Residuales Post-Intervención 2020

Código	Denominación	Mitigación Aplicada	Riesgo Residual	Nivel Reducción Estimado	Tipo Ocurrencia
RR-1	Fisuración estructural residual	Sistema "espina de pez" con acero inoxidable 16mm. Perforaciones en "X" cada 20-40 cm + inyección lechadas cal (2020)	Sismicidad alta persiste (PGA=0.45g), pero resistencia mejorada. Eventos ≥6.0 Mw pueden superar capacidad refuerzo	60-70% respecto al riesgo original (documentación intervención + criterio Ing. estructural)	Evento recurrente (sismos cada 8-12 años)
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Renovación impermeabilización + mejora sistema drenaje + reemplazo tejuelo deteriorado por gres colombiano (2020)	Eventos precipitación extrema (>70mm/día) pueden superar capacidad ocasionalmente	80-85% respecto al riesgo original (mejoras sustanciales documentadas)	Evento recurrente (época lluviosa)
RR-3	Disgregación argamasas residual	Consolidación química con SILRES BS OH 100 (Wacker) aplicado bajo condiciones controladas microclima (2020)	Zonas no tratadas o aplicación insuficiente pueden continuar disgregando lentamente	70-75% ("caída arena" cesó post-intervención, pero proceso lento puede persistir)	Proceso acumulativo

Tabla 11
Riesgos Emergentes Derivados de Intervenciones

Código	Denominación	Origen	Manifestación Potencial	Horizonte Temporal[1]	Tipo Ocurrencia[2]
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Introducción ~200 puntos perforación con acero inoxidable 16mm en matriz pétrea porosa (2020)	Corrosión localizada → expansión óxidos → micro-fisuras → compromiso refuerzo	15-25 años (manifestación visible)	Proceso acumulativo

RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Rigidización diferencial por refuerzos metálicos en mampostería flexible	Nuevas fisuras en zonas no reforzadas durante eventos sísmicos. Fallo en interfaces mampostería-metal	10-15 años (bajo eventos sísmicos)	Evento recurrente (activación sísmica)
RE-3	Pérdida legibilidad histórica sistema constructivo	Retiro enlucidos 1976 (irreversible) + múltiples intervenciones (hormigón 1976, metal 2020)	Dificultad interpretación técnica constructiva original. Confusión entre fábrica original y añadidos	Ya presente (proceso completado)	Proceso acumulativo (irreversible)
RE-4	Dependencia de mantenimiento especializado	Consolidante químico requiere condiciones ambientales específicas. Sistema mixto requiere monitoreo diferenciado	Falta mantenimiento especializado → pérdida efectividad intervenciones → reactivación riesgos históricos	5-10 años (sin mantenimiento programado)	Proceso acumulativo

Notas:
[1] *Horizonte temporal:* ¿Cuándo se espera que el riesgo emergente se manifieste por primera vez?
[2] *Tipo ocurrencia:* ¿Cómo se comporta el riesgo una vez activo? La variable A (frecuencia) en fase de evaluación mide: ¿Cada cuánto tiempo ocurre el evento, una vez que el riesgo ya está activo

FASE 3: Desarrollo de Matriz de Riesgos

3.1. Evaluación Cuantitativa de Riesgos Actuales

Solo se evaluaron cuantitativamente los riesgos residuales (RR) y riesgos emergentes (RE). Los riesgos históricos (RH) ya fueron mitigados en 2020 y sirven como base de comprensión del comportamiento original.

Fórmula de Cálculo MR: $\mathbf{MR = (A \times B \times C \times VP \times IS) / (CA \times 25)}$, donde: IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2

Tabla 12
Evaluación Cuantitativa RR-1: Fisuración Estructural Residual

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	El reforzamiento "espina de pez" (2020) reduce probabilidad de fisuras. Eventos sísmicos magnitud ≥6.0 Mw (documentados 1949, 1998) ocurren cada 8-12 años en zona sísmica V y pueden eventualmente superar capacidad del refuerzo implementado.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Nuevas fisuras comprometerían: (1) Integridad del refuerzo metálico instalado, (2) Inyecciones de lechada cal, (3) Requerirían intervención técnica especializada compleja. No afectaría totalidad estructural pero sí sistema de consolidación completo.
C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Riesgo concentrado en: (1) Interfaces refuerzo metálico-mampostería (~200 puntos perforación), (2) Zonas no reforzadas del sistema cupular (áreas entre perforaciones), (3) Uniones tambor-cúpula por concentración cargas sin pechinas.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Única cúpula románica en Ecuador. Técnica constructiva sin pechinas irreemplazable (sin precedentes comparativos). Elemento identitario de la región. Valoración INPC: 50/50 puntos (excepcional).
Vulnerabilidad	2 - Media	Reforzamiento "espina de pez" reduce vulnerabilidad original. Sin embargo, persisten: (1) Puntos débiles en interfaces mampostería-metal, (2) Sistema mixto sin modelamiento estructural comportamiento integrado, (3) Concentración cargas en 4 apoyos sin pechinas.
Exposición	4 - Muy Alta	Zona sísmica V mantiene exposición constante (PGA=0.45g). Sin cambios post-intervención en amenaza sísmica regional. Actividad sísmica frecuente documentada (IGEPN).
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Reforzamiento reciente 2020, (2) Inspecciones post-intervención por administrador bien, (3) Protocolo respuesta básico disponible. **PERO:** Sin monitoreo instrumental continuo, sin análisis estructural comportamiento mixto, sin protocolo inspección post-sísmica especializado.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles óptimos a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-1:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 4) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 3 × 3 × 4 × 3.0) / (2 × 25)
MR = 324 / 50 = **6.5**
Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Sismos ≥6.0 Mw cada 8-12 años

Tabla 13
Evaluación Cuantitativa RR-2: Infiltraciones Residuales Menores

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	2 - Raro (cada 10-50 años)	Sistema renovado 2020 funciona adecuadamente según inspecciones. Solo eventos precipitación extrema (>70mm/24h, recurrencia ~20 años según INAMHI) pueden superar ocasionalmente capacidad del sistema mejorado.
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Infiltraciones menores afectarían: (1) Acabados interiores (enlucidos, pinturas), (2) Elementos decorativos, (3) Podrían reactivar eflorescencias localizadas. Sin compromiso estructural mayor previsto.
C (Alcance)	2 - Parte moderada (21-40%)	Riesgo limitado a: (1) Cubiertas y zonas de remate cúpula, (2) Áreas perimetrales sistema tejuelo. Sistema principal de drenaje mejorado cubre ~70-80% del bien.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Única cúpula románica en Ecuador (criterio sin cambios).
Vulnerabilidad	2 - Media	Mejoras 2020 en impermeabilización reducen vulnerabilidad. Sin embargo, persiste: (1) Geometría compleja intrínseca cúpula, (2) Tejuelo gres colombiano (nuevo) sin historial largo plazo, (3) Uniones complejas linterna-cúpula.
Exposición	3 - Alta	Régimen pluvial regional 1,200-1,500 mm anuales constante. Eventos precipitación intensa ocasionales documentados (INAMHI). Orientación y altura aumentan exposición directa.
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Sistema drenaje renovado 2020, (2) Impermeabilización nueva, (3) Inspecciones regulares administrador bien (visuales). **PERO:** Sin monitoreo instrumental humedad, sin protocolo post-eventos pluviales extremos.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-2:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 3) / 2 = **2.5**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (2 × 2 × 2 × 4 × 2.5) / (2 × 25)
MR = 80 / 50 = **1.6**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Eventos precipitación extrema en época lluviosa

Tabla 14
Evaluación Cuantitativa RR-3: Disgregación Argamasas Residual

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	1 - Muy raro (cada 50+ años)	Consolidación química SILRES BS OH 100 (2020) detuvo "caída de arena" documentada. Proceso muy lento puede persistir en: (1) Zonas no tratadas, (2) Áreas con aplicación insuficiente por condiciones microclima. Manifestación visible esperada en horizonte >50 años.
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Disgregación lenta afectaría: (1) Cohesión superficial argamasas, (2) Apariencia estética, (3) Podría comprometer parcialmente inyecciones lechada cal. Consolidante no impermeabilizante permite "respiración" piedra (criterio técnico León Ruiz), reduciendo severidad.
C (Alcance)	2 - Parte moderada (21-40%)	Proceso limitado a: (1) Zonas no tratadas o tratamiento insuficiente (~20-30% estimado), (2) Áreas con mayor exposición, (3) Juntas no consolidadas. Tratamiento 2020 cubrió ~70-80% bien.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Única cúpula románica en Ecuador.
Vulnerabilidad	2 - Media	Consolidante reduce vulnerabilidad significativamente. Sin embargo: (1) Material natural (cal-arena) continúa sujeto a meteorización lenta, (2) Exposición directa persiste por retiro enlucidos 1976 (irreversible), (3) Sin capa protectora original.

Exposición	3 - Alta	Ambiente andino: (1) Variaciones térmicas diarias, (2) Humedad relativa alta, (3) Ciclos hielo-deshielo, (4) Viento, (5) Radiación UV altura. Factores meteorización constantes.
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Consolidación química reciente 2020, (2) Inspecciones visuales regulares, (3) Mantenimiento básico disponible. PERO: Sin monitoreo cohesión argamasas, sin protocolo re aplicación consolidante.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-3:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 3) / 2 = **2.5**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (1 × 2 × 2 × 4 × 2.5) / (2 × 25)
MR = 40 / 50 = **0.8**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Deterioro progresivo continuo (muy lento)

Tabla 15

Evaluación Cuantitativa RE-1: Incompatibilidad Electroquímica Acero-Piedra Pómez

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	2 - Raro (cada 10-50 años)	Proceso de corrosión lento. Acero inoxidable 316 retarda inicio. Sin embargo, ambiente húmedo andino + porosidad piedra pómez + ciclos térmicos activarán corrosión electroquímica. Manifestación visible esperada en 15-25 años (horizonte temporal), luego eventos corrosión cada 10-15 años.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Fallo del refuerzo comprometería: (1) Sistema consolidación completo instalado 2020, (2) Integridad inyecciones lechada cal, (3) Requeriría nueva intervención técnica compleja (remoción varillas + reparación perforaciones + nuevo refuerzo), (4) Posible daño piedra circundante por expansión óxidos.
C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Afecta: (1) ~200 puntos perforación con varillas 16mm, (2) Todas zonas reforzadas bóveda cañón + crucero, (3) Áreas críticas con mayor concentración esfuerzos. Extensión significativa del sistema cupular.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Único ejemplo de arquitectura románica en el Ecuador, con cúpula pétrea sobre crucero construida en piedra pómez y alto valor histórico-simbólico dentro del centro histórico de Pujilí.
Vulnerabilidad	3 - Alta	(1) Material histórico (piedra pómez porosa) sin experiencia previa compatibilidad acero inoxidable largo plazo, (2) Sin precedentes comparativos técnica, (3) Diferencia potenciales electroquímicos metal-piedra, (4) Humedad en poros piedra actúa como electrolito.
Exposición	3 - Alta	Ambiente andino: (1) Humedad relativa alta (precipitaciones 1,200-1,500mm), (2) Variaciones térmicas diarias significativas, (3) Ciclos hielo-deshielo, (4) Posible ingreso agua por micro-fisuras, (5) Temperatura media 12.4°C con fluctuaciones.
CA (Control Actual)	3 - Controles adecuados	(1) Inspecciones generales visuales (no especializadas en corrosión), (2) Mantenimiento básico disponible. PERO: Sin monitoreo específico corrosión (técnicas electroquímicas), sin protocolo detección temprana, sin análisis periódico de compatibilidad de materiales, sin plan de contingencia.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-1:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 3) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (2 × 3 × 3 × 4 × 3.0) / (3 × 25)
MR = 216 / 75 = **2.9**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Deterioro progresivo continuo (manifestación visible 15-25 años)

Tabla 16
Evaluación Cuantitativa RE-2: Concentración Tensiones en Interfaces de Refuerzo

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	Diferencia rigidez refuerzos metálicos vs. mampostería original genera concentraciones tensión. Eventos sísmicos magnitud ≥5.0 Mw (más frecuentes que ≥6.0) cada 5-8 años activan concentraciones. Sistema mixto sin modelamiento estructural comportamiento integrado.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Nuevas fisuras en zonas no reforzadas comprometerían: (1) Integridad sistema mixto histórico-contemporáneo, (2) Comportamiento estructural integrado, (3) Podrían propagarse desde interfaces hacia mampostería original, (4) Requeriría análisis estructural especializado + posible intervención adicional.
C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Rigidización diferencial afecta: (1) Comportamiento de toda estructura cupular (mampostería + anillos hormigón 1976 + refuerzo metal 2020), (2) Interfaces múltiples entre materiales diferentes, (3) Zonas críticas apoyo sin pechinas, (4) Sistema de transición cargas completo.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Único ejemplo de arquitectura románica en el Ecuador, con cúpula pétrea sobre crucero construida en piedra pómez, elemento estructural y compositivo singular que concentra el valor arquitectónico e histórico del templo
Vulnerabilidad	3 - Alta	(1) Sistema mixto histórico-contemporáneo sin precedentes comportamiento largo plazo, (2) Tres generaciones intervenciones (original + 1976 + 2020) sin análisis integrado, (3) Módulos elasticidad muy diferentes: piedra pómez (flexible) vs. hormigón armado (rígido) vs. acero (muy rígido), (4) Técnica sin pechinas concentra esfuerzos.

Exposición	4 - Muy Alta	Zona sísmica V (PGA=0.45g) mantiene exposición sísmica constante. Sismicidad regional frecuente activa repetidamente concentraciones tensión en interfaces. Sin cambios en amenaza post-intervención.
CA (Control Actual)	3 - Controles adecuados	(1) Inspecciones post-sísmicas visuales básicas, (2) Mantenimiento general disponible. **PERO:** Sin modelamiento estructural comportamiento mixto, sin análisis interfaces mampostería-hormigón-metal, sin monitoreo instrumental deformaciones, sin protocolo evaluación post-sísmica especializado.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-2:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 4) / 2 = **3.5**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 3 × 4 × 4 × 3.5) / (3 × 25)
MR = 504 / 75 = **6.7**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Eventos sísmicos ≥5.0 Mw cada 5-8 años

Tabla 17
Evaluación Cuantitativa RE-3: Pérdida Legibilidad Histórica Sistema Constructivo

Variable	**Valor**	**Justificación Detallada**
A (Frecuencia)	5 - Muy frecuente (anual)	Proceso irreversible ya completado (retiro de enlucidos 1976). Manifestación constante y creciente conforme aumentan intervenciones. Cada nueva consulta/estudio/intervención enfrenta dificultad interpretación.
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Afecta: (1) Comprensión técnica constructiva original, (2) Capacidad transmitir conocimiento tradicional, (3) Interpretación histórica edificio. No afecta**:** Integridad estructural física, seguridad, funcionalidad. Pérdida principalmente cultural-educativa.

C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Afecta: (1) Totalidad fábrica piedra expuesta (antes enlucida), (2) Múltiples intervenciones visibles (hormigón 1976 + metal 2020 + reparaciones), (3) Dificultad distinguir original de añadido en ~70% superficie, (4) Confusión sobre comportamiento estructural histórico.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Única cúpula románica en Ecuador. Valor testimonial y educativo sobre técnicas constructivas coloniales muy alto.
Vulnerabilidad	2 - Media	Gran parte de la cubierta ya afectada, proceso solicitado para solventaros (1) Decisión irreversible 1976, (2) Sin documentación exhaustiva estado pre-intervención, (3) Múltiples generaciones intervenciones aumentan complejidad, (4) Sin sistema señalización/interpretación diferenciada original vs. contemporáneo.
Exposición	2 - Media	Exposición limitada a: (1) Consultas técnicas especializadas, (2) Estudios académicos, (3) Formación profesionales restauración. Uso religioso cotidiano no afectado.
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Documentación técnica limitada y (2) Mantenimiento general disponible. Sin: (3) Documentación sistemática diferenciando original de añadido, (4) Sistema interpretación para visitantes/técnicos, (5) Registro fotográfico exhaustivo estado pre-1976, (6) Plan comunicación valor técnica constructiva original.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-3:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 2) / 2 = **2.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (5 × 2 × 4 × 4 × 2.0) / (2 × 25)
MR = 320 / 50 = **6.4**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo (irreversible)
Patrón de activación: Manifestación constante y creciente

Tabla 18

Evaluación Cuantitativa RE-4: Dependencia Mantenimiento Especializado

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	Consolidante SILRES requiere condiciones ambientales específicas para aplicación. Sistema mixto requiere inspecciones diferenciadas (piedra / hormigón / metal). Sin mantenimiento especializado programado, efectividad intervenciones puede perderse gradualmente cada 5-10 años.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Falta mantenimiento especializado causaría: (1) Pérdida efectividad consolidación química, (2) Reactivación disgregación argamasas, (3) Deterioro no detectado refuerzo metálico, (4) Fallo prematuro intervenciones 2020, (5) Necesidad nueva intervención integral compleja.
C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Afecta: (1) Todas zonas consolidadas químicamente (~70-80%), (2) Sistema refuerzo metálico completo (~200 puntos), (3) Interfaces materiales mixtos, (4) Sistema drenaje impermeabilización.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Único ejemplo de arquitectura románica en el Ecuador, con cúpula pétrea sobre crucero construida en piedra pómez y sistemas de refuerzo contemporáneos, que requieren mantenimiento especializado para garantizar la conservación de este elemento patrimonial singular.
Vulnerabilidad	3 - Alta	(1) Tecnología sofisticada (consolidante importado) requiere conocimiento especializado, (2) Sistema mixto complejo requiere capacidades técnicas diferenciadas, (3) Capacidades locales limitadas mantenimiento especializado, (4) Dependencia criterio experto externo.
Exposición	2 - Media	Riesgo condicionado a: (1) Disponibilidad presupuesto, (2) Continuidad administrativa, (3) Acceso especialistas calificados. Factores institucionales más que ambientales.
CA (Control Actual)	3 - Controles adecuados	(1) Administrador bien realiza inspecciones visuales regulares, (2) Mantenimiento general disponible. **PERO:** Sin: Programa mantenimiento especializado, protocolo reaplicación consolidante, capacitación personal local técnicas especializadas, contrato seguimiento técnico largo plazo.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-4:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 2) / 2 = **2.5**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 3 × 3 × 4 × 2.5) / (3 × 25)
MR = 270 / 75 = **3.6**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Deterioro progresivo por falta mantenimiento (5-10 años sin intervención)

3.2. Consolidación en Matriz de Riesgos

Tabla 19
Matriz de Riesgos Integrada - Iglesia Matriz de Pujilí

ID	Riesgo Identificado	Tipo Ocurrencia	VP	A	B	C	Vuln	Exp	CA	MR
RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Evento recurrente	4	3	3	4	3	4	3	**6.7**
RR-1	Fisuración estructural residual	Evento recurrente	4	3	3	3	2	4	2	**6.5**
RE-3	Pérdida legibilidad histórica sistema constructivo	Proceso acumulativo	4	5	2	4	2	2	2	**6.4**
RE-4	Dependencia de mantenimiento especializado	Proceso acumulativo	4	3	3	3	3	2	3	**3.6**
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Proceso acumulativo	4	2	3	3	3	3	3	**2.9**
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Evento recurrente	4	2	2	2	2	3	2	**1.6**
RR-3	Disgregación argamasas residual	Proceso acumulativo	4	1	2	2	2	3	2	**0.8**

Nota. **VP** = Valor Patrimonial (1-4), **A** = Frecuencia (1-5), **B** = Pérdida de Valor % (1-5), **C** = Alcance/Elementos Afectados (1-5), **Vuln** = Vulnerabilidad (1-4), **Exp** = Exposición (1-4), **CA** = Control Actual (1-4, donde 4 = controles óptimos), **MR** = Magnitud del Riesgo

FASE 4: Priorización y Análisis de Riesgo

4.1. Matriz de Priorización

Tabla 20

Matriz de Priorización de Riesgos según Magnitud y Valor Patrimonial

Código	Riesgo Identificado	MR	Magnitud	VP	Prioridad Final	Tiempo Respuesta
RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	6.7	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RR-1	Fisuración estructural residual	6.5	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-3	Pérdida legibilidad histórica sistema constructivo	6.4	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-4	Dependencia de mantenimiento especializado	3.6	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	2.9	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RR-2	Infiltraciones residuales menores	1.6	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Monitoreo continuo
RR-3	Disgregación argamasas residual	0.8	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Monitoreo continuo

Nota. **Criterios de clasificación de magnitud: MR < 10:** Riesgo BAJO, **10 ≤ MR < 30:** Riesgo MEDIO, **30 ≤ MR < 60:** Riesgo ALTO, **MR ≥ 60:** Riesgo CRÍTICO

4.2. Tipos de Ocurrencia y Requerimientos de Seguimiento

Tabla 21

Requerimientos de Seguimiento por Tipo de Ocurrencia

Código	Riesgo	Tipo Ocurrencia	Patrón Activación	Requerimientos Seguimiento
RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Evento recurrente	Sismos ≥5.0 Mw cada 5-8 años	• Modelamiento estructural comportamiento sistema mixto • Análisis elementos finitos interfaces mampostería-hormigón-metal • Evaluación especializada post-eventos sísmicos • Monitoreo instrumental deformaciones en puntos críticos
RR-1	Fisuración estructural residual	Evento recurrente	Sismos ≥6.0 Mw cada 8-12 años	• Monitoreo instrumental continuo fisuras con fisurómetros • Protocolo inspección post-sísmica especializado

				• Evaluación interfaces refuerzo-mampostería tras eventos • Análisis tendencias apertura fisuras
RE-3	Pérdida legibilidad histórica sistema constructivo	Proceso acumulativo (irreversible)	Manifestación constante, creciente con nuevas intervenciones	• Documentación exhaustiva diferenciando original de añadido • Registro fotográfico/3D estado actual completo • Sistema interpretación técnica para visitantes/especialistas • Plan comunicación valor técnica constructiva original
RE-4	Dependencia de mantenimiento especializado	Proceso acumulativo	Sin mantenimiento cada 5-10 años → pérdida efectividad	• Programa mantenimiento especializado quinquenal • Protocolo reaplicación consolidante SILRES • Capacitación personal local técnicas especializadas • Contrato seguimiento técnico largo plazo con especialistas
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Proceso acumulativo	Deterioro progresivo continuo (visible 15-25 años)	• Evaluaciones periódicas especializadas corrosión (técnicas electroquímicas) • Ensayos compatibilidad acero inoxidable-piedra pómez • Análisis tendencias deterioro largo plazo • Detección temprana productos corrosión
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Evento recurrente	Precipitaciones extremas >70mm/día época lluviosa	• Análisis post-eventos pluviales extremos • Evaluación estacional sistema drenaje (pre-época lluviosa) • Inspección tejuelo gres colombiano anual • Verificación impermeabilización áreas críticas
RR-3	Disgregación argamasas residual	Proceso acumulativo	Deterioro muy lento continuo (manifestación >50 años)	• Monitoreo visual cohesión argamasas anual • Evaluación efectividad consolidante SILRES quinquenal • Análisis tendencias disgregación zonas no tratadas • Protocolo reaplicación consolidante áreas críticas si necesario

4.3. Análisis de Riesgos

4.3.1. Hallazgos Principales

a. Efectividad de las intervenciones 2020:

- Todos los riesgos actuales tienen **MR < 10** (magnitud baja)
- La reducción de riesgos históricos fue significativa:
  - RH-1 (Fisuración estructural): **60-70%**
  - RH-2 (Infiltraciones): **80-85%**
  - RH-3 (Disgregación argamasas): **70-75%**
- El sistema "espina de pez" + consolidación química cumplió objetivos documentados (León Ruiz, 2020)
- La "caída de arena" cesó completamente post-intervención
- Las manchas de humedad y eflorescencias desaparecieron

b. Valor patrimonial excepcional eleva prioridad:

- VP = 4 (Excepcional) en todos los riesgos por ser única cúpula románica Ecuador
- Incluso riesgos con MR bajo (0.8-6.7) adquieren prioridad MEDIA-BAJA
- La irreemplazabilidad de la técnica constructiva justifica gestión preventiva exhaustiva
- Valoración INPC: 50/50 puntos confirman el carácter excepcional
- Pérdida implicaría desaparición de técnica constructiva única en el país

c. Gestión preventiva vs. correctiva:

- Ningún riesgo requiere intervención urgente (ninguno alcanza MR ≥ 10)
- Perfil de riesgo controlado permite planificación a largo plazo (2-5 años)
- Énfasis debe estar en monitoreo especializado y mantenimiento programado
- No se justifican intervenciones físicas inmediatas
- Recursos deben destinarse a sistemas de monitoreo y capacitación

d. Riesgos emergentes merecen atención:

- RE-2 (MR=6.7) y RE-1 (MR=2.9) son consecuencias directas de intervenciones
- Sistema mixto histórico-contemporáneo introduce complejidades nuevas
- Horizonte temporal 10-25 años requiere planificación anticipada
- Sin precedentes comparativos, el monitoreo científico es esencial
- Tres generaciones de intervenciones (original + 1976 + 2020) requieren análisis integrado

e. Tipos de ocurrencia identificados:

Eventos recurrentes (RR-1, RR-2, RE-2):

- Requieren análisis post-eventos específicos
- Evaluaciones programadas según periodicidad activación
- Protocolos de respuesta rápida
- Monitoreo inmediato tras eventos desencadenantes

Procesos acumulativos (RR-3, RE-1, RE-3, RE-4):

- Requieren análisis tendencias largo plazo
- Evaluaciones periódicas especializadas
- Monitoreo continuo evolutivo
- Detección temprana de cambios graduales

4.3.2. Sugerencias de Priorización-Acción (Largo Plazo 2-5 años)

Tabla 22
Matriz de Priorización - Acción

#	Código	Riesgo	MR	Acción Principal	Justificación Prioridad
1	RE-2	Concentración tensiones interfaces	6.7	Modelamiento estructural sistema mixto	• MR más alto identificado (6.7) • Sistema mixto sin modelamiento estructural • Zona sísmica V activa (PGA=0.45g) • Alcance extenso: afecta 61-80% del sistema estructural

2	RR-1	Fisuración estructural residual	6.5	Instalación fisurómetros + protocolo post-sísmico	• MR segundo más alto (6.5) • Históricamente documentado (sismos 1949, 1998) • Validación efectividad refuerzo "espina de pez" • Alcance considerable: 41-60% sistema estructural
3	RE-3	Pérdida legibilidad histórica	6.4	Documentación exhaustiva + sistema interpretación	• Proceso irreversible completado (1976) • Valor testimonial (técnica única) en riesgo • Oportunidad de documentar estado actual antes de futuras intervenciones • Confusión original vs añadido en 70% superficie
4	RE-4	Dependencia mantenimiento especializado	3.6	Programa mantenimiento quinquenal + capacitación	• Riesgo transversal crítico • Afecta efectividad todas intervenciones 2020 • Posible reactivación riesgos históricos sin mantenimiento • Capacidades locales limitadas
5	RE-1	Incompatibilidad electroquímica	2.9	Programa monitoreo corrosión + ensayos laboratorio	• Horizonte largo (15-25 años) • Sin precedentes compatibilidad acero-piedra pómez • Investigación preventiva necesaria • Alcance considerable: ~200 puntos perforación

Tabla 23

Plan de Acción RE-2: Concentración Tensiones en Interfaces

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	• Contratar análisis estructural especializado • Modelamiento elementos finitos (mampostería + hormigón + metal) • Establecer protocolo inspección post-sísmica	Ingeniero estructural especialista + INPC	• Modelo estructural 3D • Informe análisis tensiones • Protocolo post-sísmico • Identificación puntos críticos
Mediano (1-3 años)	• Instalar sensores deformación 6-8 puntos estratégicos • Evaluación post-sismos ≥5.0 Mw • Análisis comparativo modelado vs. real	INPC + especialista	• Sistema monitoreo activo • Base datos deformaciones • Reportes post-eventos • Validación modelo

Largo (3-5 años)	• Actualizar modelo con datos empíricos • Evaluar necesidad intervención correctiva • Protocolo mantenimiento preventivo interfaces	INPC + especialista	• Modelo actualizado • Recomendaciones técnicas • Protocolo largo plazo

Tabla 24

Plan de Acción RR-1: Fisuración Estructural Residual

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	• Instalar 6 fisurómetros puntos críticos: - 3 interfaces refuerzo-mampostería - 2 uniones tambor-cúpula - 1 zona no reforzada (control) • Establecer línea base mediciones • Protocolo inspección post-sísmica (24-72h)	INPC + técnico instrumentación	• Fisurómetros instalados • Línea base mediciones • Protocolo post-sísmico • Manual lectura
Mediano (1-3 años)	• Lectura trimestral fisurómetros • Evaluación post-sismos ≥6.0 Mw • Inspección interfaces (ultrasonido, termografía) • Correlación datos sísmicos IGEPN	INPC + especialista	• Base datos histórica • Análisis tendencias • Reportes post-eventos • Correlaciones estadísticas
Largo (3-5 años)	• Análisis estadístico fisuras vs. Sismos • Evaluación efectividad “espina de pez” • Decisión reforzamiento adicional (si necesario)	INPC + especialista	• Estudio estadístico • Evaluación efectividad • Recomendaciones técnicas

Tabla 25

Plan de Acción RE-4: Dependencia Mantenimiento Especializado

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Elaborar Programa Mantenimiento Quinquenal:** • Protocolo re aplicación SILRES (condiciones microclima)	INPC + especialista + administrador bien	• Programa mantenimiento formal • Manual procedimientos • Personal capacitado • Responsable técnico designado

	• Inspección refuerzo metálico (corrosión) • Evaluación sistema drenaje pre-época lluviosa • Cronograma + presupuesto **B. Capacitación Personal Local (3 módulos):** • Inspección visual especializada • Detección temprana patologías • Protocolo comunicación urgencias		
Mediano (1-3 años)	• Contrato seguimiento técnico especialistas (5 años) • Implementar programa mantenimiento • Re aplicación SILRES zonas críticas (si necesario)	INPC + Arq. León Ruiz (u otro)	• Contrato formalizado • Registro actividades • Reportes anuales • Consolidación ejecutada
Largo (3-5 años)	• Evaluar efectividad programa • Ajustar protocolos según experiencia • Fortalecer autonomía local	INPC + administrador	• Evaluación programa • Protocolos optimizados • Capacidades locales fortalecidas

Tabla 26

Plan de Acción RE-3: Pérdida Legibilidad Histórica

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Documentación Exhaustiva:** • Fotografía sistemática 500+ imágenes • Escaneo 3D completo (nube puntos) • Planimetría diferenciada materiales/épocas **B. Investigación Histórica:** • Búsqueda fotografías/planos pre-1976 • Entrevistas testimoniales intervención 1976	INPC + topógrafo + historiador	• Archivo fotográfico digital • Modelo 3D • Planos diferenciados • Informe histórico
Mediano (1-3 años)	**A. Sistema Interpretación Técnica:**	INPC + diseñador + educador	• Señalización instalada • Folleto técnico

	• Señalización diferenciada (visitas técnicas) • Material educativo técnica constructiva • Guía interpretativa visitantes **B.** Plan de Comunicación		• Video documental 15-20 min • Maqueta didáctica
Largo (3-5 años)	• Integración archivo digital INPC • Publicación académica arbitrada • Protocolo documentación intervenciones futuras	INPC	• Base datos centralizada • Publicación científica • Protocolo formal

Tabla 27

Plan de Acción RE-1: Incompatibilidad Electroquímica Acero-Piedra

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Programa Monitoreo Corrosión:** • Seleccionar 10 puntos perforación críticos • Técnicas electroquímicas (potencial, resistencia polarización) • Inspección visual detallada (lupa 10x) **B. Ensayos Laboratorio:** • Compatibilidad acero 316 - piedra pómez Pujilí • Condiciones aceleradas (ambiente andino simulado) • Análisis microscópico interfaces (SEM-EDS)	INPC + laboratorio especializado	• Programa monitoreo establecido • Línea base corrosión • Informe ensayos laboratorio • Recomendaciones técnicas
Mediano (1-3 años)	• Evaluación periódica corrosión (semestral → anual) • Análisis tendencias deterioro • Identificar factores aceleradores	INPC + especialista	• Base datos evolutiva • Análisis tendencias • Mapeo zonas vulnerables
Largo (3-5 años)	• Evaluar necesidad tratamiento preventivo • Protocolo detección temprana fallo refuerzo	INPC + especialista	• Evaluación necesidad intervención • Protocolo alerta temprana • Plan contingencia

	• Plan contingencia sustitución (si necesario horizonte 15-20 años)

4.3.3. Monitoreo Rutinario

Tabla 28
Actividades Monitoreo Rutinario

Riesgo	Frecuencia	Actividades Clave	Indicadores Alerta	Responsable
RR-2 Infiltraciones residuales	Anual (pre-época lluviosa) Post-eventos >70mm/24h	• Inspección sistema drenaje • Limpieza canales/bajantes • Verificación tejuelo gres • Detección manchas humedad	• Manchas humedad nuevas • Goteras activas • Eflorescencias nuevas • Obstrucciones recurrentes	Administrador bien + INPC (anual)
RR-3 Disgregación argamasas	Anual (visual) Quinquenal (especializada)	• Recorrido superficies consolidadas • Fotografías comparativas • Evaluación efectividad SILRES (5 años) • Pruebas dureza/cohesión	• Reaparición “caída arena” • Cambios textura superficial • Pérdida dureza • Desprendimientos localizados	Administrador bien + especialista (quinquenal)

FASE 5. Nivel de Confianza y Limitaciones del Estudio

5.1. Nivel de Confianza

Nivel de confianza general: MEDIO-ALTO (85%)

Tabla 29
Fundamentos del Nivel de Confianza

Componente Evaluado	Nivel Confianza	Fundamento	Fuentes
Intervenciones documentadas	95%	Documentación exhaustiva intervención 2020: análisis materiales, caracterización morteros, criterios técnicos,	• Estudio Arq. León Ruiz 2020 • Entrevista detallada profesional

		especificaciones, resultados verificados	• Registros INPC
Levantamiento campo	90%	Inspección detallada pre-intervención 2020, identificación patologías, registro fotográfico	• Archivo INPC • Inspecciones visuales
Diagnósticos estructurales	85%	Análisis con ingeniero especializado 2020, determinación naturaleza fisuramientos	• Criterio técnico ing. Estructural • Análisis cualitativo
Valoración patrimonial	100%	Fichas inventario INPC completas 2022-2024, 50/50 puntos	• Fichas INPC actualizadas • Baremo oficial
Datos amenazas	95%	Fuentes oficiales: NEC-SE-DS, IGEPN, INAMHI, registros históricos	• Mapas amenaza vigentes • Datos meteorológicos

Tabla 30
Factores que reducen la confianza

Factor Limitante	Reducción	Impacto en Evaluación
Sin modelamiento estructural sistema mixto	-5%	RE-2, RR-1 basados en análisis teórico vs. numérico
Sin monitoreo instrumental continuo post-2020	-3%	Frecuencias (A) basadas en estadísticas regionales vs. datos específicos
Accesibilidad restringida zonas altas	-2%	Evaluación interfaces zona alta incompleta
Sin precedentes comparativos técnica única	-2%	C1-1, RE-1, RE-2 basados en extrapolación vs. experiencia empírica
Sin estudios compatibilidad electroquímica largo plazo	-3%	RE-1 horizonte temporal (15-25 años) es estimación conservadora

Nivel de confianza estimado: 100% - 15% = 85% → MEDIO-ALTO

5.2. Limitaciones Documentadas del Estudio

Tabla 31
Resumen de Limitaciones Identificadas

Limitación	Descripción	Impacto Principal	Mitigación Recomendada
L1 Accesibilidad restringida	Zonas altas cúpula (linterna, zona superior) requieren andamiaje especializado	Evaluación interfaces refuerzo zona alta incompleta. Posibles patologías no detectadas	• Inspección exhaustiva con andamiaje cada 5 años • Drones fotografía alta resolución • Termografía infrarroja remota

L2 Ausencia estudios estructurales	Sin modelamiento elementos finitos sistema mixto. Sin análisis dinámico sísmico. Sin caracterización geotécnica sitio	Evaluación concentración tensiones basada en teoría vs. análisis numérico. Imposible cuantificar distribución esfuerzos exacta	• Contratar modelamiento (PRIORIDAD 1) • Análisis elementos finitos • Estudio geotécnico específico
L3 Falta información histórica	Sin fotografías/planos pre-1976. Trazabilidad intervenciones XVIII-XIX parcial	Evaluación pérdida legibilidad basada en inferencias. Imposible reconstruir aspecto original con certeza	• Investigación histórica exhaustiva • Búsqueda archivos/colecciones privadas • Entrevistas testimoniales
L4 Limitaciones tecnológicas diagnóstico	Sin escaneo 3D, termografía infrarroja, georradar, sensores permanentes	Evaluación basada en inspección visual vs. diagnóstico instrumental. Imposible detectar patologías ocultas	• Escaneo 3D + termografía • Instalación sensores (PRIORIDADES 1-2) • Georradar si sospechas severas
L5 Sin precedentes comparativos	Técnica sin pechinas única Ecuador. Sin experiencia acero inoxidable-piedra pómez largo plazo	Evaluación RE-1, RE-2 basada en extrapolación vs. evidencia empírica. Incertidumbre comportamiento largo plazo	• Monitoreo científico riguroso • Ensayos laboratorio compatibilidad • Publicación resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusión General

La Iglesia Matriz de Pujilí presenta un perfil de riesgo BAJO-CONTROLADO tras las intervenciones de 2020. Todos los riesgos actuales tienen MR < 10, con reducción estimada de 60-85% respecto a riesgos históricos. El valor patrimonial excepcional (VP=4) por ser la única cúpula románica sin pechinas en Ecuador justifica implementar un Programa de Monitoreo Especializado enfocado en gestión preventiva.

Tabla 32
Síntesis de Hallazgos Principales

Hallazgo	Evidencia	Implicación
1 Intervenciones 2020 altamente efectivas	• Todos MR < 10 • Reducción 60-85% riesgos históricos • Cesó “caída arena” • Desaparecieron manchas humedad	**No se requieren intervenciones correctivas urgentes** Planificación largo plazo (2-5 años) viable

2 Valor patrimonial excepcional eleva prioridad	• VP=4 en todos riesgos • Única cúpula románica Ecuador • Técnica sin pechinas irreemplazable • 50/50 puntos INPC	**Incluso riesgos MR bajo requieren atención** Gestión preventiva exhaustiva justificada
3 Riesgos emergentes requieren atención proactiva	• RE-2 (MR=6.7): sistema mixto sin modelamiento • RE-1 (MR=2.9): sin precedentes compatibilidad • 3 generaciones intervenciones sin análisis integrado	**Monitoreo científico es esencial** Sin precedentes comparativos disponibles
4 Dependencia mantenimiento especializado crítica	• RE-4 (MR=3.6): tecnologías sofisticadas • Consolidante SILRES requiere condiciones específicas • Capacidades locales limitadas	**Programa de mantenimiento quinquenal y capacitación urgentes** Sostenibilidad largo plazo en riesgo
5 Tipos ocurrencia condicionan estrategias	• Eventos recurrentes (RR-1, RR-2, RE-2): sismos, lluvias • Procesos acumulativos (RR-3, RE-1, RE-3, RE-4): deterioro gradual	**Protocolos diferenciados requeridos** Post-eventos vs. monitoreo continuo
6 Pérdida legibilidad histórica irreversible	• RE-3 (MR=6.4): retiro de enlucidos 1976 • Confusión original vs. añadido en 70% superficie • Sin documentación estado pre-1976	**Documentación exhaustiva urgente** Antes de nuevas intervenciones futuras

Recomendaciones

Se recomienda que la próxima actualización de la evaluación estructural se realice en un plazo aproximado de cinco años (estimado al año 2031), o de manera inmediata en caso de presentarse un evento sísmico de magnitud igual o superior a 6.0 Mw. Este plazo deberá adelantarse si se registran condiciones que puedan comprometer el comportamiento estructural de la cúpula, tales como la ocurrencia de un sismo de magnitud similar con epicentro a menos de 50 km, la aparición de nuevas fisuras con aberturas superiores a 3 mm, la reaparición de procesos de disgregación de las argamasas evidenciados por caída de material granular, la detección de corrosión avanzada en los elementos metálicos de refuerzo, o la planificación de una nueva intervención estructural que modifique las condiciones actuales del bien patrimonial.

Bibliografía

León, H. (2025). Entrevista personal. Ejecutor de la intervención de la Iglesia Matriz de Pujilí 2020. Ecuador.

Anexo Fotográfico

Foto 1: Vista lateral de la cúpula y nave longitudinal, Iglesia Matriz de Pujilí



Nota. Vista aérea lateral de la cúpula de la Iglesia Matriz de Pujilí, revestida con piezas cerámicas vidriadas policromadas dispuestas en patrón circular. Se observa la nave longitudinal cubierta con bóveda de cañón y muros de mampostería pétrea, así como el óculo lateral y la linterna superior, evidenciando el sistema constructivo tradicional y la volumetría característica del conjunto. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Foto 2: Eje longitudinal con secuencia de cúpulas y torres frontales



Nota. Perspectiva aérea alineada al eje longitudinal del templo, donde se identifica la cúpula central jerarquizada y las cúpulas secundarias que articulan las cubiertas laterales. En segundo plano se distinguen las torres de fachada y la relación espacial con el parque central y el entorno urbano inmediato, destacando la composición simétrica del edificio religioso. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Foto 3: Vista posterior y articulación volumétrica de cubiertas



Nota. Vista aérea posterior que permite apreciar la articulación entre la cúpula principal, cúpulas menores y cubiertas abovedadas revestidas con cerámica vidriada. Se observan encuentros de planos, escalinatas de acceso a cubierta y elementos de evacuación pluvial. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Anexo 11. Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Catedral de Latacunga

FASE 1: Establecimiento del Contexto

1.1. Bien Analizado

Cúpula octogonal con sistema de bóvedas de cañón corrido de la Iglesia Catedral de Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador.

Características técnicas distintivas:

- **Técnica constructiva:** Cúpula octogonal sobre tambor con bóvedas de cañón corrido en nave principal y crucero
- **Material:** Mampostería de piedra pómez y ladrillo, con morteros de cal-arena
- **Sistema estructural:** Pórticos invertidos de 220 x 100 cm amarrados por estribos superiores para contrarrestar empujes de bóveda
- **Sistema de cubierta:** Tejuelo vidriado de 15 x 15 cm decorativo multicolor sobre masillado impermeabilizante, con sistema de drenaje mediante canales y bajantes
- **Cúpula principal:** Inspirada en la cúpula de San Pedro de Roma, con diseño octogonal
- **Configuración:** Tres naves orientadas norte-sur con crucero, dos torres gemelas y cúpula octogonal en el crucero
- **Cimentación:** Piedra molón
- **Elementos distintivos:** Altar en piedra pómez, torreón con carrillón

1.2. Horizonte Temporal

10 años (2025-2035): Período que corresponde al ciclo de vida esperado del sistema de impermeabilización renovado en 2021-2022 y al período de observación crítico del sistema de reforzamiento estructural implementado.

Este horizonte permite:

- Evaluación del comportamiento del sistema de reforzamiento “espina de pez” con varillas de acero inoxidable de 16 mm a corto-mediano plazo
- Monitoreo de la efectividad de las inyecciones de mortero hidráulico de cal en fisuras estructurales

- Detección temprana de riesgos emergentes derivados de la intervención (corrosión, incompatibilidades de materiales)
- Seguimiento de la vida útil del sistema de impermeabilización renovado (típicamente 10-15 años)
- Análisis de comportamiento ante eventos sísmicos recurrentes esperados en la zona

Nota metodológica: El proyecto ejecutado 2021-2022 se tituló oficialmente "Restauración Arquitectónica Parcial de la Iglesia la Catedral de Latacunga" (GAD Municipal Latacunga, 2021), con enfoque en conservación preventiva emergente y mantenimiento. El alcance específico incluyó intervención de bóvedas del crucero y naves laterales: en el extradós (limpieza, retiro y reposición de tejuelo), y en el intradós (arreglo de grietas y pintura). Dentro de este proyecto de restauración arquitectónica se implementaron componentes con implicaciones estructurales (sistema "espina de pez" con varillas acero inoxidable 16mm, inyecciones de mortero hidráulico de cal), cuya efectividad a mediano-largo plazo se evalúa en el presente análisis.

1.3. Contexto Patrimonial

Valor patrimonial excepcional = 4

Características patrimoniales únicas:

- **Valor histórico-testimonial excepcional:** Centro neurálgico de la campaña de evangelización de los Agustinos en la región, con alcance a múltiples asentamientos nativos (Sigchos, Isinliví, Angamarca, Pangua, Poaló, Cusubamba, Salache, San Agustín del Callo, Barracas)
- **Testimonio de resiliencia comunitaria:** Múltiples reconstrucciones post-terremoto (1768, 1797) documentan la capacidad de respuesta de la comunidad latacungueña
- **Hito arquitectónico y urbano:** Elemento central del centro histórico de Latacunga, con valoración de primer orden
- **Singularidad arquitectónica:** Cúpula octogonal inspirada en San Pedro de Roma, elemento distintivo único en el contexto regional
- **Sistema estructural sofisticado:** Pórticos invertidos con estribos superiores demuestran técnicas constructivas avanzadas para la época
- **Valoración INPC:** Puntuación patrimonial completa según baremo del Instructivo para fichas de inventario (2024)

Uso actual: Culto religioso (uso original conservado). La Catedral funciona como sede catedralicia, con celebraciones regulares, eventos religiosos especiales y función comunitaria continua.

Entorno: Urbano consolidado de primer orden. Ubicada en el corazón del centro histórico de Latacunga, entre las calles General Maldonado y Quito, frente a la plaza principal. Integrada en tramo homogéneo con valor patrimonial (ITHOV).

1.4. Capacidades Locales

1.4.1. Capacidades Técnicas

Fortalezas:

- **Experiencia documentada en intervenciones patrimoniales:** Intervención integral 2021-2022 ejecutada por el INPC con profesionales especializados (memoria técnica del Arq. Lozano, 2021)
- **Conocimiento técnico especializado aplicado:** Implementación exitosa de tecnologías contemporáneas adaptadas a patrimonio:
    - Sistema de reforzamiento "espina de pez" con varillas de acero inoxidable de 16 mm
    - Inyecciones de mortero hidráulico de cal con dosificaciones específicas (cal hidratada 3, puzolana roja/café 1, cemento portland 1, arena de río lavada 2, agua 3, aditivo estabilizador 2% del peso de cemento)
- **Historial de intervenciones documentado:** Registros de intervenciones desde 1830, con documentación detallada de la restauración 1975 y la intervención integral 2021-2022
- **Acceso a institucionalidad patrimonial:** Coordinación efectiva con INPC (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural)

Limitaciones:

- **Sin monitoreo instrumental continuo post-intervención 2021-2022:** Ausencia de fisurómetros, inclinómetros o sensores de humedad-temperatura para seguimiento cuantitativo
- **Sin modelamiento estructural del sistema completo:** No se cuenta con análisis de elementos finitos del comportamiento integrado del sistema de reforzamiento
- **Acceso limitado a tecnologías de diagnóstico avanzadas:** No se dispone de escáner 3D, termografía infrarroja, georradar o sistemas de monitoreo remoto
- **Capacidades locales de mantenimiento especializado limitadas:** Dependencia de expertos externos para intervenciones técnicas complejas (consolidación, tratamientos químicos, reforzamientos)

- **Falta de precedentes comparativos:** Sistema de reforzamiento “espina de pez” sin experiencia documentada a largo plazo en estructuras similares de la región

- **Sin estudios estructurales previos exhaustivos:** Componentes de consolidación estructural implementados sin análisis estructural riguroso previo, sin matriz de evaluación de riesgos estructurales, sin caracterización de materiales completa (Mena, 2025: “se omiten porque encarecen obra”)

- **Sin perspectiva del ingeniero estructural responsable del proyecto 2021-2022:** No se cuenta con entrevista o documentación del profesional que diseñó los componentes de consolidación, limitando acceso a criterios técnicos estructurales aplicados

1.4.2. Capacidades Económicas

Fortalezas:

- **Historial de financiamiento confirmado:** Intervenciones previas ejecutadas exitosamente con presupuesto estatal (1975, 2021-2022)

- **Inversión significativa reciente:** Presupuesto considerable ejecutado en la intervención integral 2021-2022, demostrando capacidad de movilización de recursos

- **Fuentes de financiamiento múltiples:** Recursos públicos (INPC, Ministerio de Cultura), eclesiásticos (Diócesis), y potencial de cooperación internacional para bienes de valor excepcional

- **Presupuesto regular básico:** Disponibilidad de recursos para mantenimiento ordinario y preventivo

Limitaciones:

- **Dependencia de ciclos presupuestarios estatales:** Planificación sujeta a disponibilidad presupuestaria anual del INPC y entidades gubernamentales

- **Costos relativos altos para mantenimiento especializado:** Técnicas avanzadas (consolidantes químicos, reforzamientos metálicos) requieren inversiones significativas en contexto local

- **Sin fondo de emergencia específico:** Ausencia de reserva económica para respuesta inmediata ante eventos imprevistos (sismos, daños súbitos)

- **Limitada capacidad de respuesta rápida:** Tiempo de gestión presupuestaria puede demorar respuesta ante emergencias

1.4.3. Capacidades Institucionales

Fortalezas:

- **Marco normativo patrimonial vigente y aplicado:**
    - Ley Orgánica de Cultura (2016)
    - Ley de Patrimonio Cultural (2004)
    - Normativa específica del INPC
    - LOGIRD - Ley Orgánica de Gestión Integral de Riesgo de Desastres (2024)
    - Cartas internacionales (Carta de Venecia, 1964)
- **Registro patrimonial actualizado:** Fichas de inventario INPC completas y actualizadas (2015, 2024) con valoración conforme al Baremo del Instructivo
- **Coordinación interinstitucional efectiva:** Trabajo conjunto documentado entre INPC, Diócesis de Latacunga, y autoridades municipales locales
- **Capacidad demostrada de gestión de proyectos complejos:** Ejecución exitosa de la intervención integral 2021-2022 con múltiples especialidades (arquitectura, ingeniería estructural, restauración, conservación)
- **Competencias institucionales claras:** INPC con atribuciones definidas para intervención, seguimiento y control de bienes patrimoniales

Limitaciones:

- **Protocolos de monitoreo post-intervención en desarrollo:** No se ha implementado un programa formalizado de inspecciones periódicas especializadas post-2022
- **Sin programa de mantenimiento preventivo quinquenal formalizado:** Ausencia de planificación estructurada a mediano plazo con cronogramas, responsables y presupuestos asignados
- **Coordinación interinstitucional predominantemente reactiva:** Actuación principalmente ante eventos o problemáticas identificadas, más que prevención sistemática
- **Falta de protocolo de transferencia de conocimiento:** No se ha establecido sistema formal de capacitación al personal local de custodia sobre las técnicas y criterios aplicados en 2021-2022.
- **Participación del INPC limitada a control técnico durante ejecución:** El Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (organismo patrimonial rector) no participó en la

fase de diseño del proyecto “Restauración Arquitectónica Parcial” 2021-2022. El INPC solo realizó visitas de control técnico durante la ejecución de obra con “recomendaciones generales” (Mena, 2025). El proyecto fue diseñado y contratado por el GAD Municipal de Latacunga sin consulta previa al INPC, quien tuvo conocimiento “cuando se estaban realizando ya los trabajos” (Mena, 2025). Esta ausencia del ente rector en etapa de planificación limita la aplicación integral de criterios patrimoniales especializados desde el diseño conceptual del proyecto.

- **Sin protocolo de consulta previa institucional formalizado:** La intervención se diseñó, contrató y adjudicó sin participación del INPC en fase de estudios previos. Esta situación refleja debilidades en los mecanismos de coordinación interinstitucional preventiva entre gobiernos autónomos descentralizados y el ente rector del patrimonio cultural, comprometiendo la supervisión técnica especializada desde etapas tempranas del proyecto.

- **Ausencia de perspectiva estructural especializada en documentación disponible del proyecto:** No se cuenta con entrevista, informes técnicos o documentación del ingeniero estructural responsable del diseño y supervisión de los componentes con implicaciones estructurales (sistema “espina de pez”, inyecciones, consolidaciones) implementados dentro del proyecto de restauración arquitectónica 2021-2022. La información disponible proviene de: (1) Perfil de Proyecto y memoria técnica arquitectónica (Arq. Víctor Lozano, GAD Municipal), (2) Entrevista con técnico de control patrimonial del INPC (Rest. Edison Mena). Esta limitación impide acceso directo a los criterios estructurales, análisis técnicos y justificaciones que fundamentaron las decisiones de consolidación estructural implementadas.

FASE 2: Identificación de Riesgos (ABC + GRD)

2.1. Revisión Documental

2.1.1. Informes de Intervención Disponibles

Tabla 1
Historial de Intervenciones Documentadas

Período	Intervención	Documentación disponible
1698-1757	Construcción original	Documentación histórica básica disponible
1768	Terremoto devastador	Registro histórico del evento. Destrucción severa documentada
1830	Inicio reconstrucción	Documentación básica. Marca inicio nueva era post-terremoto
1850	Nueva edificación	Documentación básica: • Configuración base con dos cruceros • Construcción de capilla • Incorporación del atrio

1850-1935	Dos reconstrucciones significativas	Documentación básica: • Incorporación atrio • Capilla presbiterial derecha • Torreón con arquerías y remate islámico
Finales s. XIX	Añadido del torreón distintivo	Documentación básica: • Torreón con arquerías • Remate islámico • Perfil actual de la Catedral
1975	Trabajos de restauración y ornamentación	Documentación básica disponible (INPC, 2015)
2021-2022	Proyecto: “Restauración Arquitectónica Parcial de la Iglesia la Catedral de Latacunga” Enfoque: Conservación preventiva emergente y mantenimiento	Documentación oficial disponible: • Perfil de Proyecto (GAD Municipal Latacunga, 18/11/2021) • Memoria técnica Arq. Víctor Lozano (Analista de Regulación Cantonal, GAD Municipal) Alcance específico ejecutado: • Intervención bóvedas crucero y naves laterales • Extradós: limpieza, retiro y reposición tejuelo vidriado decorativo • Intradós: arreglo de grietas y pintura • Sistema “espina de pez”: varillas acero inoxidable 16mm • Inyecciones: mortero hidráulico de cal • Consolidación piedra: resina de silicón • Renovación impermeabilización: malla electrosoldada + tejuelo • Tratamiento biocida y herbicida • Re-entablado pisos madera Documentación parcial - Limitaciones identificadas: • Sin estudios estructurales previos exhaustivos para componentes de consolidación estructural (Mena, 2025: “se omiten porque van a encarecer la obra”) • Sin caracterización de materiales completa en fase de diseño • Sin matriz de evaluación de riesgos estructurales formalizada • INPC no participó en fase de diseño, solo control técnico durante ejecución • Proyecto ejecutado por GAD Municipal con “acompañamiento técnico” INPC R3 Entrevistas disponibles: • Rest. Edison Mena (técnico control INPC, 30 años experiencia patrimonio) • No disponible: Ingeniero estructural responsable componentes consolidación

2.1.2. Fichas de Inventario INPC

Valoración patrimonial basada en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024).

Tabla 2. Valoración Patrimonial por Componentes

Componente	Puntuación	Detalle
Antigüedad	15/15	Colonial siglo XVI-XIX (CO): construcción 1698-1757, reconstrucción desde 1830
Entorno Urbano Natural	10/10	Integrada a tramo homogéneo con valor (ITHOV). Área de primer orden centro histórico
Histórico-Testimonial-Simbólico	10/10	Valor simbólico sociocultural (identidad). Centro evangelización agustina. Testimonio resiliencia (terremotos 1768, 1797)
Tipológico Funcional	5/5	Conserva identificación tipológica + uso original (culto religioso)
Estético Formal	5/5	Identificación estilística (tradicional con elementos eclécticos) + composición formal
Técnico Constructivo	5/5	Tecnología y materiales tradicionales + contemporáneos. Sistema mixto post-intervención 2021-2022
TOTAL	50/50	Valoración Excepcional

2.1.3. Registros Históricos de Eventos

Tabla 3
Registros Históricos de Eventos

Eventos Históricos	Detalle
Eventos sísmicos documentados	• 1768: Terremoto devastador. Destrucción de edificación original (1698-1757) • 1797: Nuevo terremoto con daños significativos • Reconstrucciones múltiples documentadas desde 1830
Contexto sísmico actual	• Zona sísmica alta: Zona V según NEC-SE-DS (PGA=0.40-0.45g, máxima categoría de peligrosidad sísmica en Ecuador) • Región andina central con actividad sísmica frecuente • Latacunga en zona de influencia del sistema de fallas activas de la Cordillera Oriental y vulcanismo del Cotopaxi • Historial de eventos sísmicos recurrentes en la provincia de Cotopaxi
Eventos hidrometeorológicos	• Régimen pluvial: Clima de sierra andina con precipitaciones estacionales; 1,000-1,400 mm anuales (INAMHI). Distribución bimodal de precipitaciones con períodos secos marcados (junio-septiembre) e intensidades variables asociadas a la altitud. • Temperatura: Variable por altitud (~2,750 msnm) • Ciclos térmicos: Variaciones diarias significativas

Patologías históricas documentadas	• Fisuras en bóvedas y cúpula (previo 2021-2022) • Proliferación de microorganismos: líquenes, eflorescencias, hongos • Filtraciones: deterioro sistema tejuelo permitía ingreso agua • Vegetación: sobre cubierta con penetración radicular
Eventos volcánicos	• Proximidad al Volcán Cotopaxi (≈25 km), con vientos predominantes en la región andina ecuatoriana que transportan las cenizas hacia el occidente del volcán, lo que implica una alta probabilidad de afectación por caída de ceniza (Instituto Geofísico - EPN, 2017b). • Evento eruptivo significativo del volcán Cotopaxi en agosto de 2015, que produjo emisiones de ceniza (Troncoso et al., 2017). • Amenaza secundaria ante posible dispersión de ceniza proveniente del Volcán Tungurahua durante su periodo eruptivo 1999–2016 (Instituto Geofísico - EPN, 2017a).

2.2. Aplicación de Lista de Verificación ABC-GRD

Se presentan los resultados de la aplicación de la Lista de Verificación para el Análisis de Riesgos en Cúpulas de Iglesias Patrimoniales. La metodología integra el análisis de tres dimensiones:

- **Sección A (Agentes de deterioro - Método ABC):** Manifestaciones físicas observables del daño
- **Sección B (Amenazas - GRD):** Eventos o fuerzas externas que pueden desencadenar daño
- **Sección C (Vulnerabilidades específicas):** Condiciones intrínsecas de la cúpula que amplifican el impacto de las amenazas

Los resultados se organizan en tablas que documentan solo los ítems identificados como presentes o aplicables al caso de estudio, siguiendo el principio de correspondencia entre amenazas (B), vulnerabilidades (C) y manifestaciones observables (A).

Tabla 4

Sección A - Agentes de Deterioro Identificados (Método ABC)

Categoría	Código	Manifestación Observable	Observaciones Detalladas
A1 - Fuerzas Físicas Directas	A1-1	Fisuras en estructura de la cúpula	HISTÓRICO (previo 2021): Fisuras documentadas en bóvedas de cañón corrido y cúpula octogonal. MITIGACIÓN (2021-2022): Sistema “espina de pez” aplicado con varillas de acero inoxidable 16mm mediante perforaciones verticales y horizontales. Adherencia con mortero especializado.
	A1-2	Grietas en tambor y pechinas	HISTÓRICO (previo 2021): Fisuras en tambor que soporta cúpula octogonal. MITIGACIÓN (2021-2022): Inyecciones de mortero hidráulico de cal para consolidación estructural.
A4 - Agua	A4-1	Filtraciones por cubiertas	HISTÓRICO (previo 2021): Sistema de tejuelo vidriado deteriorado permitía ingreso de agua lluvia. MITIGACIÓN (2021-2022): Retiro masillado deteriorado + aplicación nuevo sistema con malla electrosoldada 5:15 de 5mm + tejuelo 15x15cm decorativo multicolor.
	A4-6	Manchas de humedad en paramentos	HISTÓRICO (previo 2021): Manchas de humedad interior relacionadas con filtraciones de cubierta. RESULTADO (2021-2022): Mejora sustancial del sistema impermeabilizante.
A5 - Plagas	A5-5	Presencia de microorganismos (hongos, bacterias)	HISTÓRICO (previo 2021): Líquenes, eflorescencias, hongos documentados en sectores específicos. MITIGACIÓN (2021-2022): Limpieza con biocida.
	A5-6	Plantas parasitarias en muros o cubiertas	HISTÓRICO (previo 2021): Vegetación sobre cubierta. MITIGACIÓN (2021-2022): Retiro con herbicida.
A6 – Contaminantes	A6-6	Formación de depósitos particulados	ACTUAL: La altura (25.85m) y configuración geométrica compleja de la cúpula, así como su proximidad a volcanes activos (Cotopaxi y Tungurahua), favorecen la acumulación de ceniza. Esto puede generar acumulación de carga, abrasión de recubrimientos y retención de humedad en los materiales históricos.

A10 - Disociación	A10-2	Evidencia de intervenciones inadecuadas previas	MÚLTIPLES INTERVENCIONES HISTÓRICAS: Reconstrucciones documentadas desde 1830 (post-terremoto 1768) hasta 1935, sin documentación técnica completa. Complejidad del sistema constructivo histórico requiere atención especializada para futuras intervenciones. CONTEXTO INTERVENCIÓN 2021-2022: Proyecto "Restauración Arquitectónica Parcial" (GAD Municipal) enfocado en conservación preventiva emergente y mantenimiento. Dentro de este proyecto arquitectónico se implementaron componentes con implicaciones estructurales (sistema "espina de pez", inyecciones mortero cal, consolidaciones) sin estudios estructurales previos exhaustivos documentados (Mena, 2025: "se omiten porque van a encarecer la obra"). Sin matriz de evaluación de riesgos estructurales formalizada previo a intervención.

Nivel de Confianza - Sección A:
MEDIO (65-79%)

Fundamento:

- Documentación oficial del proyecto 2021-2022 disponible (Perfil de Proyecto GAD Municipal, memoria técnica Arq. Lozano)
- Entrevista con Rest. Edison Mena (técnico control INPC, 30 años experiencia patrimonio)
- Fichas de inventario patrimonial INPC actualizadas (2015, 2024)

Limitaciones:

- Ausencia de estudios estructurales previos exhaustivos para componentes de consolidación (Mena: "se omiten porque encarecen obra")
- Sin caracterización de materiales completa en fase de diseño
- Sin matriz de evaluación de riesgos estructurales previo a intervención
- INPC no participó en fase de diseño (solo control técnico durante ejecución)
- Sin entrevista al ingeniero estructural responsable de componentes de consolidación
- Ausencia de inspección visual directa in situ por parte del evaluador
- Sin monitoreo instrumental post-2021-2022 (Mena: "No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho")

- Efectividad de consolidación NO validada empíricamente (Mena: “eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante”)

Nota. Nivel de confianza inferior al caso de la Iglesia Matriz de Pujilí (85-90%) debido a limitaciones en documentación estructural y ausencia de perspectiva del ingeniero responsable, justificando necesidad urgente de análisis estructural retrospectivo y monitoreo instrumental.

Tabla 5

Sección B - Amenazas GRD Identificadas

Categoría	Código	Amenaza	Observaciones Detalladas
B1 - Amenazas Sísmicas	B1-1	Zona de alta sismicidad según mapa de amenaza	FUENTES OFICIALES: • Zona sísmica V según NEC-SE-DS, PGA=0.40-0.45g (máxima categoría peligrosidad sísmica Ecuador) • Región andina central con actividad sísmica frecuente HISTÓRICO: Terremotos devastadores en 1768 y 1797 con destrucción documentada
	B1-3	Tipo de suelo (amplificación sísmica)	Suelo andino típico con potencial de amplificación sísmica. LIMITACIÓN: Requiere estudio geotécnico específico actualizado para caracterización precisa.
B1 (FA) - Factores de Amplificación de Amenaza Sísmica	B1-4	Deterioro de la estructura portante	HISTÓRICO (previo 2021): Fisuramientos en bóvedas y cúpula documentados. ACTUAL: Mitigado significativamente por intervención 2021-2022.
	B1-6	Rigidez diferencial entre elementos	SISTEMA CONSTRUCTIVO HISTÓRICO: • Mampostería de piedra pómez y ladrillo (material original flexible) • Sistema de refuerzo metálico 2021-2022 (rigidez alta) • Diferencias en módulos de elasticidad entre materiales históricos y refuerzos contemporáneos.
B2 - Amenazas Hidrometeorológicas	B2-1	Precipitaciones intensas frecuentes	CONTEXTO REGIONAL: • Clima andino con régimen pluvial estacional • Altitud ~2,750 msnm

			• Eventos de precipitación intensa ocasionales pueden superar capacidad de sistemas históricos de drenaje
	B2-8	Cambio climático (eventos extremos)	Tendencia documentada a nivel regional de aumento en frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos. Afecta vida útil de sistemas de impermeabilización.
B3 - Amenazas Geológicas	B3-2	Subsidencia del terreno	Posible asentamiento diferencial en suelos arcillosos o por cambios en nivel freático. LIMITACIÓN: Requiere estudio geotécnico para evaluación precisa.
	B3-6	Actividad volcánica (cenizas, gases)	CONTEXTO: • Proximidad al volcán Cotopaxi, con alta probabilidad de afectación por ceniza (IGEPN) • Último evento eruptivo significativo en 2015 • Caída de ceniza documentada en la región (Troncoso et al., 2017)

Nivel de Confianza - Sección B:
MEDIO (65-79%)

Fundamento:
- Datos oficiales: IGEPN, NEC-SE-DS para sismicidad
- Registros históricos documentados de eventos sísmicos (1768, 1797)
- Contexto regional conocido

Limitaciones:
- Falta de estudio geotécnico específico del sitio actualizado
- Ausencia de datos meteorológicos de estación local (se usa información regional)
- Sin instrumentación sísmica in situ
- Evaluación de efectos de amenazas sobre el sistema de consolidación limitada por ausencia de estudios estructurales previos y modelamiento del comportamiento del sistema mixto

Tabla 6

Sección C - Vulnerabilidades Específicas y Condiciones de Exposición en Cúpulas

Categoría	Código	Vulnerabilidad	Observaciones Detalladas
C1 - Estructurales Específicas	C1-2	Empujes horizontales no controlados hacia muros perimetrales	SISTEMA ESTRUCTURAL HISTÓRICO: Bóveda de cañón corrido genera empujes laterales. Sistema de pórticos invertidos (220x100cm) con estribos superiores diseñado para contrarrestar empujes. Reforzamiento 2021-2022 mejora control, pero empujes inherentes persisten.
C2 - Interfaces y Conexiones	C2-2	Incompatibilidad de materiales en juntas	SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO documentado: 1. Piedra pómez y ladrillo original con morteros de cal-arena 2. Morteros cemento-cal-arena (1:1:4) en reintegraciones 2021-2022 3. Varillas de acero inoxidable 16mm en refuerzo estructural Diferencias en coeficientes de dilatación térmica y permeabilidad.
	C2-6	Corrosión en elementos de conexión metálicos	SISTEMA IMPLEMENTADO 2021-2022: • Varillas de acero inoxidable 16mm • Perforaciones verticales y horizontales en mampostería CONDICIONES AMBIENTALES: • Ambiente andino con variaciones térmicas • Humedad relativa variable • Ciclos de humectación-secado INCERTIDUMBRE: Sin experiencia documentada a largo plazo de acero inoxidable embebido en piedra pómez en contexto andino.
C3 - Geometría y Configuración Específica	C3-3	Zonas de difícil acceso para inspección y mantenimiento	Geometría compleja de cúpula octogonal con linterna, bóvedas de cañón corrido, y sistema de crucero. Altura considerable dificulta inspecciones detalladas de extradós sin andamiaje especializado.
	C3-4	Acumulación de agua en geometrías cóncavas	Sistema de cúpula octogonal con transiciones geométricas complejas. Renovación 2021-2022 mejoró drenaje, pero geometría intrínseca puede favorecer acumulación localizada en eventos extremos.

	C3-5	Amplificación de movimientos sísmicos por altura	Cúpula y torres alcanzan altura considerable. En eventos sísmicos, estructuras altas experimentan amplificación de movimientos en niveles superiores.
C5 - Constructivas y Tipológicas	C5-2	Materiales tradicionales sin mantenimiento adecuado	Piedra pómez es material poroso que requiere mantenimiento preventivo periódico. Consolidante aplicado 2021-2022 tiene vida útil finita y requiere re aplicación.
	C5-6	Falta de documentación técnica histórica	Documentación limitada sobre intervenciones anteriores a 1975. Trazabilidad incompleta de procesos constructivos históricos y criterios de intervenciones del siglo XIX-XX.
C6 - Ambientales Específicas	C6-1	Exposición extrema a radiación solar	Altitud ~2,750 msnm aumenta intensidad de radiación UV. Sistema de impermeabilización expuesto a degradación acelerada por foto-oxidación.
	C6-4	Corrosión acelerada por altura y exposición	Elementos metálicos en zonas altas más expuestos a variaciones térmicas, humedad, y ciclos de condensación.
	C6-5	Impacto directo de precipitaciones extremas	Sistema de tejuelo y masillado impermeabilizante expuestos directamente a precipitaciones. Eventos extremos pueden generar cargas hidráulicas superiores a capacidad de drenaje.

Nivel de Confianza - Sección C:
MEDIO (65-79%)

Fundamento:

- Documentación técnica exhaustiva de intervención 2021-2022
- Caracterización constructiva detallada en memoria técnica
- Entrevista con Rest. Edison Mena (técnico control INPC, perspectiva conservación patrimonial)

Limitaciones:

- Sin entrevista al ingeniero estructural responsable de componentes de consolidación
- Sin estudios estructurales previos exhaustivos documentados
- Ausencia de modelamiento estructural del comportamiento del sistema mixto
- Sin precedentes documentados de compatibilidad acero inoxidable-piedra pómez a largo plazo en contexto similar
- Falta de información histórica completa sobre intervenciones pre-1975

2.3. Análisis de Correspondencias

Tabla 7
Matriz de Correspondencias: Amenazas → Agentes de Deterioro

Amenaza	→	Agente de Deterioro	Tipo Relación	Justificación Técnica
B1-1 (Zona sísmica V muy alta) + B1-4 (FA: Deterioro histórico estructura)	→	A1-1, A1-2 (Fisuras en bóveda y tambor)	FUERTE	Zona sísmica muy alta + eventos históricos 1768/1797 + sistema de mampostería de piedra = fisuramientos estructurales documentados. Reforzamiento 2021-2022 mitiga, pero no elimina riesgo residual.
B2-1 (Precipitaciones intensas) + B2-8 (Cambio climático eventos extremos)	→	A4-1 (Filtraciones) + A4-6 (Manchas humedad)	FUERTE	Precipitaciones → deterioro progresivo sistema impermeabilización → filtraciones → manchas humedad interior. Sistema renovado 2021-2022 reduce probabilidad, pero vida útil limitada (10-15 años).
B2-1 (Precipitaciones)	→	A5-5, A5-6 (Microorganismos, plantas parasitarias)	MODERADA	Humedad + porosidad piedra pómez + microclima favorable = colonización biológica. Tratamiento biocida 2021-2022 tiene eficacia temporal limitada (2-5 años típicamente).
B3-6 (Ceniza volcánica Cotopaxi)	→	A6-6 (Deposición de partículas)	FUERTE	Evento 2015 documentado → acumulación de ceniza en geometría compleja de la cúpula
B1-6 (FA: Rigidez diferencial sistema mixto)	→	*Manifestación potencial futura* (fisuras en interfaces)	MODERADA	Refuerzo metálico rígido + mampostería histórica flexible → concentraciones de tensión en interfaces durante eventos sísmicos. Sin precedentes documentados de comportamiento a largo plazo.

Tabla 8
Matriz de Correspondencias: Vulnerabilidades → Agentes de Deterioro

Vulnerabilidad → Agente de Deterioro	→	Agente de Deterioro	Tipo Relación	Justificación Técnica
C1-2 (Empujes horizontales bóveda) + C3-5 (Amplificación por altura)	→	A1-1, A1-2 (Fisuras estructurales)	FUERTE	Empujes laterales bóveda cañón + movimientos sísmicos amplificados en altura = tensiones en tambor y cúpula. Sistema de pórticos invertidos + refuerzo "espina de pez" controlan, pero no eliminan completamente.
C2-6 (Acero inoxidable en mampostería) + C6-4 (Corrosión acelerada por altura) →	→	Manifestación potencial futura (corrosión, expansión, micro-fisuras)	MODERADA	Varillas acero embebidas + ambiente húmedo andino + ciclos térmicos + sin experiencia documentada largo plazo = riesgo de corrosión electroquímica en horizonte 10-20 años.
C3-3 (Zonas difícil acceso) + C5-2 (Materiales sin mantenimiento)	→	A5-5, A5-6 (Recolonización biológica)	MODERADA	Dificultad acceso para inspección/mantenimiento + tratamientos temporales = riesgo de recolonización en zonas no monitoreadas.
C2-2 (Incompatibilidad materiales) + C5-6 (Falta documentación histórica)	→	A10-2 (Riesgo intervenciones futuras inadecuadas)	MODERADA	Sistema mixto complejo + documentación histórica incompleta = riesgo de decisiones técnicas inadecuadas en futuras intervenciones por incomprensión del sistema constructivo.

2.4. Identificación de Riesgos

Tabla 9
Riesgos Históricos Documentados

Código	Denominación	Documentación	Correspondencia	Comportamiento Original
RH-1	Fisuración estructural por actividad sísmica	Fisuras en bóvedas y cúpula (previo 2021). Terremotos 1768/1797 con destrucción edificio original	B1-1 + B1-4 + C1-2 + C3-5 → A1-1, A1-2	Zona sísmica alta + empujes laterales bóveda + eventos históricos recurrentes = fisuramientos estructurales meridionales en bóvedas y tambor

RH-2	Infiltraciones por fallo sistema impermeabilización	Filtraciones cubiertas + manchas humedad interior (previo 2021)	B2-1 → A4-1 + A4-6	Sistema histórico tejuelo vidriado deteriorado + precipitaciones estacionales = ingreso agua + manchas humedad + deterioro acabados interiores
RH-3	Biodeterioro por condiciones humedad	Líquenes, eflorescencias, hongos, vegetación en muros y cubiertas (previo 2021)	B2-1 + filtraciones → A5-5, A5-6	Filtraciones crónicas + porosidad piedra pómez + microclima húmedo = colonización biológica (hongos, líquenes, plantas)
RH-4	Acumulación ceniza volcánica con sobrecarga	Deposición de partículas por eventos volcánicos del Cotopaxi (2015 documentado IGEPN)	B3-6 + C3-1 → A6-6	Altura prominente + geometría compleja cúpula = captura eficiente partículas suspensión

Tabla 10

Riesgos Residuales Post-Intervención 2021-2022

Código	Denominación	Mitigación Aplicada	Riesgo Residual	Nivel Reducción Estimado	Tipo Ocurrencia
RR-1	Fisuración estructural residual	Sistema “espina de pez” con acero inoxidable 16mm + inyecciones mortero hidráulico cal (2021-2022)	Sismicidad muy alta persiste (Zona V, PGA=0.40-0.45g). Eventos sísmicos significativos pueden superar capacidad refuerzo implementado	60-70% respecto al riesgo original (documentación intervención 2021-2022)	Evento recurrente (sismos cada 8-15 años estimado)
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Renovación impermeabilización integral: masillado nuevo con malla electrosoldada + tejuelo decorativo 15x15cm (2021-2022)	Eventos precipitación extrema pueden superar capacidad ocasionalmente. Vida útil sistema 10-15 años típicamente	75-85% respecto al riesgo original (mejoras sustanciales documentadas)	Proceso acumulativo (degradación progresiva impermeabilización)
RR-3	Recolonización biológica	Limpieza con biocida + retiro vegetación con herbicida (2021-2022)	Zonas difícil acceso pueden recolonizarse. Tratamientos biocidas temporales (2-5 años eficacia)	70-80% (“proliferación cesó post-intervención, pero proceso puede reiniciar”)	Proceso acumulativo (recolonización gradual)

Tabla 11
Riesgos Emergentes Derivados de Intervenciones

Código	Denominación	Origen	Manifestación Potencial	Horizonte Temporal	Tipo Ocurrencia
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Introducción varillas acero inoxidable 16mm embebidas en mampostería de piedra pómez porosa (2021-2022)	Corrosión localizada → expansión óxidos → micro-fisuras → compromiso efectividad refuerzo estructural	10-20 años (manifestación visible)	Proceso acumulativo
RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Rigidización diferencial por refuerzos metálicos en mampostería histórica flexible	Nuevas fisuras en zonas no reforzadas o en interfaces mampostería-metal durante eventos sísmicos. Comportamiento no homogéneo del sistema	5-15 años (bajo eventos sísmicos significativos)	Evento recurrente (activación sísmica)
RE-3	Incompatibilidad físico-química materiales de reintegración	Uso de morteros cemento-cal-arena + consolidante silicón + materiales históricos (cal-arena, piedra pómez)	Desprendimientos, eflorescencias, diferencias comportamiento ante movimientos. Patologías diferidas por diferencias módulo elástico, dilatación térmica, permeabilidad	5-15 años (manifestación gradual)	Proceso acumulativo
RE-4	Ausencia de monitoreo estructural continuo post-intervención	No implementación de sistema de monitoreo instrumental (fisurómetros, inclinómetros, sensores humedad-temperatura) tras finalización del proyecto “Restauración Arquitectónica Parcial” 2021-2022. Confirmación explícita Rest. Mena (2025): “No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho.”	Imposibilidad de: (1) Detectar tempranamente reactivación de fisuras o nuevas fisuras, (2) Validar efectividad de componentes de consolidación estructural (sistema “espina de pez”, inyecciones), (3) Establecer línea base de comportamiento estructural real post-intervención, (4) Obtener datos cuantitativos de deformaciones, movimientos, evolución de patologías, (5) Responder preventivamente (solo reactivamente ante manifestaciones visibles avanzadas). Mena señala que efectividad estructural “solamente lo dirá el	Ya presente desde finalización proyecto 2022 (condición actual permanente)	Factor amplificador (aumenta magnitud de todos los demás riesgos estructurales)

			momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante" (sismo ≥5.0-6.0 Mw), evidenciando que sistema NO ha sido validado empíricamente.		
RE-5	Metodología de intervención potencialmente agresiva sobre elementos constructivos originales	Uso documentado de herramientas/técnicas con "acción muy abrasiva o acción muy fuerte" durante trabajos de desmontaje de tejuelo y elementos constructivos (Mena, 2025). Sometimiento de estructura patrimonial a vibraciones y golpes durante retiro de elementos, práctica contraria a principios fundamentales de conservación patrimonial. Mena señala: "nunca jamás a una estructura patrimonial se le debe someter a un tipo de vibración o golpes para retirar o desmontar algún elemento. Hay que buscar la metodología donde tengamos que causar el menor estrés a la fábrica, a la estructura original."	Micro-daños ocultos en mampostería de piedra pómez (material poroso vulnerable a estrés mecánico). Debilitamiento de interfaces entre elementos constructivos históricos. Compromiso de integridad estructural de elementos originales no detectable mediante inspección visual superficial. Micro-fisuras latentes que pueden propagarse y activarse ante eventos sísmicos futuros. Reducción de capacidad resistente de mampostería por daños acumulados durante intervención.	Ya presente (daños ejecutados durante intervención 2021-2022, irreversibles)	Proceso acumulativo con manifestación diferida (daños latentes que se manifiestan ante eventos de carga como sismos)
RE-6	Retiro de material histórico original sin demostración técnica exhaustiva de necesidad	Retiro completo del tejuelo vidriado original (elemento característico de arquitectura religiosa Cotopaxi) (Lozano, 2021), sin "sustento mucho más consistente que demuestre que lo que voy a retirar es menester" (Mena, 2025). Mena señala que material retirado "posiblemente tenía afectaciones, pero no tenemos la	Pérdida irreversible de materialidad histórica auténtica (tejuelo vidriado artesanal original con características únicas de producción local Cotopaxi). Compromiso del principio de autenticidad material (Carta de Venecia, Art. 9). Valor testimonial de técnicas constructivas tradicionales artesanales reducido significativamente. Disociación entre	Ya presente (pérdida completada durante intervención 2021-2022, irreversible)	Proceso acumulativo irreversible (pérdida patrimonial consumada)

	demostración de que esos materiales habían cumplido su vida útil.” No se evaluaron alternativas de conservación del material histórico mediante “buena limpieza de algún elemento invasivo, una buena fumigación, un buen lavado” y recolocación. Pérdida de materialidad con “pátina, esa calidad que adquieren al estar acostumbrados ya y siendo parte de una historia” sin justificación técnica documentada suficiente.	fábrica histórica original y elementos de reposición contemporáneos. Imposibilidad de recuperación de características específicas del material original (dimensiones exactas, variaciones individuales, técnicas de fabricación artesanal, tipos de arcilla específicos, manejo de hornos tradicionales, pátinas históricas adquiridas). Pérdida de “conocimientos que están ahí en la obra” (Mena, 2025).

FASE 3: Desarrollo de Matriz de Riesgos Integrada

3.1. Evaluación Cuantitativa de Riesgos Actuales

Solo se evaluaron cuantitativamente los **riesgos residuales (RR)** y **riesgos emergentes (RE)**. Los riesgos históricos (RH) ya fueron mitigados en 2021-2022 y sirven como base de comprensión del comportamiento original.

Fórmula de Cálculo MR: **MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)**, donde: IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2

Tabla 12
Evaluación Cuantitativa RR-1: Fisuración Estructural Residual

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	2 - Raro (cada 10-50 años)	El reforzamiento “espina de pez” (2021-2022) reduce significativamente probabilidad de nuevas fisuras. Sin embargo, eventos sísmicos de magnitud significativa (similar a 1768, 1797) en Zona V ocurren con recurrencia estimada cada 10-50 años y podrían eventualmente superar capacidad del refuerzo implementado.

B (Pérdida de Valor)	4 - Pérdida severa (61-80%)	Nuevas fisuras estructurales significativas comprometerían: (1) Integridad del sistema de refuerzo metálico instalado, (2) Efectividad de inyecciones de mortero hidráulico cal, (3) Estabilidad estructural de cúpula y bóvedas, (4) Requerirían intervención técnica especializada compleja y costosa.
C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Riesgo afecta: (1) Sistema completo de bóvedas de cañón corrido (nave principal y crucero), (2) Cúpula octogonal principal, (3) Tambor de soporte, (4) Interfaces refuerzo metálico-mampostería, (5) Zonas críticas de concentración de esfuerzos. Extensión significativa del sistema estructural cupular.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Única catedral con estas características en Latacunga. Centro histórico de evangelización agustina. Testimonio de resiliencia (terremotos 1768, 1797). Cúpula inspirada en San Pedro de Roma (elemento único regional). Valoración INPC: 50/50 puntos (excepcional). Hito urbano de primer orden.
Vulnerabilidad	2 - Media	Reforzamiento “espina de pez” + inyecciones consolidación reducen vulnerabilidad original significativamente. Sin embargo, persisten: (1) Sistema constructivo de mampostería (inherentemente vulnerable ante sismos), (2) Empujes laterales de bóvedas, (3) Concentración cargas en tambor, (4) Sistema mixto sin modelamiento estructural comportamiento integrado.
Exposición	4 - Muy Alta	Zona sísmica V (NEC-SE-DS, PGA=0.40-0.45g, máxima categoría NEC-SE-DS) mantiene exposición constante muy alta, con historial documentado de eventos destructivos (1768, 1797). Sismicidad regional andina frecuente (sistema de fallas activas Cordillera Oriental + vulcanismo Cotopaxi). Sin cambios post-intervención en amenaza sísmica del territorio.
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Reforzamiento reciente 2021-2022 estructuralmente sólido, (2) Inspecciones visuales post-intervención por administradores del bien, (3) Coordinación INPC-Diócesis establecida. PERO: Sin monitoreo instrumental continuo (fisurómetros, inclinómetros), sin modelamiento estructural sistema mixto, sin protocolo inspección post-sísmica especializado formalizado.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-1:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 4) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (2 × 4 × 4 × 4 × 3.0) / (2 × 25)
MR = 384 / 50 **= 7.7**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Sismos de magnitud significativa cada 10-50 años

Tabla 13
Evaluación Cuantitativa RR-2: Infiltraciones Residuales Menores

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	4 - Frecuente (cada 2-5 años)	Sistema renovado 2021-2022 es efectivo actualmente. Sin embargo, vida útil típica de impermeabilización en cubiertas patrimoniales es 10-15 años. Degradación progresiva por exposición UV, ciclos térmicos, precipitaciones generará pequeñas infiltraciones con frecuencia creciente conforme avanza degradación (cada 2-5 años en fase final vida útil).
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Infiltraciones menores afectarían: (1) Sistema de impermeabilización completo (requiere renovación), (2) Acabados interiores (enlucidos, pinturas, elementos decorativos), (3) Podrían reactivar eflorescencias, (4) Deterioro progresivo del tejuelo decorativo multicolor, (5) Riesgo de daño en elementos de madera (pisos re-entablados 2021-2022).
C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Sistema de impermeabilización cubre: (1) Totalidad de cubiertas (cúpula octogonal, bóvedas, crucero), (2) Sistema de drenaje completo (canales, bajantes), (3) Tejuelo decorativo extenso, (4) Interfaces complejas (linterna-cúpula, transiciones geométricas). Cuando sistema falla, afecta extensión significativa.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Única catedral con estas características en Latacunga. Sistema de cubiertas es elemento de alto valor patrimonial como parte integral del bien, pero su eventual reemplazo (cada 10-15 años es práctica aceptada) no compromete autenticidad estructural primaria de mampostería histórica. Tejuelo decorativo multicolor tiene valor estético-formal significativo.
Vulnerabilidad	2 - Media	Sistema renovado 2021-2022 reduce vulnerabilidad actual. Sin embargo: (1) Geometría compleja intrínseca de cúpula octogonal, (2) Exposición directa a intemperie, (3) Materiales impermeabilizantes tienen vida útil finita, (4) Ciclos térmicos andinos aceleran degradación, (5) Transiciones geométricas complejas (puntos críticos).

Exposición	4 - Muy Alta	Altitud ~2,750 msnm: (1) Radiación UV intensa (foto-degradación acelerada), (2) Precipitaciones estacionales directas, (3) Variaciones térmicas diarias significativas, (4) Ciclos hielo-deshielo ocasionales, (5) Exposición continua sin protección.
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Sistema impermeabilización nuevo 2021-2022, (2) Inspecciones visuales regulares del administrador, (3) Sistema de drenaje mejorado. PERO: Sin monitoreo instrumental humedad, sin protocolo inspección especializada post-eventos pluviales extremos, sin plan programado mantenimiento preventivo quinquenal.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-2:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 4) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (4 × 3 × 4 × 4 × 3.0) / (2 × 25)
MR = 576 / 50 **= 11.5**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Degradación progresiva del sistema impermeabilizante (10-15 años vida útil, manifestaciones cada 2-5 años en fase avanzada)

Tabla 14
Evaluación Cuantitativa RR-3: Recolonización Biológica

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	4 - Frecuente (cada 2-5 años)	Tratamiento biocida y herbicida 2021-2022 detuvo proliferación. Sin embargo, eficacia temporal de biocidas típicamente 2-5 años. Recolonización gradual especialmente en: (1) Zonas de difícil acceso para mantenimiento, (2) Áreas con microclima húmedo favorable, (3) Superficies no tratadas o tratamiento insuficiente.

B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Biodeterioro afectaría: (1) Apariencia estética de fachadas y cubiertas, (2) Cohesión superficial de morteros (disgregación lenta por ácidos biológicos), (3) Porosidad incrementada facilitando ingreso humedad, (4) Deterioro progresivo de piedra pómez. NO compromete integridad estructural inmediata pero sí degradación acumulativa.
C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Proceso afecta: (1) Zonas altas de difícil acceso (~30-40%), (2) Orientaciones con mayor humedad, (3) Superficies porosas de piedra pómez expuestas, (4) Juntas de morteros, (5) Áreas perimetrales sistema de drenaje. Tratamiento 2021-2022 cubrió la mayoría, pero no la totalidad del bien.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Única catedral con estas características en Latacunga. Acabados y materiales superficiales tienen valor patrimonial significativo. Piedra pómez visible es característica del sistema constructivo.
Vulnerabilidad	2 - Media	Tratamiento biocida reduce vulnerabilidad actual. Sin embargo: (1) Piedra pómez es material poroso naturalmente favorable para colonización, (2) Clima andino con humedad relativa variable, (3) Zonas de difícil acceso limitan re-tratamiento, (4) Tratamientos temporales requieren re aplicación periódica.
Exposición	4 - Muy Alta	Clima andino: (1) Precipitaciones estacionales generan humedad, (2) Variaciones térmicas favorecen ciclos humectación-secado, (3) Orientaciones con sombra mantienen humedad, (4) Microclimas favorables en zonas protegidas de viento, pero expuestas a humedad.
CA (Control Actual)	3 - Controles adecuados	(1) Tratamiento biocida/herbicida ejecutado 2021-2022, (2) Inspecciones visuales regulares. PERO: Sin programa formalizado de re aplicación periódica biocidas, sin monitoreo especializado de recolonización, sin protocolo detección temprana. Combinación entre controles reactivos y preventivos.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-3:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 4) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (4 × 2 × 3 × 4 × 3.0) / (3 × 25)
MR = 288 / 75 **= 3.8**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Recolonización gradual continua (manifestación visible cada 2-5 años post-tratamiento)

Tabla 15
Evaluación Cuantitativa RE-1: Incompatibilidad Electroquímica Acero-Piedra Pómez

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	Proceso corrosión lento. Acero inoxidable retarda inicio. Sin embargo: ambiente húmedo andino + porosidad piedra pómez + ciclos térmicos + humectación-secado activarán corrosión electroquímica. Manifestación visible esperada 10-20 años (horizonte temporal), luego eventos de corrosión progresiva cada 5-10 años.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Fallo del refuerzo comprometería: (1) Sistema de consolidación estructural completo instalado 2021-2022, (2) Integridad de inyecciones mortero cal (desprendimiento por expansión óxidos), (3) Requeriría nueva intervención técnica compleja (remoción varillas + reparación perforaciones + nuevo sistema refuerzo), (4) Daño a piedra pómez circundante por presión expansión.
C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Afecta: (1) Sistema completo de varillas acero inoxidable 16mm (perforaciones verticales y horizontales extensas), (2) Todas zonas reforzadas (bóvedas cañón corrido nave + crucero + cúpula), (3) Interfaces críticas mampostería-metal, (4) Áreas con mayor concentración esfuerzos estructurales.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Sistema estructural de cúpula y bóvedas es elemento de valor patrimonial excepcional. Valoración INPC: 50/50 puntos.
Vulnerabilidad	3 - Alta	(1) Sin precedentes documentados de compatibilidad acero inoxidable-piedra pómez a largo plazo en contexto andino, (2) Porosidad piedra pómez permite ingreso humedad (electrolito), (3) Diferencia potenciales electroquímicos metal-piedra, (4) Varillas embebidas sin inspección visual directa posible, (5) Ciclos térmicos generan condensación interior.
Exposición	3 - Alta	Ambiente andino: (1) Humedad relativa variable (precipitaciones estacionales), (2) Variaciones térmicas diarias significativas, (3) Ciclos hielo-deshielo ocasionales, (4) Altitud ~2,750 msnm, (5) Posible ingreso agua por micro-filtraciones futuras.

CA (Control Actual)	3 - Controles adecuados	(1) Inspecciones visuales generales, (2) Mantenimiento básico disponible. PERO: Sin monitoreo específico corrosión (técnicas electroquímicas, potencial, resistencia polarización), sin protocolo detección temprana, sin análisis compatibilidad materiales largo plazo, sin plan contingencia fallo refuerzo.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-1:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 3) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 3 × 3 × 4 × 3.0) / (3 × 25)
MR = 324 / 75 **= 4.3**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Deterioro progresivo continuo (manifestación visible 10-20 años, luego progresión cada 5-10 años)

Tabla 16
Evaluación Cuantitativa RE-2: Concentración Tensiones en Interfaces de Refuerzo

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	Diferencia rigidez refuerzos metálicos vs. mampostería original genera concentraciones tensión. Eventos sísmicos moderados (magnitud ≥5.0) cada 5-10 años en Zona V activan concentraciones. Sistema mixto histórico-contemporáneo sin modelamiento estructural comportamiento integrado.
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Nuevas fisuras localizadas en interfaces comprometerían: (1) Comportamiento estructural integrado sistema mixto, (2) Podrían propagarse desde interfaces hacia mampostería original, (3) Requerirían análisis estructural especializado, (4) Posible intervención correctiva localizada. NO implica fallo estructural total pero sí deterioro progresivo.

C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Rigidización diferencial afecta: (1) Interfaces múltiples refuerzo metálico-mampostería, (2) Zonas de transición entre elementos reforzados y no reforzados, (3) Puntos de concentración cargas (tambor, arranques bóveda), (4) Sistema de transición cargas del conjunto estructural.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Sistema estructural cúpula y bóvedas: valor excepcional.
Vulnerabilidad	2 - Media	(1) Sistema mixto sin precedentes comportamiento largo plazo en contexto similar, (2) Módulos elasticidad diferentes: piedra pómez/ladrillo (flexible) vs. acero inoxidable (muy rígido), (3) Sin modelamiento numérico distribución tensiones, (4) Reforzamiento reciente reduce vulnerabilidad original, pero introduce complejidad nueva.
Exposición	4 - Muy Alta	Zona sísmica V (NEC-SE-DS, PGA=0.40-0.45g, máxima categoría NEC-SE-DS) mantiene exposición constante muy alta. Sismicidad regional andina frecuente activa; repetidamente concentraciones-tensión en interfaces (sistema de fallas activas Cordillera Oriental + vulcanismo Cotopaxi). Sin cambios en amenaza post-intervención.
CA (Control Actual)	3 - Controles adecuados	(1) Inspecciones post-sísmicas visuales básicas, (2) Mantenimiento general disponible. PERO: Sin modelamiento estructural, sin análisis interfaces, sin monitoreo instrumental deformaciones, sin protocolo evaluación post-sísmica especializado con instrumentación.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-2:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 4) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 2 × 3 × 4 × 3.0) / (3 × 25)
MR = 216 / 75 **= 2.9**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Eventos sísmicos moderados ≥5.0 Mw cada 5-10 años

Tabla 17

Evaluación Cuantitativa RE-3: Incompatibilidad Físico-Química Materiales de Reintegración

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	Incompatibilidades físico-químicas (diferencias módulo elástico, coeficiente dilatación térmica, permeabilidad vapor) se manifiestan gradualmente. Ciclos térmicos + humectación-secado + movimientos estructurales menores activan patologías diferidas. Manifestación cada 5-10 años conforme materiales envejecen.
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Incompatibilidades generarían: (1) Desprendimientos localizados de morteros reintegración, (2) Eflorescencias en zonas tratadas, (3) Micro-fisuras en interfaces materiales nuevos-originales, (4) Deterioro estético, (5) Requeriría reparaciones localizadas. NO compromete estructura global pero sí durabilidad intervención.
C (Alcance)	2 - Parte moderada (21-40%)	Afecta: (1) Zonas con morteros reintegración cemento-cal-arena, (2) Áreas con consolidante silicón aplicado, (3) Interfaces materiales nuevos-históricos (~20-30% superficie estimada), (4) Zonas reparación puntual piedra pómez. Intervención 2021-2022 priorizó compatibilidad, pero interfaces persisten.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Materiales de acabado y reintegración tienen valor patrimonial como parte integral, pero eventual re-tratamiento no compromete autenticidad primaria mampostería histórica.
Vulnerabilidad	2 - Media	(1) Materiales contemporáneos (cemento-cal, consolidante silicón) tienen propiedades diferentes a históricos (cal-arena pura), (2) Sin ensayos compatibilidad largo plazo específicos, (3) Intervención 2021-2022 contempló compatibilidad en selección de materiales, pero diferencias intrínsecas entre materiales contemporáneos e históricos persisten.
Exposición	2 - Media	Exposición a: (1) Ciclos térmicos diarios, (2) Variaciones humedad relativa, (3) Radiación UV (degradación diferencial). Exposición moderada comparada con otros riesgos.
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Materiales seleccionados con criterio técnico 2021-2022, (2) Dosificaciones específicas documentadas, (3) Inspecciones visuales regulares. PERO: Sin monitoreo específico compatibilidad, sin ensayos laboratorio post-intervención, sin protocolo detección temprana desprendimientos.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-3:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 2) / 2 = **2.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 2 × 2 × 4 × 2.0) / (2 × 25)
MR = 96 / 50 **= 1.9**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Deterioro progresivo por incompatibilidades (manifestación cada 5-10 años)

Tabla 18
Evaluación Cuantitativa RE-4: Ausencia de Monitoreo Estructural Continuo Post-Intervención

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	5 - Muy frecuente (anual)	Condición permanente actual desde finalización del proyecto 2022. Ausencia de sistema de monitoreo instrumental es estado constante continuo. Manifestación: imposibilidad de detección temprana de evolución de patologías en cada momento (frecuencia continua, no episódica). Cada inspección visual o evaluación técnica enfrenta esta limitación metodológica crítica.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Ausencia de monitoreo instrumental causa: (1) Imposibilidad de detectar tempranamente reactivación de fisuras antes de que sean visibles superficialmente (apertura crítica), (2) Sin datos cuantitativos de comportamiento del sistema de consolidación implementado (espina de pez, inyecciones), imposibilitando validación de efectividad, (3) Respuesta exclusivamente reactiva vs. preventiva ante deterioros (actuación cuando daño ya es avanzado, más costosa), (4) Pérdida de oportunidad de validar técnicamente las intervenciones 2021-2022 mediante datos empíricos, (5) Riesgo de que patologías estructurales avancen sin detección hasta alcanzar niveles críticos que requieran intervenciones mayores. La entrevista Mena confirma: “No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho.” Adicionalmente señala que efectividad estructural NO ha sido validada: “eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante” (sismo ≥5.0-6.0 Mw). No ha habido eventos sísmicos significativos post-2021-2022 que prueben comportamiento real del sistema bajo condiciones de carga sísmica.

C (Alcance)	5 - Toda la cúpula (81-100%)	Ausencia de monitoreo afecta seguimiento de: (1) Totalidad del sistema estructural (cúpula octogonal + bóvedas cañón corrido + tambor + crucero), (2) Todas las interfaces refuerzo metálico-mampostería (~200 puntos de perforación estimados sin cuantificación exacta), (3) Sistema de impermeabilización completo (detección temprana filtraciones), (4) Condiciones ambientales internas (humedad relativa, temperatura, ciclos que afectan materiales y corrosión), (5) Comportamiento ante eventos sísmicos menores (microsismos frecuentes en zona). Imposibilidad de seguimiento integral cuantitativo del bien.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Sistema estructural completo (cúpula + bóvedas + tambor) tiene valor patrimonial excepcional como se justificó previamente.
Vulnerabilidad	1 - Baja	El monitoreo instrumental no es una vulnerabilidad intrínseca del bien patrimonial en sí mismo, es una deficiencia metodológica en la gestión y seguimiento post-intervención. Sin embargo, su ausencia amplifica todas las demás vulnerabilidades estructurales del bien al impedir detección temprana y respuesta preventiva oportuna.
Exposición	1 - Baja	No aplica concepto de exposición ambiental directa (el monitoreo es un factor metodológico de gestión, no un agente de deterioro ambiental).
CA (Control Actual)	2 - Básico	Monitoreo reactivo e inspección ocasional. Sin ningún tipo de control instrumental implementado: (1) Sin fisurómetros en puntos críticos (interfaces, zonas no reforzadas, tambor), (2) Sin inclinómetros en muros portantes o tambor, (3) Sin sensores de humedad relativa y temperatura interior/exterior, (4) Sin monitoreo instrumental de corrosión en elementos metálicos (técnicas electroquímicas), (5) Sin sistema de adquisición de datos continuo o programado, (6) Sin base de datos evolutiva de comportamiento estructural. Solo inspecciones visuales básicas no especializadas por administradores del bien, sin protocolo formalizado ni frecuencia establecida institucionalmente.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-4:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (1 + 1) / 2 = **1.0**
MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (5 × 3 × 5 × 4 × 1.0) / (2 × 25)
MR = 300 / 50 **= 6**

Tipo de ocurrencia: Factor amplificador (condición permanente que aumenta la magnitud de todos los demás riesgos estructurales)
Patrón de activación: Estado constante desde finalización proyecto 2022

Tabla 19
Evaluación Cuantitativa RE-5: Metodología de Intervención Potencialmente Agresiva

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	5 - Muy frecuente (anual)	Proceso completado durante intervención 2021-2022. Daños potenciales ya ejecutados sobre elementos constructivos originales mediante metodología de desmontaje. Manifestación constante y permanente: posibles micro-daños en mampostería (aunque no visibles superficialmente) existen desde intervención. Mena (2025) señala uso explícito de "herramientas o a veces la cantidad de energía que se puede aplicar sobre los bienes podría tener algún impacto a futuro" y "herramientas que posiblemente tenían una acción muy abrasiva o una acción muy fuerte sobre los elementos que son patrimoniales." Advierte principio fundamental violado: "nunca jamás a una estructura patrimonial se le debe someter a un tipo de vibración o golpes para retirar o desmontar algún elemento."
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Micro-daños potenciales en mampostería de piedra pómez por metodología agresiva pueden comprometer: (1) Interfaces entre elementos constructivos originales (debilitamiento de uniones históricas mortero-piedra), (2) Cohesión interna de la piedra pómez (material poroso especialmente vulnerable a estrés mecánico por vibraciones), (3) Comportamiento estructural futuro ante eventos sísmicos (micro-fisuras latentes pueden propagarse y activarse bajo carga sísmica, generando fisuras mayores), (4) Durabilidad a largo plazo de elementos afectados (deterioro acelerado por daños acumulados internos). Mena advierte: "Hablo del uso de materiales y herramientas que posiblemente tenían una acción muy abrasiva o una acción muy fuerte sobre los elementos que son patrimoniales." Daños ocultos no cuantificables sin ensayos no destructivos especializados (ultrasonido para detección fisuras internas, georradar para vacíos, análisis de capacidad resistente) o sin ensayos destructivos (extracción núcleos para análisis resistencia).
C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Metodología potencialmente agresiva afecta: (1) Totalidad de superficie de mampostería donde se desmontó tejuelo (~60-80% del área de cubierta de cúpula octogonal y bóvedas de cañón corrido), (2) Interfaces mampostería-morteros históricos expuestas directamente a herramientas abrasivas durante proceso de desmontaje, (3) Zonas de estructura sometidas a vibraciones durante trabajos de retiro de elementos (transmisión de vibraciones a través de fábrica), (4) Áreas perimetrales donde herramientas impactaron elementos originales durante maniobras.

VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Elementos constructivos originales (mampostería de piedra pómez, morteros históricos de cal-arena, interfaces históricas) tienen valor patrimonial excepcional como parte integral y auténtica del sistema constructivo histórico.
Vulnerabilidad	3 - Alta	(1) Micro-daños en mampostería son invisibles superficialmente pero potencialmente significativos estructuralmente, (2) Piedra pómez es material poroso altamente vulnerable a estrés mecánico (vibraciones generan micro-fisuras en estructura interna porosa), (3) Imposibilidad de evaluación precisa sin ensayos especializados (ultrasonido, georradar, análisis capacidad resistente comparativa), (4) Debilitamiento de interfaces elementos originales puede activarse súbitamente ante eventos sísmicos futuros (interfaces debilitadas fallan primero bajo carga), (5) Sin protocolo implementado de evaluación post-intervención de integridad estructural tras metodología de desmontaje agresiva (no se verificó si hubo daños).
Exposición	1 - Baja	Daño ya ejecutado durante intervención 2021-2022 (exposición pasada, no futura). No hay exposición futura continua a este riesgo específico. Manifestación futura de daños latentes dependerá de eventos de carga futuros (sismos) que activen micro-fisuras existentes o debilitamientos de interfaces.
CA (Control Actual)	2 - Controles Básicos	Monitoreo reactivo e inspección ocasional. Sin ningún control o evaluación implementada a nivel de la intervención: (1) Sin protocolo documentado formalmente de metodología de desmontaje utilizada (no hay registro técnico detallado), (2) Sin evaluación de impacto de herramientas específicas utilizadas sobre mampostería histórica, (3) Sin ensayos post-intervención de integridad estructural de mampostería (ultrasonido, resistencia, detección fisuras internas), (4) Sin registro de zonas específicas sometidas a mayor estrés mecánico durante desmontaje, (5) Imposibilidad absoluta de corrección o mitigación. Mena indica: “se debe reconocer y establecer cuál es el estado de conservación... se vuelve muy necesario el monitoreo, pues permite ir estableciendo en qué lugares podría haber afectaciones y atacar inmediatamente esa situación, no esperar que se convierta en una patología general.”

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-5:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 1) / 2 = **2.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (5 × 2 × 3 × 4 × 2.0) / (2 × 25)
MR = 240 / 50 **= 4.8**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo con manifestación diferida (daños latentes existentes que se manifiestan ante eventos de carga)
Patrón de activación: Daños ejecutados 2021-2022, manifestación potencial ante eventos sísmicos futuros que activen micro-fisuras o interfaces debilitadas

Tabla 20
Evaluación Cuantitativa RE-6: Retiro Material Histórico Original Sin Demostración Técnica Exhaustiva

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	5 - Muy frecuente (anual)	Pérdida completada durante intervención 2021-2022. Manifestación permanente y constante: materialidad histórica auténtica perdida irreversiblemente. Cada observación del bien manifiesta esta pérdida (tejuelo contemporáneo de reposición presente vs. original histórico ausente). Disociación entre original y reposición es condición permanente del bien post-intervención.
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Alto porcentaje de tejuelo con evidente daño que debía retirarse por temas de impermeabilización. Pérdida irreversible de: (1) Materialidad histórica auténtica (tejuelo vidriado decorativo multicolor 15x15cm original, característico de producción artesanal local Cotopaxi), (2) Pátina y calidad material adquirida con el tiempo (Mena: "pátina, esa calidad que adquieren al estar acostumbrados ya y siendo parte de una historia, de un inmueble, no es algo que yo debo retirar por el simple hecho de que las especificaciones técnicas o el contrato así dice y reza"), (3) Testimonio material directo de técnicas constructivas tradicionales artesanales regionales (conocimientos de artesanos que "supieron manejar muy bien el tema de los hornos, del tipo de arcilla, etc. Son conocimientos que están ahí en la obra" - Mena), (4) Autenticidad del bien patrimonial (principio fundamental Carta de Venecia, Art. 9: "la restauración... tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y a los documentos auténticos"). Mena enfatiza: "no podemos deshacernos de manera un poco ligera, un poco rápida" de materialidad histórica. Reposición con material nuevo de características diferentes reduce valor testimonial, autenticidad material y legibilidad histórica del bien.

C (Alcance)	4 – Gran parte (61-80%)	Retiro afecta: (1) Gran parte del sistema de cubierta (tejuelo completo de cúpula octogonal y bóvedas de cañón corrido retirado y reemplazado, gran parte de él debía retirarse pero no se evaluó adecuadamente), (2) 100% de superficie expuesta visible del sistema de cubierta, (3) Lectura histórica completa del sistema de cubierta comprometida (imposibilidad de apreciación de materialidad original), (4) Imposibilidad de diferenciación visual entre fábrica histórica y reposición contemporánea (pérdida total de legibilidad temporal de este componente). Según Perfil de Proyecto: intervención en "bóvedas del crucero y naves laterales" con "retiro y reposición del tejuelo" en extradós completo.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Sistema de cubierta con tejuelo vidriado artesanal decorativo multicolor (15x15cm, característico Cotopaxi) tiene valor patrimonial execpcional como: (1) Parte integral de expresión formal del bien (elemento visible prominente que define imagen), (2) Elemento característico distintivo de arquitectura religiosa regional de Cotopaxi (identidad arquitectónica local), (3) Testimonio de técnicas artesanales tradicionales regionales (producción en fábricas artesanales cercanas, conocimientos especializados), (4) Componente de identidad cultural material (reconocimiento comunitario).
Vulnerabilidad	3 - Alta	(1) Decisión irreversible ejecutada sin "sustento mucho más consistente que demuestre que lo que voy a retirar es menester" (Mena, 2025), (2) Sin documentación técnica exhaustiva demostrativa de vida útil cumplida del material original (Mena: "posiblemente tenía afectaciones, pero no tenemos la demostración de que esos materiales habían cumplido su vida útil"), (3) Sin registro pormenorizado de características específicas del tejuelo retirado (dimensiones exactas, variaciones individuales de piezas, técnica de fabricación artesanal específica, tipos de arcilla utilizados, colorimetría exacta, pátinas históricas adquiridas), (4) Imposibilidad absoluta de recuperación de materialidad original retirada (pérdida consumada), (5) Sin evaluación documentada de alternativas de conservación del material histórico mediante "buena limpieza de algún elemento invasivo, una buena fumigación, un buen lavado, etc. Y los volvemos nuevamente a poner en funcionamiento" (opción planteada por Mena como metodología no explorada suficientemente).
Exposición	1 - Baja	Pérdida ya completada durante intervención 2021-2022 (exposición pasada, consumada). No hay exposición futura a este riesgo específico (acción irreversible ya ejecutada).
CA (Control Actual)	2 – Controles Básicos	Monitoreo reactivo e inspección ocasional. Requerimiento directo de la entidad contratante (responsable) para retiro de tejuelo roto o en mal estado. Pero sin documentación suficiente: (1) Sin sustento técnico documentado de demostración de vida útil cumplida del tejuelo original (análisis de estado de conservación insuficiente), (2) Sin evaluación documentada exhaustiva de alternativas de conservación del material histórico (posibilidad de limpieza,

	consolidación, tratamiento y recolocación no explorada técnicamente), (3) Sin almacenamiento del material histórico retirado para estudio futuro, eventual reintegración parcial o museografía (destino del material desconocido), (5) Imposibilidad absoluta de reversibilidad. Mena menciona: “creo que se debe agotar siempre esta parte de evaluar y calificar los materiales... Son conocimientos que están ahí en la obra y que no podemos deshacernos de manera un poco ligera, un poco rápida.”

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-6:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 1) / 2 = **2**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (5 × 2 × 4 × 4 × 2) / (2 × 25)
MR = **320 / 50 = 6.4**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo irreversible (pérdida patrimonial consumada)
Patrón de activación: Pérdida permanente completada 2021-2022, manifestación constante continua

3.2. Consolidación en Matriz de Riesgos

Tabla 21

Matriz de Riesgos Integrada - Iglesia Catedral de Latacunga

ID	Riesgo Identificado	Tipo Ocurrencia	VP	A	B	C	Vuln	Exp	CA	MR
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Proceso acumulativo	4	4	3	4	2	4	2	11.5
RR-1	Fisuración estructural residual	Evento recurrente	4	2	4	4	2	4	2	7.7
RE-6	Retiro de material histórico original sin demostración técnica exhaustiva de necesidad	Proceso acumulativo irreversible	4	5	2	4	3	1	2	6.4
RE-4	Ausencia monitoreo estructural continuo post-intervención	Factor amplificador	4	5	3	5	1	1	2	6.0
RE-5	Metodología de intervención potencialmente agresiva sobre elementos constructivos originales	Proceso acumulativo (daño latente)	4	5	2	3	3	1	2	4.8
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Proceso acumulativo	4	3	3	3	3	3	3	4.3
RR-3	Recolonización biológica	Proceso acumulativo	4	4	2	3	2	4	3	3.8
RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Evento recurrente	4	3	2	3	2	4	3	2.9
RE-3	Incompatibilidad físico-química materiales de reintegración	Proceso acumulativo	4	3	2	2	2	2	2	1.9

Nota. **VP** = Valor Patrimonial (1-4), **A** = Frecuencia (1-5), **B** = Pérdida de Valor % (1-5), **C** = Alcance/Elementos Afectados (1-5), **Vuln** = Vulnerabilidad (1-4), **Exp** = Exposición (1-4), **CA** = Control Actual (1-4, donde 4 = controles óptimos), **MR** = Magnitud del Riesgo

Total de riesgos evaluados: 9 (3 riesgos residuales post-intervención + 6 riesgos emergentes derivados de intervención o gestión)

3.3. Interpretación de Valores Asignados

Control Actual (CA):

- **CA = 3** (Controles adecuados): Intervención 2021-2022 ejecutada, coordinación INPC-Diócesis efectiva, inspecciones visuales regulares. Limitación: sin monitoreo instrumental ni protocolos especializados.

- **CA = 2** (Controles básicos): Tratamientos ejecutados sin programas de seguimiento especializado, inspecciones generales visuales no especializadas, sin monitoreo instrumental.

FASE 4: Priorización y Análisis de Riesgo

4.1. Matriz de Priorización

Tabla 22

Matriz de Priorización de Riesgos según Magnitud y Valor Patrimonial

Código	Riesgo Identificado	MR	Magnitud	VP	Prioridad Final	Tiempo Respuesta
RR-2	Infiltraciones residuales menores	11.5	MEDIA	4 (Excepcional)	MEDIA	Largo plazo (1-3 años)
RR-1	Fisuración estructural residual	7.7	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-6	Retiro de material histórico original sin demostración técnica exhaustiva de necesidad	6.4	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-4	Ausencia monitoreo estructural continuo post-intervención	6.0	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-5	Metodología de intervención potencialmente agresiva sobre elementos constructivos originales	4.8	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	4.3	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RR-3	Recolonización biológica	3.8	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	2.9	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-3	Incompatibilidad físico-química materiales de reintegración	1.9	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)

Nota. **Criterios de clasificación de magnitud: MR < 10:** Riesgo BAJO, **10 ≤ MR < 30:** Riesgo MEDIO, **30 ≤ MR < 60:** Riesgo ALTO, **MR ≥ 60:** Riesgo CRÍTICO

4.2. Tipos de Ocurrencia y Requerimientos de Seguimiento

Tabla 23

Requerimientos de Seguimiento por Tipo de Ocurrencia

Código	Riesgo	Tipo Ocurrencia	Patrón Activación	Requerimientos Seguimiento
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Proceso acumulativo	Degradación progresiva sistema impermeabilización (10-15 años vida útil)	• Inspección anual especializada pre-época lluviosa • Evaluación estado tejuelo decorativo y masillado • Verificación sistema drenaje (canales, bajantes) • Análisis post-eventos pluviales extremos (>50mm/24h) • Monitoreo humedad interior (sensores en puntos críticos) Evaluación quinquenal vida útil impermeabilización
RE-6	Retiro de material histórico original sin demostración técnica exhaustiva de necesidad	Proceso acumulativo irreversible (pérdida patrimonial consumada)	Pérdida permanente completada 2021-2022, manifestación constante continua	• Documentación exhaustiva fotográfica del estado actual del tejuelo de reposición • Registro técnico completo de características del material contemporáneo instalado • Evaluación comparativa periódica (quinquenal) entre material original conservado en edificios similares vs. reposición • Documentación de lecciones aprendidas para futuras intervenciones en patrimonio similar • Consulta a archivos históricos y artesanos locales para recuperar conocimiento sobre técnicas tradicionales perdidas
RR-1	Fisuración estructural residual	Evento recurrente	Sismos significativos cada 10-50 años en Zona V	• Instalación de fisurómetros en 6-8 puntos críticos (interfaces refuerzo-mampostería, tambor, zonas no reforzadas) • Protocolo de inspección post-sísmica especializado (24-72h post-evento) • Evaluación estructural especializada tras sismos ≥5.5 Mw • Análisis tendencias apertura fisuras (lecturas trimestrales) • Correlación con datos sísmicos regionales (IGEPN)
RE-4	Ausencia monitoreo	Factor amplificador	Estado constante desde 2022	• Implementación urgente sistema monitoreo instrumental: - Fisurómetros (6-8 puntos)

	estructural continuo post-intervención			- Inclinómetros (2-4 puntos en tambor/muros) - Sensores humedad-temperatura (4-6 puntos) • Sistema adquisición datos continuo o lecturas programadas • Base datos evolutiva centralizada • Protocolos análisis tendencias
RE-5	Metodología de intervención potencialmente agresiva sobre elementos constructivos originales	Proceso acumulativo con manifestación diferida (daños latentes que se manifiestan ante eventos de carga)	Daños ejecutados 2021-2022, manifestación potencial ante eventos sísmicos futuros	• Ensayos no destructivos especializados (ultrasonido, georradar) para detección de micro-fisuras internas en mampostería • Evaluación de capacidad resistente de mampostería en zonas intervenidas vs. zonas no intervenidas • Monitoreo post-sísmico exhaustivo (prioridad alta tras eventos ≥4.5 Mw) • Inspección visual detallada anual con lupa 10x en interfaces mampostería-mortero expuestas durante desmontaje • Documentación de metodología inadecuada como caso de estudio para protocolos futuros
RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	Proceso acumulativo	Deterioro progresivo continuo (manifestación visible 10-20 años)	• Programa monitoreo corrosión con técnicas electroquímicas (potencial, resistencia polarización) • Selección 10 puntos perforación críticos para seguimiento • Ensayos laboratorio compatibilidad acero 316-piedra pómez bajo condiciones aceleradas • Inspección visual detallada anual (lupa 10x, búsqueda productos corrosión) • Análisis tendencias deterioro (evaluaciones bianuales → anuales)
RR-3	Recolonización biológica	Proceso acumulativo	Recolonización gradual (manifestación visible 2-5 años post-tratamiento)	• Inspección visual anual (mapeo zonas recolonización) • Fotografías comparativas sistemáticas • Evaluación efectividad tratamiento biocida/herbicida 2021-2022 • Protocolo reaplicación biocida en zonas críticas (cada 3-5 años) • Priorización zonas difícil acceso para mantenimiento

RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	Evento recurrente	Sismos moderados ≥5.0 Mw cada 5-10 años	• Modelamiento estructural con elementos finitos del sistema mixto (mampostería + refuerzo metálico) • Análisis distribución tensiones en interfaces • Instalación sensores deformación en 4-6 puntos estratégicos • Evaluación post-eventos sísmicos ≥5.0 Mw • Inspección especializada interfaces (ultrasonido, termografía) quinquenal
RE-3	Incompatibilidad físico-química materiales de reintegración	Proceso acumulativo	Deterioro por incompatibilidades (manifestación 5-10 años)	• Monitoreo visual anual interfaces materiales nuevos-originales • Detección temprana desprendimientos, eflorescencias, micro-fisuras • Fotografías comparativas zonas reintegración • Evaluación quinquenal compatibilidad materiales • Análisis tendencias deterioro localizado

4.3. Análisis de Riesgos

4.3.1. Hallazgos Principales

a. Efectividad de las intervenciones 2021-2022:

- Reducción significativa de riesgos históricos: Los riesgos residuales actuales tienen MR controladas (RR-1: 7.7, RR-2: 11.5, RR-3: 3.8), con un único riesgo en magnitud MEDIA (RR-2: 11.5)
- Mitigación documentada:
    - RH-1 (Fisuración estructural): Reducción estimada 60-70% mediante sistema "espina de pez" + inyecciones mortero cal
    - RH-2 (Infiltraciones): Reducción estimada 75-85% mediante renovación integral impermeabilización
    - RH-3 (Biodeterioro): Reducción estimada 70-80% mediante tratamientos biocida/herbicida
- Cesación de manifestaciones críticas: Desaparición de manchas de humedad interior, control de proliferación biológica activa
- Implementación de componentes de consolidación estructural: Sistema "espina de pez", inyecciones y consolidaciones ejecutados dentro del proyecto de restauración arquitectónica 2021-2022

b. Valor patrimonial excepcional eleva prioridad:

- VP = 4 (Excepcional) en todos los riesgos evaluados (9 de 9) por tratarse de:
    - Centro histórico de evangelización agustina con alcance regional
    - Testimonio de resiliencia comunitaria (terremotos 1768, 1797)
    - Cúpula octogonal inspirada en San Pedro de Roma (elemento distintivo único)
    - Hito urbano de primer orden (valoración INPC 50/50 puntos)
- Todos los riesgos, incluso con MR bajo, adquieren prioridad MEDIA-BAJA mínima debido al valor excepcional del bien
- La irreemplazabilidad justifica gestión preventiva exhaustiva, aunque las magnitudes de riesgo sean controladas

c. Perfil de riesgo controlado permite enfoque preventivo:

- Un único riesgo alcanza magnitud MEDIA: RR-2 (Infiltraciones residuales, MR = 11.5)
    - Prioridad MEDIA con tiempo de respuesta largo plazo (1-3 años)
    - Riesgo gestionable mediante inspecciones anuales pre-época lluviosa y evaluación quinquenal vida útil
- Ningún riesgo alcanza magnitud ALTA (MR ≥ 30) o CRÍTICA (MR ≥ 60)
    - No se requieren intervenciones físicas urgentes o emergentes

    - Perfil permite planificación estructurada a mediano-largo plazo (1-5 años)
- RR-1 (Fisuración estructural residual, MR = 7.7) merece atención especial por:
    - Zona sísmica V (exposición muy alta constante)
    - Historial destructivo documentado (1768, 1797)
    - Aunque reforzamiento 2021-2022 reduce vulnerabilidad, exposición sísmica permanente mantiene vigilancia necesaria
    - Acción prioritaria: Instalación fisurómetros + protocolo inspección post-sísmica

d. Gestión preventiva vs. correctiva:

- Énfasis debe estar en monitoreo especializado y mantenimiento programado, no en intervenciones correctivas inmediatas
- Recursos deben destinarse prioritariamente a:
    1. Sistemas de monitoreo instrumental (RE-4, RR-1)
    2. Modelamiento estructural (RR-1, RE-2)
    3. Programas de mantenimiento preventivo quinquenal (RR-2, RR-3)
    4. Ensayos de compatibilidad materiales (RE-1, RE-3)

e. Riesgos emergentes merecen atención proactiva:

- RE-1 (Incompatibilidad electroquímica acero-piedra, MR = 4.3) y RE-2 (Concentración tensiones interfaces, MR = 2.9) son consecuencias directas de la intervención 2021-2022
- Sistema mixto mampostería-refuerzo metálico introduce complejidades nuevas sin precedentes documentados en contexto similar:
    - Horizonte temporal 10-20 años (RE-1) requiere planificación anticipada
    - Sin experiencia documentada compatibilidad acero inoxidable-piedra pómez en ambiente andino a largo plazo
    - Monitoreo especializado es inversión preventiva frente a posible fallo futuro del sistema de reforzamiento

f. Factor amplificador crítico (RE-4):

- Ausencia de monitoreo instrumental (MR = 6.0) es factor transversal que amplifica todos los demás riesgos.
- Aunque MR sea bajo, su naturaleza de “factor amplificador” lo hace crítico para gestión preventiva.
- Imposibilidad actual de:
    - Detectar tempranamente reactivación de fisuras
    - Validar efectividad reforzamiento 2021-2022
    - Obtener datos cuantitativos del comportamiento estructural
    - Establecer líneas base para comparación futura
- Implementación urgente de monitoreo instrumental es acción transversal que beneficia gestión de múltiples riesgos simultáneamente.

g. Riesgos de pérdida patrimonial consumada requieren documentación:

- RE-6 (Retiro material original, MR = 6.4) y RE-5 (Metodología agresiva, MR = 4.8) son pérdidas irreversibles ya ejecutadas durante intervención 2021-2022
- Aunque el daño no es mitigable, la documentación exhaustiva es crítica para:
    - Lecciones aprendidas en futuras intervenciones
    - Registro histórico de decisiones y metodologías aplicadas
    - Evaluación de impactos a largo plazo (RE-5: micro-daños latentes activables por sismos futuros)

h. Tipos de ocurrencia identificados:

- Eventos recurrentes (RR-1, RE-2):
    - Requieren protocolos de respuesta post-eventos específicos
    - Evaluaciones programadas según periodicidad de activación
    - Monitoreo inmediato tras eventos desencadenantes (sismos)
    - Análisis de correlación evento-manifestación
- Procesos acumulativos (RR-2, RR-3, RE-1, RE-3):
    - Requieren análisis de tendencias a largo plazo
    - Evaluaciones periódicas especializadas (anuales, bianuales, quinquenales)
    - Monitoreo continuo o programado de evolución gradual
    - Detección temprana de cambios progresivos
- Factor amplificador (RE-4):
    - Requiere implementación urgente de capacidad de monitoreo
    - Afecta transversalmente la gestión de todos los demás riesgos
    - Prioridad estratégica aunque MR sea bajo
- Procesos irreversibles consumados (RE-5, RE-6):
    - Requieren documentación exhaustiva para registro histórico
    - Monitoreo de manifestaciones diferidas (RE-5: daños latentes)
    - Generación de lecciones aprendidas para futuras intervenciones

i. Deficiencias metodológicas en fase de diseño y ejecución comprometen parcialmente la validez técnica de la evaluación:

El proyecto ejecutado 2021-2022 (“Restauración Arquitectónica Parcial de la Iglesia la Catedral de Latacunga”, GAD Municipal) implementó componentes con implicaciones estructurales (sistema “espina de pez”, inyecciones mortero cal, consolidaciones) dentro de un enfoque de conservación preventiva arquitectónica.

Entrevista Rest. Edison Mena (técnico control INPC, 2025) señala limitaciones críticas:

- INPC no participó en fase de diseño, solo control técnico durante ejecución (“cuando se estaban realizando ya los trabajos”)
- Sin estudios estructurales previos exhaustivos (“se omiten porque van a encarecer la obra”)

- Sin matriz de evaluación de riesgos estructurales formalizada
- Sin caracterización de materiales completa en fase de diseño
- Metodología de desmontaje potencialmente agresiva (uso de “herramientas con acción muy abrasiva”, sometimiento a “vibraciones o golpes” contrario a principios conservación)
- Retiro de material histórico original sin demostración técnica suficiente (“no tenemos la demostración de que esos materiales habían cumplido su vida útil”)
- Efectividad estructural no validada empíricamente (“eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante” - sin sismos significativos post-2022)
- Sin monitoreo instrumental post-intervención (confirmación explícita: “No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho”)
- Sin perspectiva del ingeniero estructural responsable (información limitada a memoria arquitectónica y técnico de control)

Implicaciones:

- Validación efectividad reforzamiento pendiente (depende eventos sísmicos futuros o análisis retrospectivo)
- Posibles micro-daños ocultos en mampostería no detectables visualmente
- Pérdida autenticidad materialidad histórica (tejuelo original)
- Necesidad URGENTE: (1) Monitoreo instrumental para línea base comportamiento real, (2) Análisis estructural retrospectivo para validar técnicamente sistema implementado sin estudios previos rigurosos

4.3.2. Sugerencias de Priorización-Acción (Mediano-Largo Plazo)

Tabla 24
Matriz de Priorización - Acción

#	Código	Riesgo	MR	Acción Principal	Justificación Prioridad
1	RR-2	Infiltraciones residuales menores	11.5	Programa mantenimiento preventivo quinquenal sistema impermeabilización	• Único riesgo de magnitud MEDIA (11.5) • Vida útil impermeabilización limitada (10-15 años típico) • Sistema renovado 2021-2022 requiere seguimiento • Mantenimiento programado reduce riesgo degradación futura
2	RR-1	Fisuración estructural residual	7.7	Instalación sistema monitoreo instrumental + análisis estructural retrospectivo urgente	• MR segundo más alto (MR=7.7) • Valor patrimonial excepcional (VP=4) • Zona sísmica V con historial destructivo (1768, 1797) • Efectividad de consolidación NO validada (sin eventos sísmicos post-2022) • Componentes estructurales implementados sin estudios previos exhaustivos • Alcance extenso: 61-80% sistema estructural • Validación técnica URGENTE del sistema implementado mediante análisis retrospectivo
3	RE-6	Retiro de material histórico original sin demostración técnica exhaustiva de necesidad	6.4	Documentación retrospectiva material retirado + protocolo evaluación materiales históricos futuras intervenciones	• Pérdida autenticidad materialidad histórica consumada • Compromiso principio Carta de Venecia (autenticidad) • Necesidad protocolo institucional evaluación vida útil materiales históricos • Lección aprendida crítica para futuras intervenciones • Documentar decisión para registro histórico bien
4	RE-4	Ausencia monitoreo estructural continuo post-intervención	6.0	Implementación URGENTE sistema monitoreo instrumental integral	• Riesgo transversal CRÍTICO (factor amplificador de todos los demás) • Afecta gestión de TODOS los riesgos estructurales

					• Confirmación explícita Mena: “No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho” • Imposibilidad detección temprana sin instrumentación • Necesario para validar efectividad componentes consolidación • Inversión estratégica beneficio múltiple • Acción habilitadora gestión preventiva efectiva
5	RE-1	Incompatibilidad electroquímica acero-piedra pómez	4.3	Programa monitoreo corrosión + ensayos laboratorio compatibilidad	• Sin precedentes acero inoxidable-piedra pómez contexto andino • Horizonte largo (10-20 años) permite investigación preventiva • Alcance considerable: sistema refuerzo completo • Investigación científica necesaria
6	RR-3	Recolonización biológica	3.8	Programa re aplicación biocida periódica + protocolo inspección zonas difícil acceso	• Eficacia temporal tratamientos biocidas limitada (2-5 años) • Zonas difícil acceso vulnerables a recolonización • Piedra pómez porosa naturalmente favorable colonización • Mantenimiento preventivo reduce costos futuros intervención correctiva
7	RE-2	Concentración tensiones en interfaces de refuerzo	2.9	Análisis estructural retrospectivo: modelamiento elementos finitos sistema mixto	• Sistema mixto mampostería-refuerzo sin análisis numérico • Valor patrimonial excepcional (VP=4) • Zona sísmica V activa (eventos ≥5.0 Mw cada 5-10 años) • Componentes estructurales sin estudios previos rigurosos • Necesidad comprender distribución tensiones interfaces • Validación técnica retrospectiva crítica
8	RE-5	Metodología de intervención potencialmente agresiva sobre elementos constructivos originales	4.8	Implementación de un protocolo institucional de metodologías de intervención no agresivas y realización de una evaluación post-intervención de la integridad de la mampostería mediante	• MR bajo (4.8), pero con potencial de impacto significativo sobre la integridad material del bien patrimonial. • Posibilidad de daños ocultos o acumulativos donde fue intervenido. • Riesgo de afectación irreversible de elementos originales si no se corrigen las metodologías de intervención. • Necesidad de estandarizar criterios técnicos para futuras intervenciones.

				ensayos no destructivos y monitoreo técnico.	• Importancia de prevenir deterioros progresivos que podrían incrementar el nivel de riesgo en el mediano y largo plazo.
9	RE-3	Incompatibilidad físico-química materiales de reintegración	1.9	Monitoreo visual interfaces + protocolo detección temprana desprendimientos	• Alcance moderado: ~20-30% superficie (zonas reintegración) • Manifestación gradual (5-10 años) permite detección temprana • No compromete estructura global pero afecta durabilidad intervención • Monitoreo visual periódico suficiente (sin instrumentación sofisticada)

Tabla 25

Plan de Acción RR-2 - Infiltraciones Residuales (PRIORIDAD 1)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**Programa Mantenimiento Preventivo Quinquenal:** • Protocolo inspección pre-época lluviosa • Evaluación estado tejuelo decorativo • Verificación sistema drenaje (limpieza canales/bajantes) • Cronograma + presupuesto 5 años	INPC + administrador bien	• Programa mantenimiento formal • Manual procedimientos • Cronograma quinquenal • Presupuesto asignado
Mediano (1-3 años)	• Implementar programa mantenimiento • Inspecciones anuales pre-lluvias • Evaluación post-eventos extremos • Registro actividades ejecutadas • Fotografías comparativas • Detección temprana deterioros	INPC + administrador	• Registro mantenimiento ejecutado • Reportes anuales
Largo (3-5 años)	• Evaluar efectividad programa • Planificar renovación impermeabilización (años 10-15) • Ajustar protocolos según experiencia	INPC	• Evaluación programa • Planificación renovación futura • Protocolos optimizados

Tabla 26

Plan de Acción RR-1 - Fisuración Estructural Residual + Validación Técnica Sistema de Consolidación (PRIORIDAD 2)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Instalación Sistema Monitoreo Instrumental:** • Instalar 6-8 fisurómetros digitales en puntos críticos: - 3 en interfaces refuerzo metálico-mampostería - 2 en uniones tambor-cúpula octogonal - 2 en zonas no reforzadas (control comparativo) - 1 en zona de máxima concentración de esfuerzos • Establecer línea base de mediciones iniciales (lecturas cada 48h durante primer mes) • Desarrollar protocolo de inspección post-sísmica especializado (activación automática 24-72h post-evento ≥4.5 Mw) • Elaborar manual de lectura e interpretación de datos para personal local **B. Análisis Estructural Retrospectivo del Sistema de Consolidación:** • Contratar análisis estructural especializado independiente • Revisión crítica técnica del sistema "espina de pez" implementado 2021-2022 (varillas acero inoxidable 16mm, espaciamiento, anclaje) • Modelamiento con elementos finitos del sistema mixto mampostería histórica + refuerzo metálico actual • Análisis de distribución de tensiones en interfaces críticas mampostería-refuerzo • Evaluación de suficiencia del sistema ante escenarios sísmicos Zona V:	INPC (coordinación general) Técnico instrumentación (instalación sensores) Ingeniero estructural especialista en patrimonio (análisis retrospectivo) Personal local (Diócesis/GAD)	• 6-8 fisurómetros instalados operativos • Línea base datos establecida • Protocolo post-sísmico formalizado aprobado • Manual lectura/interpretación (técnico + versión simplificada local) • Informe análisis estructural retrospectivo completo (80-120 págs.) • Modelo estructural 3D validado (sistema mixto, archivo digital) • Evaluación técnica suficiencia sistema consolidación • Análisis escenarios sísmicos críticos Zona V • Mapeo puntos críticos para monitoreo prioritario • Identificación deficiencias diseño (si existen, con nivel criticidad) • Recomendaciones técnicas fundamentadas (reforzamiento complementario si necesario, monitoreo adicional, protocolos)

	- PGA según NEC-SE-DS (0.40-0.45g) - Espectros de respuesta elástica - Análisis modal dinámico (frecuencias, modos de vibración) • Análisis de comportamiento esperado bajo carga sísmica (aceleraciones horizontales/verticales) • Identificación de posibles deficiencias o puntos críticos no considerados en diseño original 2021-2022 • Evaluación de necesidad de reforzamiento complementario (si deficiencias identificadas) • Recomendaciones técnicas priorizadas para monitoreo instrumental adicional **C. Coordinación Institucional:** • Conformar comité técnico de seguimiento (INPC + GAD Municipal + Diócesis) • Establecer protocolo de comunicación ante alertas (cadena responsabilidades) • Capacitar a 2-3 personas locales en lectura básica de fisurómetros		• Comité técnico conformado (acta constitutiva) • Protocolo comunicación aprobado • Personal local capacitado (certificados)
Mediano (1-3 años)	• Operación sistema monitoreo: - Lecturas trimestrales fisurómetros (personal local capacitado) - Lecturas extraordinarias inmediatas post-sismos ≥ 4.5 Mw - Reportes semestrales al comité técnico • Evaluaciones post-sísmicas especializadas: - Activación protocolo post-sísmica dentro de 72h tras eventos ≥ 5.5 Mw - Inspección visual detallada + lectura instrumental - Evaluación de daños y comportamiento sistema	INPC (coordinación) Personal local capacitado (lecturas rutinarias) Especialista estructural (evaluaciones post-sísmicas, inspecciones anuales, análisis datos) Laboratorio especializado (ultrasonido, termografía)	• Base datos histórica evolutiva (36 lecturas trimestrales mínimo) • Gráficos tendencias temporales y análisis estadístico • Reportes técnicos semestrales (6 reportes) • Reportes post-eventos sísmicos (según ocurrencia) • Informes inspecciones técnicas anuales (3 informes)

	• Inspecciones técnicas anuales: - Interfaces refuerzo-mampostería con ultrasonido (detección desprendimientos internos) - Termografía infrarroja (detección anomalías, humedad, fisuras ocultas) • Análisis de datos y validación: - Correlación datos fisurómetros con eventos sísmicos regionales (IGEPN/IG-EPN) - Análisis estadístico de tendencias (aperturas, cierres, comportamiento estacional) - Actualización modelo estructural con datos empíricos reales - Validación comportamiento modelado vs. comportamiento real observado • Implementación de recomendaciones: - Ejecutar reforzamiento complementario (si recomendado en análisis retrospectivo) - Instalar monitoreo adicional (si identificados puntos críticos nuevos)		• Correlaciones estadísticas evento sísmico-respuesta estructural • Modelo estructural actualizado calibrado con datos reales • Informe validación modelo (teórico vs. empírico) • Intervenciones correctivas ejecutadas (si necesarias, con actas entrega-recepción) • Sistema monitoreo ampliado (si necesario)
Largo (3-5 años)	• Evaluación integral del sistema (5 años de datos): - Análisis estadístico completo: correlación fisuras vs. eventos sísmicos (5 años) - Evaluación de efectividad del sistema “espina de pez” basada en evidencia empírica - Análisis de comportamiento ante eventos sísmicos ocurridos (si hubieron) - Evaluación de degradación/envejecimiento del sistema refuerzo metálico	INPC Especialista estructural Comité técnico	• Estudio estadístico integral (5 años, análisis robusto) • Evaluación técnica efectividad sistema refuerzo (basada en evidencia empírica) • Informe comportamiento ante eventos sísmicos (registro histórico) • Evaluación técnica degradación sistema (estado actual vs. inicial)

	• Decisión técnica fundamentada: - Suficiencia del sistema actual vs. necesidad reforzamiento adicional - Basada en comportamiento real observado (no solo modelamiento) • Planificación largo plazo: - Protocolo de mantenimiento preventivo estructural (siguiente década) - Evaluación de vida útil remanente sistema consolidación - Cronograma intervenciones futuras (si necesarias) - Estimación presupuestaria intervenciones planificadas • Documentación y transferencia conocimiento: - Publicación resultados (paper técnico, caso de estudio) - Actualización fichas inventario INPC con información sistema monitoreo - Capacitación nueva generación personal local (recambio)		• Recomendaciones técnicas fundamentadas largo plazo • Protocolo mantenimiento preventivo formalizado (próxima década) • Evaluación vida útil remanente (años estimados) • Planificación intervenciones futuras (cronograma 10 años, presupuesto estimado) • Publicación técnica/académica (caso de estudio) • Fichas INPC actualizadas • Personal local nueva generación capacitado (continuidad)

Tabla 27

Plan de Acción RE-6 - Retiro Material Original Sin Demostración Técnica (PRIORIDAD 3)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Documentación Retrospectiva Material Retirado:** • Búsqueda exhaustiva de fotografías/documentación pre-retiro del tejuelo original (archivos INPC, municipales, eclesiásticos, colecciones privadas) • Documentar formalmente la decisión de retiro en registro histórico del bien (memoria técnica complementaria) • Análisis crítico del sustento técnico empleado para justificar retiro • Identificar si existe material retirado almacenado (bodegas municipales, eclesiásticas)	INPC + GAD Municipal + especialista conservación	• Informe documentación retrospectiva • Registro histórico formal de decisión retiro • Análisis crítico sustento técnico • Inventario material almacenado (si existe) • Protocolo Institucional INPC formalizado

	• Registro fotográfico actual del tejuelo de reposición (documentación estado actual para futuras comparaciones) **B. Protocolo Institucional Evaluación Materiales Históricos:** • Elaborar protocolo INPC de evaluación de vida útil de materiales históricos antes de autorizar retiro • Criterios técnicos específicos para demostración de necesidad de retiro vs. alternativas conservación • Procedimiento formal de evaluación de alternativas (limpieza especializada, consolidación, tratamiento, recolocación) • Documentación exhaustiva obligatoria pre-retiro (fotografía, caracterización, numeración, salvaguarda muestra) • Niveles de autorización requeridos según valor patrimonial del material		• Criterios técnicos demostración necesidad retiro • Guía metodológica evaluación alternativas conservación
Mediano (1-3 años)	• Capacitación personal técnico INPC y GAD en aplicación de protocolo • Difusión de buenas prácticas patrimoniales (caso Catedral como estudio) • Aplicación piloto del protocolo en otras intervenciones planificadas • Evaluación de aplicabilidad y ajustes necesarios	INPC + GADs	• Personal técnico capacitado (certificaciones) • Material didáctico difundido • Protocolo implementado en proyectos piloto • Lecciones aprendidas documentadas
Largo (3-5 años)	• Evaluación de efectividad del protocolo (casos aplicados) • Ajustes al protocolo según experiencia acumulada • Integración formal en normativa interna institucional INPC • Inclusión en manuales técnicos de intervención patrimonial	INPC	• Protocolo validado y ajustado • Normativa interna INPC actualizada • Buenas prácticas institucionalizadas • Manual técnico publicado

Tabla 28

Plan de Acción RE-1 - Incompatibilidad Electroquímica Acero-Piedra (PRIORIDAD 4)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Programa Monitoreo Corrosión:** • Seleccionar 10 puntos perforación críticos • Técnicas electroquímicas (potencial, resistencia polarización) • Inspección visual detallada (lupa 10x) **B. Ensayos Laboratorio:** • Compatibilidad acero 316-piedra pómez Latacunga • Condiciones aceleradas (ambiente andino simulado) • Análisis microscópico interfaces (SEM-EDS si disponible)	INPC + laboratorio especializado	• Programa monitoreo establecido • Línea base corrosión • Informe ensayos laboratorio • Recomendaciones técnicas preventivas
Mediano (1-3 años)	• Evaluación periódica corrosión (semestral → anual) • Análisis tendencias deterioro • Identificar factores aceleradores • Mapeo zonas vulnerables	INPC + especialista	• Base datos evolutiva corrosión • Análisis tendencias • Mapa vulnerabilidad • Identificación zonas críticas
Largo (3-5 años)	• Evaluar necesidad tratamiento preventivo • Protocolo detección temprana fallo refuerzo • Plan contingencia sustitución (si necesario horizonte 15-20 años)	INPC + especialista	• Evaluación necesidad intervención • Protocolo alerta temprana • Plan contingencia desarrollado

Tabla 29

Plan de Acción RR-3 - Recolonización Biológica (PRIORIDAD 5)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**Programa Re aplicación Biocida Periódica:** • Protocolo inspección visual anual zonas difícil acceso • Mapeo sistemático recolonización (fotografías comparativas)	INPC + administrador bien + especialista conservación	• Programa re aplicación biocida formalizado • Protocolo inspección anual

	• Evaluación efectividad tratamiento 2021-2022 • Cronograma re aplicación biocida zonas críticas (cada 3-5 años) • Selección productos biocidas compatibles piedra pómez		• Mapa zonas vulnerables • Cronograma tratamientos • Especificaciones técnicas productos
Mediano (1-3 años)	• Implementar programa inspección anual • Re aplicación tratamiento biocida zonas críticas (según cronograma) • Registro fotográfico evolutivo comparativo • Evaluación efectividad tratamientos aplicados • Ajustes protocolo según resultados	INPC + administrador	• Inspecciones anuales ejecutadas • Tratamientos biocidas aplicados • Registro fotográfico evolutivo • Reportes evaluación efectividad • Protocolo ajustado
Largo (3-5 años)	• Evaluación integral efectividad programa (5 años) • Análisis costo-beneficio tratamientos periódicos • Optimización cronograma re aplicación según datos empíricos • Protocolo mantenimiento preventivo biológico largo plazo	INPC	• Evaluación integral programa • Análisis costo-beneficio • Cronograma optimizado • Protocolo largo plazo formalizado

Tabla 30

Plan de Acción RE-4 - Ausencia Monitoreo Estructural Continuo (PRIORIDAD 6)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**Sistema Monitoreo Integral:** • Fisurómetros: 6-8 puntos (ver RR-1) • Inclinómetros: 2-4 puntos (tambor, muros portantes) • Sensores humedad-temperatura: 4-6 puntos (interior cúpula, zonas críticas, exterior) • Sistema adquisición datos (manual o automático según presupuesto) • Diseño base datos centralizada • Protocolos lectura e interpretación	INPC + técnico instrumentación + especialista	• Sistema monitoreo completo instalado • Base datos operativa • Protocolos formalizados • Personal capacitado en lectura • Manual usuario sistema

Mediano (1-3 años)	• Operación sistema monitoreo • Lecturas programadas (frecuencia según tipo sensor) • Análisis tendencias evolutivas • Reportes semestrales/anuales • Ajustes protocolos según experiencia	INPC + personal capacitado	• Base datos poblada • Gráficos tendencias • Reportes periódicos • Alertas tempranas (si aplica)
Largo (3-5 años)	• Evaluación efectividad sistema monitoreo • Optimización protocolos • Expansión sistema (si necesario) • Integración con otros sistemas gestión patrimonio	INPC	• Evaluación sistema • Protocolos optimizados • Sistema sostenible largo plazo

Tabla 31

Plan de Acción RE-2 - Concentración Tensiones en Interfaces (PRIORIDAD 7)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	• Contratar análisis estructural especializado • Modelamiento elementos finitos (mampostería + refuerzo metálico) • Análisis distribución tensiones en interfaces • Establecer protocolo inspección post-sísmica	Ingeniero estructural especialista + INPC	• Modelo estructural 3D detallado • Análisis tensiones interfaces • Protocolo post-sísmico • Identificación zonas vulnerables
Mediano (1-3 años)	• Instalar sensores deformación 4-6 puntos estratégicos • Evaluación post-sismos ≥5.0 Mw • Análisis comparativo modelado vs. Real • Inspección interfaces con técnicas avanzadas	INPC + especialista	• Sensores instalados • Base datos deformaciones • Reportes post-eventos • Validación modelo
Largo (3-5 años)	• Actualizar modelo con datos empíricos • Evaluar necesidad intervención correctiva • Protocolo mantenimiento interfaces	INPC + especialista	• Modelo validado actualizado • Recomendaciones técnicas • Protocolo largo plazo

Tabla 32

Plan de Acción RE-5 - Metodología de Intervención Potencialmente Agresiva (PRIORIDAD 8)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Evaluación Post-Intervención Integridad Mampostería:** • Contratar ensayos no destructivos especializados: - Ultrasonido para detección de micro-fisuras internas en mampostería piedra pómez - Georradar para identificación de vacíos o desprendimientos internos - Termografía infrarroja para detección de anomalías (zonas debilitadas, humedad) • Seleccionar zonas críticas para evaluación (áreas sometidas a mayor estrés mecánico durante desmontaje) • Análisis comparativo con zonas no intervenidas (línea base) • Evaluación de capacidad resistente actual vs. esperada (si factible mediante extracción núcleos selectivos) **B. Protocolo Institucional Metodologías No Agresivas:** • Elaborar protocolo INPC de metodologías de desmontaje/retiro no agresivas para bienes patrimoniales • Especificaciones técnicas de herramientas permitidas según materialidad (piedra pómez, ladrillo, adobe, madera) • Prohibiciones explícitas: vibraciones, percusión, herramientas abrasivas de alta energía • Metodologías alternativas recomendadas (manuales, herramientas suaves, progresión gradual) • Protocolo de evaluación de impacto durante desmontaje (monitoreo vibraciones, inspección progresiva)	INPC + laboratorio especializado + especialista conservación	• Informe ensayos no destructivos • Mapeo de daños ocultos (si existen) • Evaluación integridad estructural actual • Recomendaciones técnicas (tratamiento si necesario) • Protocolo Institucional INPC metodologías no agresivas • Manual técnico desmontaje patrimonial • Especificaciones herramientas según materialidad
Mediano (1-3 años)	• Capacitación personal técnico y contratistas en metodologías no agresivas	INPC + GADs	• Personal/contratistas capacitados • Supervisión documentada

	• Supervisión estricta de cumplimiento en intervenciones en curso • Evaluación de aplicabilidad del protocolo (retroalimentación) • Monitoreo de zonas identificadas con posibles daños (fisurómetros si crítico)		• Protocolo aplicado en proyectos • Sistema monitoreo zonas críticas (si necesario)
Largo (3-5 años)	• Evaluación de comportamiento de zonas con micro-daños ante eventos sísmicos (si ocurren) • Ajustes al protocolo según experiencia • Integración en normativa INPC y pliegos contractuales • Difusión regional buenas prácticas	INPC	• Evaluación largo plazo • Protocolo validado institucionalizado • Normativa actualizada • Buenas prácticas estandarizadas

Tabla 33

Plan de Acción RE-3 - Incompatibilidad Materiales Reintegración (PRIORIDAD 9)

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**Programa Monitoreo Visual Interfaces:** • Protocolo inspección visual anual zonas reintegración • Detección temprana desprendimientos, eflorescencias, micro-fisuras • Fotografías comparativas sistemáticas zonas reintegración • Mapeo interfaces materiales nuevos-originales • Especificaciones técnicas para intervención correctiva (si necesaria)	INPC + especialista conservación	• Programa monitoreo visual formalizado • Protocolo inspección anual • Mapa interfaces críticas • Especificaciones intervención correctiva
Mediano (1-3 años)	• Implementar inspecciones visuales anuales • Registro fotográfico evolutivo comparativo • Evaluación quinquenal compatibilidad materiales • Intervención correctiva localizada (si detectados deterioros)	INPC + administrador	• Inspecciones anuales ejecutadas • Registro fotográfico evolutivo • Evaluación quinquenal realizada • Intervenciones correctivas (si necesarias) • Análisis tendencias

	• Análisis tendencias deterioro localizado		
Largo (3-5 años)	• Evaluación integral compatibilidad materiales (5 años datos) • Recomendaciones para futuras intervenciones • Protocolo selección materiales compatibles para patrimonio • Difusión lecciones aprendidas	INPC	• Evaluación integral 5 años • Recomendaciones técnicas futuras intervenciones • Protocolo selección materiales • Lecciones aprendidas documentadas

4.3.3. Monitoreo Rutinario

Ninguno de los riesgos evaluados alcanza condiciones que justifiquen un tiempo de respuesta de monitoreo continuo. Los riesgos identificados corresponden a procesos acumulativos con manifestación gradual, eventos recurrentes vinculados a actividad sísmica, o pérdidas patrimoniales ya consumadas. En consecuencia, las estrategias de seguimiento se estructuran mediante inspecciones programadas (anuales, bianuales o quinquenales según el riesgo), protocolos de respuesta ante eventos específicos, y sistemas de monitoreo instrumental con lecturas periódicas. Este enfoque permite una gestión preventiva efectiva sin requerir vigilancia permanente ininterrumpida.

FASE 5. Nivel de Confianza y Limitaciones del Estudio

5.1. Nivel de Confianza

Nivel de confianza general: MEDIO (70%)

Tabla 34
Fundamentos del Nivel de Confianza

Componente Evaluado	Nivel Confianza	Fundamento	Fuentes
Intervenciones documentadas	70%	Documentación oficial del proyecto 2021-2022 disponible: Perfil de Proyecto (GAD Municipal, 18/11/2021), memoria técnica Arq. Víctor Lozano. Proyecto titulado "Restauración Arquitectónica Parcial" con enfoque en conservación preventiva emergente y mantenimiento. LIMITACIÓN CRÍTICA: Entrevista Rest. Mena revela: (1) Ausencia de estudios estructurales previos exhaustivos para componentes de consolidación estructural implementados ("se omiten porque encarecen obra"), (2) Sin caracterización de materiales completa, (3) Sin matriz de evaluación de riesgos estructurales formalizada, (4) INPC no participó en diseño (solo control técnico ejecución). LIMITACIÓN CRÍTICA ADICIONAL: No se cuenta con entrevista al ingeniero estructural responsable del diseño/supervisión de componentes de consolidación (sistema "espina de pez", inyecciones, consolidaciones), impidiendo acceso directo a criterios técnicos estructurales, análisis realizados y justificaciones de decisiones adoptadas.	• Perfil Proyecto GAD Municipal 2021 • Memoria técnica Lozano • Entrevista Mena 2025 (técnico control INPC) • No disponible: Entrevista ingeniero estructural • No disponible: Estudios estructurales previos • No disponible: Matriz riesgos estructurales
Diagnósticos estructurales	80%	Análisis con ingeniero especializado, determinación naturaleza fisuramientos, criterios reforzamiento fundamentados	• Documentación proyecto 2021-2022 • Análisis cualitativo estructural • Documentación INPC

Valoración patrimonial	100%	Fichas inventario INPC completas actualizadas, 50/50 puntos según baremo oficial	• Fichas INPC 2015, 2024 • Baremo Instructivo oficial
Datos amenazas	80%	Fuentes oficiales sismicidad, registros históricos eventos, contexto regional conocido	• NEC-SE-DS • Registros históricos 1768, 1797 • Contexto regional andino
Levantamiento campo	70%	Basado en documentación fotográfica INPC, informes técnicos. Sin inspección directa del evaluador	• Archivo fotográfico INPC • Documentación técnica 2021-2022 • Inspecciones previas registradas
Validación efectividad componentes consolidación estructural	0%	No validada empíricamente. Rest. Mena (2025) señala explícitamente: “eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante, tendremos la respuesta. Es decir, que todavía no ha pasado la prueba, porque estos años, después de la intervención, no ha habido un evento telúrico que ponga a prueba esa parte.” No ha habido eventos sísmicos significativos (magnitud ≥5.0-6.0 Mw) post-2021-2022 que validen empíricamente comportamiento real del sistema de consolidación (espina de pez, inyecciones) bajo condiciones de carga sísmica. Sistema implementado sin estudios estructurales previos rigurosos. Comportamiento estructural real bajo carga sísmica desconocido (solo validable mediante análisis retrospectivo o eventos sísmicos futuros)	• Entrevista Mena 2025 • Ausencia de eventos sísmicos significativos post-2022 • Sin monitoreo instrumental • Sin análisis estructural previo riguroso

Tabla 35

Factores que reducen la confianza

Factor Limitante	Reducción	Impacto en Evaluación
Sin inspección visual directa in situ del evaluador	-5%	Evaluación basada en documentación existente vs. inspección propia. Imposibilidad verificar estado actual directo.
Sin monitoreo instrumental post-2021-2022	-5%	Frecuencias (A) basadas en estadísticas regionales y criterio experto vs. datos instrumentales específicos del bien.

Accesibilidad restringida zonas altas	-3%	Evaluación zona alta cúpula, linterna, extradós basado en documentación vs. inspección directa. Posibles patologías ocultas no detectables.
Sin modelamiento estructural sistema completo	-4%	RE-2, RR-1 basados en análisis teórico/cualitativo vs. análisis numérico cuantitativo. Distribución tensiones estimada.
Sin estudios geotécnicos actualizados	-3%	Evaluación subsidencia, tipo suelo basada en contexto general vs. caracterización específica del sitio.
Sin estudios estructurales previos exhaustivos en fase de diseño del proyecto	-5%	Entrevista Mena confirma que estudios especializados y ensayos de caracterización "se omiten porque van a encarecer la obra". Sin matriz de evaluación de riesgos estructurales formalizada previo a intervención. Evaluación de efectividad de componentes de consolidación estructural (espina de pez, inyecciones) basada en criterio general arquitectónico vs. análisis técnico estructural previo riguroso. Efectividad estructural NO validada empíricamente (no ha pasado prueba sísmica significativa; Mena: "eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante"). Proyecto se enfocó en conservación preventiva arquitectónica pero implementó componentes estructurales sin análisis estructural exhaustivo documentado.
Sin perspectiva del ingeniero estructural responsable del diseño de componentes de consolidación	-5%	No se cuenta con entrevista, informes técnicos o documentación del ingeniero estructural responsable del diseño/supervisión de componentes de consolidación estructural (sistema "espina de pez", inyecciones mortero cal, consolidaciones) implementados dentro del proyecto de restauración arquitectónica. Imposibilidad de acceso directo a: (1) Criterios estructurales que fundamentaron decisiones, (2) Análisis técnicos realizados (si existieron), (3) Justificaciones de suficiencia del sistema ante cargas esperadas, (4) Protocolos de supervisión estructural aplicados. Información disponible limitada a memoria técnica arquitectónica (Arq. Lozano, enfoque conservación preventiva) y técnico de control patrimonial (Rest. Mena, enfoque conservación no estructural).

Nivel de confianza estimado: 100% - 30% = 70% → MEDIO

5.2. Limitaciones Documentadas del Estudio

Tabla 36
Resumen de Limitaciones Identificadas

Limitación	Descripción	Impacto Principal	Mitigación Recomendada
L1 - Accesibilidad restringida	Zonas altas cúpula (linterna, cupulín, extradós) requieren andamiaje especializado. Evaluador no realizó inspección in situ.	Evaluación interfaces refuerzo zona alta incompleta. Evaluación extradós basada en documentación INPC. Posibles patologías ocultas no detectadas.	• Inspección exhaustiva con andamiaje cada 5 años • Drones con fotografía alta resolución • Termografía infrarroja remota • Inspección directa del evaluador en próxima actualización
L2 - Ausencia estudios estructurales especializados	Sin modelamiento elementos finitos. Sin análisis dinámico sísmico. Sin caracterización geotécnica del sitio actualizada.	Evaluación concentración tensiones basada en teoría vs. análisis numérico. Imposible cuantificar distribución esfuerzos exacta. Subsidencia estimada sin datos geotécnicos.	• Contratar modelamiento (PRIORIDAD 3) • Análisis elementos finitos sistema mixto • Estudio geotécnico específico • Análisis modal dinámico
L3 - Falta información histórica consolidada	Sin documentación técnica detallada intervenciones anteriores a 1975. Trazabilidad parcial intervenciones s. XIX-XX.	Evaluación comportamiento histórico basada en inferencias. Imposible reconstruir criterios intervenciones históricas con certeza. Dificultad diferenciar original de añadido pre-2021.	• Investigación histórica exhaustiva • Búsqueda archivos eclesiásticos/municipales • Entrevistas testimoniales • Análisis estratigráfico materiales (si futura intervención)
L4 - Limitaciones tecnológicas diagnóstico	Sin escaneo 3D, termografía infrarroja, georradar, sensores permanentes. Evaluador no realizó inspección directa.	Evaluación basada en inspección visual histórica (INPC) vs. diagnóstico instrumental actual. Imposible detectar patologías ocultas (humedad interna, vacíos, desprendimientos internos).	• Escaneo 3D + ortofotogrametría • Termografía infrarroja • Instalación sensores (PRIORIDAD 2) • Georradar si sospechas severas • Inspección directa evaluador

L5 - Sin precedentes acero inoxidable-piedra pómez	Sistema refuerzo 2021-2022 sin experiencia documentada largo plazo en contexto andino similar.	Evaluación RE-1 basada en extrapolación comportamiento general acero inoxidable vs. evidencia empírica específica. Incertidumbre horizonte temporal corrosión.	• Monitoreo científico riguroso (PRIORIDAD 4) • Ensayos laboratorio compatibilidad • Publicación resultados para comunidad técnica • Intercambio experiencias casos similares
L6 - Sin monitoreo instrumental post-intervención	No se implementó sistema fisurómetros, inclinómetros, sensores humedad-temperatura tras intervención 2021-2022.	Imposibilidad establecer línea base comportamiento post-reforzamiento. Sin datos cuantitativos validación efectividad. Respuesta reactiva vs. preventiva.	• Implementación urgente (PRIORIDAD 2 - vinculado a RR-1) • Sistema monitoreo integral • Establecer línea base inmediata • Protocolos lectura e interpretación
L7 - Sin estudios estructurales previos exhaustivos en fase de diseño	Proyecto “Restauración Arquitectónica Parcial” 2021-2022 ejecutado con componentes de consolidación estructural (sistema “espina de pez”, inyecciones, consolidaciones) sin estudios estructurales previos rigurosos documentados, sin caracterización de materiales completa, sin matriz de evaluación de riesgos estructurales formalizada. Entrevista Mena confirma: estudios “se omiten porque van a encarecer la obra”. Proceso de diseño sin participación INPC. Enfoque del proyecto en conservación preventiva arquitectónica/impermeabilización.	Evaluación de efectividad de componentes de consolidación estructural basada en supuestos teóricos generales vs. análisis técnico riguroso específico del bien. Imposible validar técnicamente decisiones estructurales adoptadas (dimensionamiento sistema espina de pez, espaciamiento perforaciones, suficiencia ante cargas sísmicas Zona V PGA=0.40-0.45g). Incertidumbre sobre suficiencia del sistema implementado ante escenarios sísmicos esperados Zona IV. Posibles deficiencias de diseño no identificadas. Decisiones estructurales adoptadas dentro de proyecto arquitectónico sin análisis estructural exhaustivo.	• Análisis estructural retrospectivo URGENTE (PRIORIDAD 1-3, plazo 6-12 meses) • Modelamiento con elementos finitos para validación técnica del sistema implementado • Evaluación de suficiencia ante escenarios sísmicos Zona V • Identificación de posibles deficiencias de diseño • Recomendaciones fundamentadas (reforzamiento complementario si necesario)

L8 - Sin perspectiva del ingeniero estructural responsable de componentes de consolidación	No se cuenta con entrevista, informes técnicos detallados o documentación del ingeniero estructural responsable del diseño/supervisión de los componentes de consolidación estructural implementados dentro del proyecto “Restauración Arquitectónica Parcial” 2021-2022. Información disponible limitada a: (1) Perfil de Proyecto y memoria técnica arquitectónica (Arq. Víctor Lozano, GAD Municipal, enfoque conservación preventiva), (2) Entrevista con técnico de control patrimonial (Rest. Edison Mena, INPC, enfoque conservación no estructural).	Imposibilidad de acceso directo a: (1) Criterios estructurales específicos que fundamentaron decisiones de consolidación, (2) Análisis técnicos estructurales realizados durante diseño (si existieron), (3) Justificaciones de suficiencia del sistema espina de pez ante cargas sísmicas esperadas, (4) Protocolos de supervisión estructural aplicados durante ejecución, (5) Razonamiento técnico estructural que respaldó dimensionamiento e implementación del sistema. Evaluación basada en documentación secundaria arquitectónica y perspectiva de control patrimonial (no de diseño estructural). Incertidumbre sobre fundamentación técnica estructural del sistema implementado.	• Búsqueda de documentación técnica estructural del proyecto (informes, memorias cálculo, análisis) • Contacto con profesionales estructurales involucrados (si identificables) • Análisis estructural retrospectivo como alternativa para validación técnica independiente • Priorizar inclusión de entrevistas estructurales en futuras evaluaciones de riesgos en bienes patrimoniales con intervenciones estructurales
L9 - Metodología de intervención potencialmente agresiva sobre elementos constructivos originales	Uso documentado de “herramientas con acción muy abrasiva o acción muy fuerte” y sometimiento de estructura patrimonial a “vibraciones o golpes” durante trabajos de desmontaje de tejuelo y elementos constructivos (Mena, 2025), práctica contraria a principios fundamentales de conservación patrimonial. Mena advierte:	Evaluación de integridad estructural de mampostería histórica incierta. Posibles micro-fisuras internas latentes en piedra pómez generadas por vibraciones/percusión durante desmontaje, activables ante eventos sísmicos futuros. Debilitamiento potencial de interfaces elementos constructivos históricos (mortero-piedra). Imposibilidad de cuantificación de daños sin ensayos no destructivos	• Ensayos no destructivos especializados urgentes (ultrasonido, georradar, termografía) • Evaluación de integridad estructural post-intervención • Análisis de capacidad resistente actual vs. Esperada • Monitoreo instrumental para detectar comportamientos estructurales anómalos • Protocolo institucional metodologías no agresivas para futuras intervenciones (INPC)

	“nunca jamás a una estructura patrimonial se le debe someter a un tipo de vibración o golpes para retirar o desmontar algún elemento. Hay que buscar la metodología donde tengamos que causar el menor estrés a la fábrica, a la estructura original.” Posibles micro-daños en mampostería de piedra pómez (material poroso vulnerable a estrés mecánico) no detectables visualmente.	especializados (ultrasonido para fisuras internas, georradar para vacíos/desprendimientos, termografía para anomalías). Comportamiento estructural futuro potencialmente comprometido por daños acumulados durante intervención. Reducción no cuantificada de capacidad resistente de mampostería.	

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusión General

La Iglesia Catedral de Latacunga presenta un perfil de riesgo CONTROLADO con un único riesgo en magnitud MEDIA (RR-2: Infiltraciones residuales menores, MR=11.5) tras el proyecto "Restauración Arquitectónica Parcial de la Iglesia la Catedral de Latacunga" ejecutado en 2021-2022 (GAD Municipal, enfoque en conservación preventiva emergente y mantenimiento).

La entrevista con el Restaurador Edison Mena señala deficiencias metodológicas significativas en la fase de diseño y ejecución del proyecto que comprometen parcialmente la validez técnica de la evaluación y reducen el nivel de confianza a MEDIO (70%):

Deficiencias metodológicas identificadas:

1. Componentes de consolidación estructural implementados sin estudios estructurales previos exhaustivos ("se omiten porque van a encarecer la obra").

2. Sin matriz de evaluación de riesgos estructurales formalizada previo a intervención.

3. Sin caracterización de materiales completa en fase de diseño.

4. INPC no participó en fase de diseño, solo control técnico durante ejecución con "recomendaciones generales" (conocimiento "cuando se estaban realizando ya los trabajos").

5. Metodología de desmontaje potencialmente agresiva (uso de "herramientas con acción muy abrasiva", sometimiento a "vibraciones o golpes", contrario a principios conservación patrimonial)

6. Retiro de material histórico original sin demostración técnica exhaustiva de necesidad ("no tenemos la demostración de que esos materiales habían cumplido su vida útil")

7. Efectividad de componentes de consolidación estructural no validada empíricamente ("eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante" - sin sismos significativos ≥5.0-6.0 Mw post-2022)

8. Sin monitoreo instrumental post-intervención (confirmación explícita: "No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho")

9. Sin perspectiva del ingeniero estructural responsable de componentes de consolidación (información limitada a memoria arquitectónica y técnico de control)

A pesar de estas limitaciones metodológicas, la reducción de manifestaciones críticas históricas es evidente y positiva: cesación de manchas de humedad interior, control de proliferación biológica activa, y el sistema de impermeabilización renovado cumple su función aparente sin filtraciones reportadas hasta la fecha.

El valor patrimonial excepcional (VP=4) del sistema de cúpula octogonal y bóvedas por ser: centro histórico de evangelización agustina, testimonio de resiliencia comunitaria (terremotos 1768, 1797), elemento arquitectónico único inspirado en San Pedro de Roma, y hito urbano de primer orden (50/50 puntos INPC); justifica implementar urgentemente un programa integral que incluya:

a) **Análisis Estructural Retrospectivo (6-12 meses, PRIORIDAD 1-3):** Modelamiento con elementos finitos del sistema mixto mampostería histórica-refuerzo metálico para validar técnicamente los componentes de consolidación estructural implementados sin estudios previos rigurosos, evaluar suficiencia del sistema ante escenarios sísmicos esperados para Zona V (PGA=0.40-0.45g), analizar distribución de tensiones en interfaces, e identificar posibles deficiencias de diseño no consideradas. Este análisis es crítico dado que la efectividad estructural del sistema implementado no ha sido validada ni mediante estudios previos ni mediante eventos sísmicos posteriores.

b) **Programa de Monitoreo Instrumental (6-12 meses, PRIORIDAD 2):** Sistema integral de fisurómetros, inclinómetros y sensores de humedad-temperatura para: (1) Establecer línea base de comportamiento estructural real post-consolidación, (2) Validar efectividad del sistema “espina de pez” e inyecciones ante eventos sísmicos futuros, (3) Detectar tempranamente evolución de patologías o reactivación de fisuras, (4) Identificar comportamientos anómalos que puedan indicar micro-daños no visibles derivados de metodología de intervención. Este monitoreo es especialmente crítico dado que Mena confirma explícitamente su ausencia actual.

c) **Programa de Gestión Preventiva a Mediano-Largo Plazo (1-5 años):** Mantenimiento programado quinquenal del sistema de impermeabilización (vida útil 10-15 años), programa de monitoreo de corrosión de elementos metálicos (técnicas electroquímicas), control de recolonización biológica (reaplicación biocidas cada 3-5 años), y documentación técnica exhaustiva para transferencia de conocimiento especializado al personal institucional.

d) **Ensayos No Destructivos Post-Intervención (6-12 meses, PRIORIDAD 8):** Ultrasonido, georradar y termografía para detectar posibles micro-daños ocultos en mampostería de piedra pómez derivados de metodología de desmontaje potencialmente agresiva, evaluando integridad estructural actual y capacidad resistente.

La zona sísmica V con historial destructivo documentado (1768, 1797) y la implementación de componentes de consolidación estructural sin estudios estructurales previos rigurosos ni

validación empírica posterior conforman un escenario de mayor incertidumbre técnica que requiere atención prioritaria mediante análisis estructural retrospectivo, instrumentación y monitoreo científico a mediano plazo (5-15 años).

Síntesis de Hallazgos Principales

Tabla 38
Hallazgos Principales

Hallazgo	Evidencia	Implicación
1 Intervenciones 2021-2022 altamente efectivas	• Solo 1 riesgo MR ≥10 (de 9 evaluados) • Reducción 60-85% riesgos históricos • Cesó manchas humedad interior • Detuvo proliferación biológica • Sistema "espina de pez" técnicamente sólido	No se requieren intervenciones correctivas urgentes. Planificación mediano-largo plazo (6 meses a 5 años) viable. Énfasis en gestión preventiva.
2 Valor patrimonial excepcional eleva prioridad	• VP=4 en 50% de riesgos (4 de 8) • Centro evangelización agustina regional • Testimonio resiliencia (1768, 1797) • Cúpula única inspirada San Pedro Roma • 50/50 puntos INPC • Hito urbano primer orden	Incluso riesgos MR bajo-medio requieren atención. Gestión preventiva exhaustiva justificada. Irreemplazabilidad demanda protección proactiva.
3 Un único riesgo magnitud MEDIA requiere de pronta atención	• RR-2 (MR=11.5): único riesgo MEDIO • Resto de riesgos MR<10 (magnitud BAJA) • Sistema de impermeabilización con vida útil limitada (10-15 años) • Zona sísmica V justifica vigilancia especial de RR-1 (MR=7.7) • Exposición sísmica constante muy alta (PGA=0.40-0.45g)	Prioridad MEDIA largo plazo (1-3 años): Programa mantenimiento preventivo quinquenal para RR-2. Monitoreo instrumental para RR-1 por exposición sísmica muy alta y validación de efectividad del reforzamiento.
4 Riesgos emergentes requieren atención proactiva	• RE-1 (MR=4.3): corrosión acero-piedra • RE-2 (MR=2.9): tensiones interfaces • Sistema mixto sin precedentes contexto • Horizonte 10-20 años permite prevención	Monitoreo científico especializado esencial. Investigación preventiva necesaria. Sin precedentes comparativos disponibles.
5 Factor amplificador crítico transversal	• RE-4 (MR=6.0): ausencia monitoreo • Afecta gestión TODOS los riesgos • Imposibilidad detección temprana • Respuesta reactiva actual	Implementación urgente monitoreo instrumental (PRIORIDAD 2). Inversión estratégica beneficio múltiple. Acción habilitadora gestión preventiva efectiva.

6 Gestión preventiva vs. correctiva	• Ningún MR ≥60 (crítico) • Ningún MR ≥30 (alto) • Solo 1 MR entre 10-30 (medio): RR-2 (11.5) • 8 MR <10 (bajo) • Perfil controlado general	Recursos destinarse prioritariamente a: 1. Monitoreo instrumental 2. Modelamiento estructural 3. Programas mantenimiento preventivo 4. Documentación y transferencia conocimiento

Recomendaciones

Se recomienda que la próxima actualización de la evaluación estructural se realice en un plazo aproximado de cinco años (estimado al año 2030), o de manera inmediata en caso de presentarse un evento sísmico de magnitud igual o superior a 5.5 Mw con epicentro a menos de 50 km de Latacunga.

Este plazo deberá adelantarse si se registran condiciones que puedan comprometer el comportamiento estructural de la cúpula, tales como:

- Ocurrencia de un sismo de magnitud ≥ 5.5 Mw con epicentro < 50 km de Latacunga
- Aparición de nuevas fisuras con aberturas superiores a 3 mm detectadas visualmente
- Aumento en tendencia de lecturas de fisurómetros > 0.5 mm por trimestre (una vez sistema implementado)
- Detección de corrosión avanzada en elementos metálicos de refuerzo (manchas de oxidación, desprendimientos, micro-fisuras radiales)
- Reaparición de manchas de humedad interior persistentes o goteras activas
- Recolonización biológica extensa (> 30% superficie) a pesar de tratamientos
- Planificación de una nueva intervención estructural que modifique condiciones actuales del bien patrimonial

Dada la ausencia de estudios estructurales previos exhaustivos documentada (Mena, 2025: “se omiten porque van a encarecer la obra”) y la falta de validación empírica de la efectividad de los componentes de consolidación estructural implementados en el proyecto “Restauración Arquitectónica Parcial” 2021-2022 (Mena: “eso solamente lo dirá el momento en que ocurra un evento de 5 o 6 en adelante, tendremos la respuesta”), sumado a la ausencia de monitoreo instrumental post-intervención confirmada explícitamente (Mena: “No hay monitoreo por parte del Instituto, no se ha hecho”), se recomienda implementar URGENTEMENTE (plazo 6-12 meses) las acciones prioritarias detalladas en la Sección 4.3.2 (Tablas 25-26) del presente análisis:

1. **Análisis Estructural Retrospectivo** (PRIORIDAD 1): Modelamiento con elementos finitos del sistema mixto mampostería-refuerzo metálico para validar técnicamente el sistema "espina de pez" e inyecciones implementadas sin estudios previos rigurosos, evaluar suficiencia ante escenarios sísmicos Zona V (PGA=0.40-0.45g), e identificar posibles deficiencias de diseño.

2. **Sistema de Monitoreo Instrumental Integral** (PRIORIDAD 2): Fisurómetros, inclinómetros y sensores de humedad-temperatura para establecer línea base de comportamiento estructural real post-intervención, validar efectividad del reforzamiento ante eventos sísmicos futuros, y detectar tempranamente evolución de patologías.

Estas acciones son críticas para reducir la incertidumbre técnica actual sobre el comportamiento estructural del sistema de consolidación implementado (efectividad NO validada empíricamente) y transformar la gestión del bien de reactiva a preventiva mediante datos cuantitativos fundamentados. Los planes de acción detallados, cronogramas, responsables y productos entregables se encuentran desarrollados extensamente en las tablas referenciadas.

Adicionalmente, derivado de las deficiencias metodológicas identificadas en este caso de estudio, se recomienda al INPC desarrollar e implementar protocolos institucionales obligatorios que incluyan: (1) Participación del ente rector desde fase de diseño de proyectos patrimoniales, (2) Estudios estructurales previos obligatorios para componentes de consolidación (análisis patológico riguroso, caracterización de materiales, matriz de evaluación de riesgos, modelamiento estructural), (3) Protocolo de evaluación de vida útil de materiales históricos antes de autorizar retiro (con demostración técnica documentada, evaluación de alternativas de conservación, documentación exhaustiva pre-retiro), (4) Protocolo de metodologías no agresivas para desmontaje de elementos patrimoniales, (5) Monitoreo instrumental post-intervención obligatorio para validar efectividad de sistemas estructurales implementados. Estos protocolos permitirán elevar estándares técnicos de intervenciones futuras y evitar repetición de deficiencias metodológicas en el patrimonio cultural edificado del país.

Bibliografía

Mena, E. (2025). Entrevista personal. Restaurador, técnico de control INPC en intervención de la Iglesia Catedral de Latacunga 2021-2022. Ecuador.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Latacunga (2021). *Perfil del Proyecto "Restauración Arquitectónica Parcial de la Iglesia la Catedral de Latacunga".* Dirección de Planificación del Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Unidad de Patrimonio, Latacunga, Ecuador

Anexo Fotográfico

Foto 1: Vista frontal de la cúpula principal y linterna de la Catedral de Latacunga



Nota. Vista general de la cúpula principal de la Catedral de Latacunga, revestida con mosaico cerámico policromado y coronada por linterna octogonal con vanos arqueados. Se observa la balaustrada perimetral y elementos decorativos de remate, evidenciando la configuración volumétrica y el sistema estructural de cubierta. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Foto 2: Detalle superior de la cúpula con revestimiento cerámico



Nota. Acercamiento al revestimiento de la cúpula principal, compuesto por piezas cerámicas vidriadas en disposición modular. Se aprecia la continuidad del patrón, las juntas de unión y la integración con la linterna superior, destacando el acabado superficial y su comportamiento frente a la exposición ambiental. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Foto 3: Vista lateral de la cúpula y entorno urbano inmediato



Nota. Perspectiva lateral de la cúpula principal y cubiertas secundarias, donde se aprecia la articulación volumétrica del conjunto arquitectónico. Se observa la relación del edificio con el entorno urbano y la plaza adyacente, evidenciando la implantación del monumento dentro del tejido histórico de la ciudad. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Anexo 12. Análisis de Riesgos en Cúpulas Patrimoniales – Iglesia Basílica de Riobamba

FASE 1: Establecimiento del Contexto

1.1. Bien Analizado

Cúpula central elíptica octogonal de la Basílica del Sagrado Corazón de Jesús, ubicada en el centro histórico de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador.

Características técnicas distintivas:

- **Técnica constructiva pionera**: Piedra pómez tejida con pedazos de alambre en forma de grapas para alivianamiento estructural - una innovación sin precedentes en la región andina
- **Configuración**: Cúpula elíptica octogonal de base con linterna de 6 m de altura rematada con cruz de 4 m
- **Dimensiones**: Diámetro de 16 m, altura desde el piso hasta la base del cimborrio de 19 m, hasta la base de la linterna 30 m, altura total de 36 m
- **Sistema de nervios convergentes**: Nervios de hormigón a base de cal de 80 cm de ancho que convergen al óculo central donde se unen con un pequeño anillo que cierra la estructura
- **Anillo perimetral estructural**: Banda de hormigón simple de 20 cm al tercio de la altura que arriosta y mejora el confinamiento de los nervios existentes
- **Tambor luminoso**: Con ocho grandes ventanas para iluminación natural
- **Sistema de soporte**: Ocho pilastras principales de 2m x 2m con mampostería portante de ladrillo (espesor 1.00-1.20m) que soportan los arcos torales

1.2. Horizonte Temporal

25 años (2026-2051): Período que abarca el ciclo de vida esperado de las intervenciones de reforzamiento implementadas históricamente (1950, 1998-2004, 2014-2015, 2019).

Este horizonte permite:

- Evaluación del comportamiento del sistema mixto histórico-contemporáneo a mediano-largo plazo
- Detección temprana de riesgos emergentes relacionados con infiltraciones recientes observadas en inspección de inicios de 2026
- Planificación de mantenimiento preventivo programado considerando múltiples generaciones de intervenciones

- Análisis de efectividad de intervenciones ante eventos sísmicos recurrentes en Zona V (PGA=0.40g)

1.3. Contexto Patrimonial

Valor patrimonial excepcional = 4

Características patrimoniales únicas:

- **Técnica constructiva singular**: Única cúpula circular en Ecuador (De la Guardia, 2025) con técnica de alivianamiento pionera mediante piedra pómez tejida con alambre

- **Hito histórico-nacional**: Conexión directa con la Consagración de la República al Sagrado Corazón de Jesús (1874), convirtiéndose en símbolo tangible de la fe católica que definió la nación ecuatoriana

- **Irreemplazabilidad**: La pérdida implicaría desaparición de una técnica constructiva innovadora sin precedentes en la región

- **Referente arquitectónico**: Inspirada en la Basílica de San Ignacio de Loyola en Azpeitia, España, adaptada al contexto ecuatoriano por el hermano jesuita Ramón Lecanda

- **Construcción prolongada**: 32 años (1883-1915) con participación de artesanos indígenas especializados en carpintería, albañilería y tallado de piedra

- **Símbolo de identidad regional**: Alberga la estatua de Cristo Rey con inscripciones de la Primera Carta Fundamental del Estado, reafirmando su papel como memoria histórica ecuatoriana

Uso actual: Culto religioso (uso original conservado). La Basílica de Riobamba funciona como templo católico, sede de la devoción al Sagrado Corazón de Jesús, con celebraciones regulares y eventos especiales de gran concurrencia.

Entorno: Urbano consolidado de primer orden, ubicada en el Centro Histórico de Riobamba frente al Parque La Libertad. Forma parte integral del complejo cultural junto al Colegio San Felipe Neri, siendo un referente de identidad urbana visible desde diversos puntos de la ciudad.

1.4. Capacidades Locales

1.4.1. Capacidades Técnicas

Fortalezas:

- **Experiencia local documentada:** Cuatro generaciones de intervenciones especializadas (1950, 1998-2004, 2014-2015, 2019) con participación de profesionales del INPC y consultores especializados
- **Conocimiento técnico avanzado del sistema estructural:** Diagnósticos estructurales previos que identificaron el comportamiento de la cúpula y sus reforzamientos históricos
- **Técnicas especializadas aplicadas:** Inyecciones de lechada de cal, consolidación de argamasas, tratamiento de fisuras
- Historial de intervenciones bien documentado permitiendo trazabilidad de decisiones técnicas

Limitaciones:

- Sin monitoreo instrumental continuo post-intervención 2019
- Sin modelamiento estructural integral del sistema mixto (mampostería original + hormigón 1950 + refuerzos contemporáneos)
- Acceso limitado a tecnologías de diagnóstico avanzadas (escáner 3D, termografía infrarroja, georradar)
- Aparición de nuevas manifestaciones de humedad en 2026 a pesar de intervenciones recientes, sugiriendo necesidad de mayor profundidad en diagnóstico de patologías

1.4.2. Capacidades Económicas

Fortalezas:

- Historial de financiamiento: Múltiples intervenciones ejecutadas exitosamente con recursos públicos, eclesiásticos y cooperación internacional
- Presupuesto institucional disponible para mantenimiento básico regular
- Reconocimiento patrimonial que facilita acceso a fondos especializados (INPC, cooperación internacional)

Limitaciones:

- Dependencia de presupuestos públicos con ciclos anuales que dificultan planificación de largo plazo
- Costos elevados para mantenimiento especializado en contexto local
- Sin fondo de emergencia específico para eventos imprevistos o intervenciones urgentes
- Necesidad de priorización entre múltiples bienes patrimoniales de la jurisdicción

1.4.3. Capacidades Institucionales

Fortalezas:

- Marco normativo patrimonial vigente: INPC con competencias claras sobre bienes inmuebles
- Coordinación interinstitucional: INPC + administración eclesiástica + gobierno municipal de Riobamba
- Registro patrimonial actualizado con valoración excepcional
- Capacidad comprobada de gestión de proyectos complejos de restauración

Limitaciones:

- Protocolos de monitoreo preventivo no formalizados ni implementados de manera sistemática
- Sin programa de mantenimiento preventivo quinquenal institucionalizado
- Coordinación interinstitucional predominantemente reactiva ante problemas, más que proactiva
- Falta de protocolos específicos estandarizados para cúpulas patrimoniales

FASE 2: Identificación de Riesgos (ABC + GRD)

2.1. Revisión Documental

2.1.1. Informes de Intervención Disponibles

Tabla 1
Historial de Intervenciones Documentadas

Período	Intervención	Documentación disponible
1950	Restauración integral dirigida por Eric F. Schwarz: Sustitución globo superior (>1m diámetro) + remodelación cupulín de remate + recubrimiento con baldosa de cemento	Documentación básica disponible: • Justificación: Deterioro cubierta superior • Consecuencia no prevista: Baldosa cemento posteriormente se desprendió por incompatibilidad con base flexible
1979-1982	Restauración integral: Fase exterior (impermeabilizaciones + recubrimiento conservando colores originales) + Fase interior (restauración cúpulas laterales, altar mayor, decoración, reinstalación sistema eléctrico)	Documentación básica: • Conservación apariencia histórica • Modernización sistemas
1998-2004	Consolidación estructural: Inyección lechada cal en fisuras + consolidación argamasas deterioradas	Documentación media: • Identificación fisuras en nervios y tambor • Tratamiento zonas críticas • Técnicas tradicionales compatibles
2014-2015	Reforzamiento puntual: Tratamiento fisuras activas + consolidación elementos sueltos en zonas críticas	Documentación básica: • Intervención focalizada • Áreas específicas tratadas
2016-2019	Intervención integral mayor (Estudios 2016, Ejecución 2019): Sistema reforzamiento con fibras carbono CARBOWRAP 600 CFRP + fibras vidrio EPOWRAP 200 B-D + inyecciones estructurales (lechada cal para fisuras 1-5mm, mortero hidráulico cal para fisuras 5-10mm) + junta dilatación edificación adyacente + impermeabilización Epobild nivelador	Documentación exhaustiva: • Estudio integral Ing. Nora Manosalvas • Análisis estructural Ing. Washington Lincango (2016) • Estudios de suelos, núcleos muros, caracterización de materiales. • Fiscalización técnica INPC • Entrevistas detalladas profesionales intervinientes
2026 (Inspección actual)	Observación diagnóstica: Detección nuevos rastros de humedad en intradós cúpula	Observación directa: • A pesar de intervención 2019, reaparecen manifestaciones de humedad incipiente

	• Testimonio custodio: “existe todavía quizás una pequeña filtración del agua” • Indica efectividad parcial o fallas puntuales en impermeabilización

2.1.2. Fichas de Inventario INPC

Valoración patrimonial basada en el Baremo del Instructivo para fichas de inventario (INPC, 2024), alcanzando valoración excepcional por características únicas.

Tabla 2
Valoración Patrimonial por Componentes

Componente	Puntuación	Detalle
Antigüedad	12/15	Republicana 1 - Siglo XIX (1883-1915) - RP1
Entorno Urbano Natural	10/10	Integrada al tramo homogéneo con valor - ITHOV
Histórico-Testimonial-Simbólico	10/10	Valor simbólico socio cultural (identidad) - VHSC
Tipológico Funcional	5/5	Conserva identificación tipológica + conserva uso original - CIT+CUO
Estético Formal	5/5	Identificación estilística + composición formal - IE+CF
Técnico Constructivo	5/5	Tecnología y materiales tradicionales - TMT
TOTAL	**47/50**	**Valoración Excepcional**

2.1.3. Registros Históricos de Eventos

Tabla 3
Registros Históricos de Eventos

Eventos Históricos	Detalle
Eventos sísmicos documentados	• 1797: Terremoto destructivo que devastó la antigua Riobamba (antecedente pre-construcción) • 1949: Sismo de Pelileo con grandes grietas observadas en cúpula (testimonio custodio) • 2016: Terremoto de Pedernales contribuyó a agrandamiento de grietas existentes (testimonio custodio) • Eventos sísmicos moderados recurrentes siglo XX con efectos acumulativos en estructura
Contexto sísmico actual	• Zona sísmica V según NEC-SE-DS • PGA = 0.40g (aceleración máxima del suelo) • Región andina central con actividad sísmica moderada-alta (IGEPN)

	• Tipo de suelo aluvial con potencial amplificación
Eventos hidrometeorológicos	• Régimen pluvial: 800-1,200 mm anuales concentrados oct-may (INAMHI) • Dos períodos lluviosos anuales • Eventos de precipitación intensa ocasionales superan capacidad sistemas históricos • Variabilidad interanual asociada a fenómenos ENSO
Eventos antrópicos	• Tráfico vehicular intenso centro histórico (vibraciones) • Contaminación atmosférica urbana • Afluencia turística y religiosa significativa en eventos especiales (40-400 personas por evento) • Temporadas alta afluencia: diciembre (Navidad), febrero-abril (Cuaresma-Semana Santa), mayo (festividades marianas)
Eventos volcánicos	• Proximidad al Volcán Tungurahua (≈30–35 km), con vientos predominantes en la región andina ecuatoriana que transportan las cenizas hacia el occidente del volcán, lo que implica una probabilidad moderada a alta de afectación por caída de ceniza (Instituto Geofísico - EPN, 2023). • Periodo eruptivo del volcán Tungurahua entre 1999-2016, durante el cual se registraron emisiones de ceniza (Instituto Geofísico - EPN, 2017a). • Amenaza secundaria ante posible dispersión de ceniza proveniente del Volcán Cotopaxi durante episodios eruptivos como el ocurrido en 2015 (Troncoso et al., 2017).

2.2. Aplicación de Lista de Verificación ABC-GRD

Se presentan los resultados de la aplicación de la Lista de Verificación para el Análisis de Riesgos en Cúpulas de Iglesias Patrimoniales. La metodología integra el análisis de tres dimensiones:

- **Sección A** (Agentes de deterioro - Método ABC): Manifestaciones físicas observables del daño
- **Sección B** (Amenazas - GRD): Eventos o fuerzas externas que pueden desencadenar daño
- **Sección C** (Vulnerabilidades específicas): Condiciones intrínsecas de la cúpula que amplifican el impacto de las amenazas

Los resultados se organizan en tablas que documentan solo los ítems identificados como presentes o aplicables al caso de estudio, siguiendo el principio de correspondencia entre amenazas (B), vulnerabilidades (C) y manifestaciones observables (A).

Tabla 4
Sección A - Agentes de Deterioro Identificados (Método ABC)

Categoría	Código	Manifestación Observable	Observaciones Detalladas
A1 - Fuerzas Físicas Directas	A1-1	Fisuras en estructura de la cúpula	HISTÓRICO (previo intervenciones): Fisuras documentadas en nervios convergentes de hormigón a base de cal (80cm ancho). Concentración en zonas de convergencia al óculo central. MITIGACIÓN (1998-2004, 2014-2015): Inyecciones lechada de cal + consolidación. Fisuras estabilizadas, pero requieren monitoreo continuo.
	A1-2	Grietas en tambor y pechinas	HISTÓRICO (previo intervenciones): Fisuras menores en tambor octogonal de mampostería portante de ladrillo (espesor 1.00-1.20m). NOTA TÉCNICA: La Basílica no tiene pechinas tradicionales; el sistema octogonal conecta directamente con pilastras principales. MITIGACIÓN: Tratadas en intervenciones 1998-2004, estabilizadas pero sensibles a nuevos eventos sísmicos.
	A1-8	Asentamientos diferenciales en la base	HISTÓRICO: Indicios menores de asentamientos diferenciales en pilastras principales (8 pilastras de 2m x 2m). ESTADO ACTUAL: Controlados, sin evidencia progresión activa documentada. Requiere verificación geotécnica específica.
A4 - Agua	A4-1	Filtraciones por cubiertas	HISTÓRICO (previo 2017): Filtraciones documentadas en múltiples puntos de la cubierta cupular. MITIGACIÓN (2017): Impermeabilización + reparación puntos infiltración. CRÍTICO (2026): Reaparición rastros de humedad en intradós cúpula a pesar de intervención 2017. Indica fallas puntuales o efectividad parcial del tratamiento.
	A4-6	Manchas de humedad en paramentos	ACTUAL (2026): Manchas incipientes detectadas en inspección. Ubicación: paramentos interiores bajo zonas de cubierta cupular. ASOCIACIÓN: Vinculadas con filtraciones A4-1. Indican persistencia problema infiltraciones.
	A4-7	Eflorescencias salinas	HISTÓRICO: Presencia documentada en intervenciones previas 1998-2004. ACTUAL: Eflorescencias leves persistentes en zonas con humedad recurrente. Asociadas a ciclos de humectación-secado por infiltraciones.

A6 – Contaminantes	A6-1	Depósitos superficiales de hollín/polvo industrial	ACTUAL: Acumulación moderada en superficies externas expuestas. Depósitos de contaminación urbana del centro histórico. Tráfico vehicular como fuente principal.
	A6-4	Costras negras en piedra	ACTUAL: Formación incipiente en elementos pétreos externos. Causada por acumulación de contaminantes atmosféricos sulfurosos (SO_2) del tráfico urbano. Proceso lento pero progresivo.
	A6-6	Formación de depósitos particulados	ACTUAL: La altura prominente (36.65m) y la configuración geométrica compleja de la cúpula, así como su proximidad a volcanes activos (Cotopaxi y Tungurahua), favorecen la acumulación de ceniza. Esto puede generar acumulación de carga, abrasión de recubrimientos y retención de humedad en los materiales históricos.
A8 – Variaciones de Temperatura	A8-1	Agrietamiento por dilatación/contracción térmica	ACTUAL: Microfisuras térmicas menores en interfaces entre materiales heterogéneos (mampostería original - hormigón 1950 - refuerzos contemporáneos). CAUSA: Ciclos térmicos diarios amplios en zona andina (radiación intensa + noches frías) generan dilataciones diferenciales.
A9 - Humedad Relativa Incorrecta	A9-2	Condensación en superficies frías	ACTUAL: Condensación ocasional en intradós de cúpula durante épocas frías. Diferencias térmicas significativas interior-exterior (gradiente altura-base). ESTACIONAL: Más pronunciada en meses junio-agosto.
	A9-7	Activación de sales solubles (eflorescencias, disgregación)	ACTUAL: Eflorescencias salinas activadas por fluctuaciones de humedad relativa. Vinculado con infiltraciones (A4-1) que aportan humedad. Ciclos de cristalización-disolución sales causan disgregación superficial leve.
A10 - Disociación	A10-2	Evidencia material de intervenciones inadecuadas previas	IRREVERSIBLE (1950): Aplicación baldosa de cemento sobre cubierta cupular generó incompatibilidad. Material posteriormente se desprendió. CONSECUENCIA: Generó fisuras en interfaces por rigidez excesiva del cemento sobre mampostería flexible. Lección histórica para futuras intervenciones.
	A10-4	Fisuras, eflorescencias o desprendimientos asociados a	ACTUAL: Fisuras visibles en interfaces entre: • Mampostería original (piedra pómez + cal) • Anillo hormigón simple 1950 (20cm) • Nervios hormigón a base de cal

	incompatibilidad de materiales	CAUSA: Comportamientos mecánicos diversos (módulos elasticidad diferentes) generan concentración tensiones bajo cargas dinámicas (sismos).

Nivel de Confianza - Sección A:
MEDIO-ALTO (80-89%)

Fundamento:

- Información histórica disponible de cuatro generaciones de intervenciones
- Inspección visual documentada 2026 (observación directa humedad)
- Reportes de intervenciones previas (1998-2004, 2014-2015, 2017)
- Entrevistas con técnicos restauradores

Limitaciones:

- Accesibilidad restringida a zonas altas de linterna (6m) sin andamiaje especializado
- Falta de estudios especializados recientes (termografía infrarroja, medición humedad relativa continua, georradar)
- Información histórica fragmentaria de intervención 1950 (documentación básica)
- Sin monitoreo instrumental continuo que permita cuantificar evolución patologías

Tabla 5

Sección B - Amenazas GRD Identificadas

Categoría	Código	Amenaza	Observaciones Detalladas
B1 - Amenazas Sísmicas	B1-1	Zona de alta sismicidad según mapa de amenaza	FUENTES OFICIALES: • Zona sísmica V según NEC-SE-DS (MIDUVI) • PGA = 0.40g (aceleración máxima del suelo) • Región andina central con actividad sísmica moderada-alta (IGEPN) HISTÓRICO: Terremoto 1797 destruyó antigua Riobamba. Eventos siglo XX con efectos acumulativos documentados en fisuras.
	B1-3	Tipo de suelo (amplificación sísmica)	Suelos aluviales característicos de la zona con potencial de amplificación sísmica. LIMITACIÓN: Requiere estudio geotécnico específico del sitio para caracterización precisa de amplificación.

B1 (FA) - Factores de Amplificación de Amenaza Sísmica	B1-4	Deterioro de la estructura portante	HISTÓRICO (previo intervenciones): Fisuramientos documentados en nervios convergentes y tambor. Deterioro de argamasas originales. ACTUAL: Mitigado significativamente por intervenciones 1998-2004, 2014-2015. Sin embargo, persistencia de fisuras estabilizadas que podrían reactivarse.
	B1-5	Conexiones estructurales inadecuadas	CARACTERÍSTICA INTRÍNSECA: Sistema de ocho pilastras (2m x 2m) concentran cargas de cúpula elíptica de 16m diámetro. Conexiones cúpula-tambor son puntos críticos. SISTEMA MIXTO: Mampostería original + anillo hormigón 1950 + refuerzos contemporáneos introducen interfaces con comportamiento diferencial.
	B1-6	Rigidez diferencial entre elementos	SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO post-intervenciones: • Mampostería histórica piedra pómez con mortero cal (flexible) • Anillo perimetral hormigón simple 1950 (rígido) • Nervios hormigón a base de cal (rigidez intermedia) Diferencias significativas en módulos de elasticidad generan concentraciones de tensión en interfaces durante eventos sísmicos.
B2 - Amenazas Hidrometeorológicas	B2-1	Precipitaciones intensas frecuentes	FUENTES OFICIALES: • Régimen pluvial Chimborazo: 800-1,200 mm anuales (INAMHI) • Precipitaciones concentradas en dos períodos: octubre-mayo • Eventos de precipitación intensa (>60mm/24h) superan ocasionalmente capacidad de sistemas históricos de drenaje • Variabilidad interanual asociada a ENSO
	B2-5	Rayos y descargas eléctricas	Altura prominente de la cúpula (36m total) con cruz metálica de 4m en cúspide aumenta susceptibilidad a descargas eléctricas. ACCIÓN REQUERIDA: Verificación de existencia y funcionalidad de sistema de pararrayos.
	B2-8	Cambio climático (eventos extremos)	Tendencias climáticas regionales indican: • Incremento en intensidad de precipitaciones extremas

			• Mayor frecuencia de eventos >70mm/24h documentados últimas dos décadas • Sistemas históricos diseñados para régimen pluvial anterior pueden ser insuficientes
B3 - Amenazas Geológicas	B3-3	Erosión del suelo de fundación	Potencial erosión diferencial en fundaciones de pilastras principales. LIMITACIÓN: Requiere verificación geotécnica específica. Sin evidencia directa actual, pero posible por características suelo aluvial + edad estructura (140+ años).
	B3-6	Actividad volcánica (cenizas, gases)	CONTEXTO: • Proximidad al volcán Tungurahua, con moderada-alta probabilidad de afectación por ceniza (IGEPN) • Último evento eruptivo significativo en 2016 • Caída de ceniza documentada en la región (Instituto Geofísico - EPN, 2017a)
B5 - Amenazas Sociales	B5-5	Turismo masivo descontrolado	Afluencia significativa en eventos religiosos especiales. Concentraciones importantes de personas generan: • Vibraciones por movimiento masivo • Sobrecarga puntual en áreas específicas • Desgaste acelerado de elementos
	B5-7	Actividades incompatibles cercanas	TRÁFICO VEHICULAR: Intenso en centro histórico genera: • Vibraciones continuas por tráfico pesado • Emisiones contaminantes (SO_2, NO_x, partículas) • Desgaste acumulativo por fatiga de materiales
	B5-8	Falta de gobernanza patrimonial	DEBILIDADES INSTITUCIONALES IDENTIFICADAS: • Protocolos de monitoreo preventivo no formalizados • Programa de mantenimiento preventivo no institucionalizado • Coordinación interinstitucional predominantemente reactiva • Gestión ante eventos (sismos, lluvias extremas) no protocolizada

Nivel de Confianza - Sección B: ALTO (85-90%)	***Fundamento:*** • Datos oficiales: IGEPN • Mapas oficiales de amenaza sísmica (NEC-SE-DS, IGEPN) • Datos meteorológicos INAMHI últimos 30 años • Registros históricos de eventos sísmicos documentados • Observación directa del contexto urbano • Entrevistas con técnicos especializados y administradores del bien	***Limitaciones:*** • Sin estudios de microzonificación sísmica específicos para el inmueble • Datos climáticos generales de estación meteorológica, no microclimáticos del sitio específico • Información histórica de eventos sísmicos del siglo XX fragmentaria • Sin caracterización geotécnica específica del suelo de fundación

Tabla 6

Sección C - Vulnerabilidades Específicas y Condiciones de Exposición en Cúpulas

Categoría	Código	Vulnerabilidad Específica	Observaciones Detalladas
C1 - Estructurales Específicos	C1-1	Concentración de cargas en puntos específicos (pechinas, tambor)	CARACTERÍSTICA ÚNICA DOCUMENTADA: Sistema octogonal concentra esfuerzos de cúpula elíptica (16m diámetro, 36m altura total) en ocho pilastras principales de 2m x 2m. IMPORTANCIA: Puntos críticos altamente vulnerables a asentamientos diferenciales y concentraciones de tensión durante eventos sísmicos. NOTA: Aunque no hay pechinas tradicionales, el tambor octogonal cumple función de transición de cargas.
	C1-2	Empujes horizontales no controlados hacia muros perimetrales	Cúpula elíptica genera empujes horizontales significativos hacia tambor octogonal y pilastras. MITIGACIÓN PARCIAL: Anillo perimetral de hormigón simple (20cm, al tercio de altura) arriosta y mejora confinamiento, pero no elimina completamente empujes. RIESGO: Muros portantes mixtos (piedra + ladrillo) actúan como contrafuertes, pero edad (140+ años) y deterioro acumulado reducen capacidad.

	C1-4	Fatiga en elementos estructurales por cargas cíclicas	Nervios de hormigón a base de cal (80cm ancho) sometidos a cargas sísmicas recurrentes (Zona V, PGA=0.40g). EFECTO ACUMULATIVO: Eventos sísmicos cada 10-15 años generan microfisuras acumulativas en nervios e interfaces. EVIDENCIA: Fisuras documentadas en intervenciones 1998-2004 atribuibles a fatiga.
	C1-8	Redistribución de cargas por daños localizados	CONSECUENCIA DE INTERVENCIONES: Fisuras históricas tratadas con inyecciones modifican caminos de carga originales. SISTEMA MIXTO: Anillo hormigón 1950 + refuerzos contemporáneos alteran distribución de rigideces respecto al diseño original 1883. INCERTIDUMBRE: Sin modelamiento estructural que cuantifique redistribución actual de cargas.
C2 - Interfaz y Conexiones	C2-1	Conexión cúpula-tambor deficiente	Interfaz crítica entre: • Tambor de mampostería portante de ladrillo (1.00-1.20m espesor) • Nervios de hormigón a base de cal convergentes • Anillo perimetral de hormigón simple VULNERABILIDAD: Punto vulnerable a movimientos diferenciales durante eventos sísmicos. Diferentes materiales, diferentes respuestas dinámicas.
	C2-2	Incompatibilidad de materiales en juntas	SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO documentado: 1. Piedra pómez tejida con alambre (original 1883, técnica única) 2. Mampostería de ladrillo en tambor y pilastras 3. Hormigón simple anillo perimetral (1950) 4. Hormigón a base de cal en nervios convergentes 5. Refuerzos metálicos contemporáneos puntuales Diferencias en coeficientes de dilatación térmica y módulos de elasticidad.
	C2-3	Movimientos diferenciales entre elementos	Sistema mixto con rigideces distintas genera concentraciones de tensión en interfaces bajo cargas sísmicas. DOCUMENTADO: Fisuras observadas en interfaces mampostería-hormigón en intervenciones previas.

			COMPORTAMIENTO DINÁMICO: Respuestas diferentes a aceleración sísmica causan desplazamientos relativos.
	C2-4	Puentes térmicos en interfaces	Conexiones entre materiales heterogéneos (hormigón-mampostería, metal-piedra) actúan como puentes térmicos. EFECTO: Condensación localizada en interfaces + corrosión potencial de elementos metálicos. CONDICIONES: Gradientes térmicos día-noche significativos en zona andina (radiación solar intensa + noches frías 2,754 msnm).
	C2-7	Deterioro de sellos y juntas de estanqueidad	EVIDENCIA CRÍTICA (2026): Sistema de impermeabilización aplicado en 2017 presenta fallas puntuales evidenciadas por reaparición de rastros de humedad solo 9 años después. CAUSAS PROBABLES: Envejecimiento acelerado por condiciones ambientales extremas (radiación UV, ciclos térmicos amplios), aplicación inadecuada en zonas críticas, o incompatibilidad con soporte. REQUERIMIENTO: Reevaluación integral de efectividad y vida útil de impermeabilización.
C3 - Geometría y Configuración Específica	C3-1	Efectos aerodinámicos adversos (vórtices, succión)	Altura prominente 36m (cúpula 30m + linterna 6m) expuesta a vientos andinos. EFECTOS: Presión/succión diferencial en superficies curvas de cúpula elíptica. Linterna actúa como elemento vulnerable a vientos. CONSECUENCIA: Fatiga en conexiones linterna-cúpula, posible desprendimiento de elementos decorativos.
	C3-3	Zonas de difícil acceso para inspección y mantenimiento	Geometría compleja: • Linterna superior (6m altura) requiere andamiaje especializado • Intradós de cúpula a gran altura (30m desde piso) • Óculo central de convergencia de nervios CONSECUENCIA: Dificulta detección temprana de deterioros. Inspecciones limitadas a zonas accesibles visualmente desde el piso.
	C3-5	Amplificación de movimientos sísmicos por altura	EFECTO LÁTIGO: En eventos sísmicos, desplazamientos en cúspide (36m) son significativamente mayores que en base. CONSECUENCIA: Mayor concentración de tensiones en base de pilastras y conexiones

			cúpula-tambor. AGRAVANTE: Sistema octogonal + altura excepcional aumentan vulnerabilidad sísmica.
	C3-6	Efectos de sombra y microclima diferenciado	Orientación de las ocho ventanas del tambor genera zonas con exposición solar diferencial. CONSECUENCIA: Zonas de sombra permanente favorecen condensación y humedad persistente. Ventilación asimétrica crea microclimas interiores diversos. BIODETERIORO: Zonas húmedas sombreadas propensas a colonización biológica.
	C3-9	Gradientes térmicos por exposición diferencial	Superficies orientadas al sur vs. norte experimentan diferencias térmicas >15°C durante día. CAUSA: Clima andino ecuatorial con radiación solar intensa + altitud 2,754 msnm. EFECTO: Dilataciones diferenciales generan tensiones térmicas cíclicas. Fatiga acumulativa en materiales.
C4 - Funcionales y de Uso	C4-1	Sobrecarga por equipos (iluminación, sonido, campanas)	Sistemas instalados no contemplados en diseño original 1883: • Iluminación eléctrica (cableado, luminarias) • Sistema de sonido (altavoces, cableado) • Instalaciones eléctricas diversas REQUERIMIENTO: Cuantificación de cargas actuales vs. capacidad de diseño.
	C4-4	Instalación inadecuada de sistemas modernos (HVAC, eléctrico)	Cableado eléctrico y sistemas de iluminación instalados perforando elementos estructurales y decorativos sin criterio patrimonial. CONSECUENCIAS: Puntos de debilitamiento estructural + vías de entrada de humedad + alteración estética. AGRAVANTE: Instalaciones realizadas en múltiples épocas sin planificación integral.
	C4-6	Alteración de la ventilación natural por modificaciones	Modificaciones históricas en ventanas del tambor y accesos alteran flujo de ventilación natural original. EFECTO: Cambios en microclima interior afectan condensación y humedad relativa. CONSECUENCIA: Desequilibrio del sistema pasivo de control ambiental diseñado originalmente.
C5 - Constructivos y Tipológicos	C5-1	Técnicas constructivas históricas vulnerables	TÉCNICA PIONERA ÚNICA (1883): Piedra pómez tejida con pedazos de alambre en forma de grapas para alivianamiento estructural.

		VULNERABILIDAD: Envejecimiento natural de materiales (140+ años). Técnica sin precedentes requiere conocimiento especializado para mantenimiento. RIESGO: Deterioro de alambre original por corrosión puede comprometer integridad del tejido.
C5-2	Materiales tradicionales sin mantenimiento adecuado	Morteros de cal originales (argamasa cal-arena) desprotegidos y expuestos directamente al ambiente. CONSECUENCIA: Disgregación progresiva documentada en intervenciones 1998-2004. REQUERIMIENTO: Mantenimiento periódico especializado que históricamente no se ha proporcionado de manera sistemática.
C5-3	Sistemas mixtos (histórico-contemporáneo) incompatibles	CUATRO GENERACIONES CONSTRUCTIVAS sin integración completa: 1. Sistema original 1883 (piedra pómez con alambre + cal) 2. Intervención 1950 (hormigón simple, baldosa cemento) 3. Consolidaciones 1998-2004, 2014-2015 (inyecciones cal) 4. Intervención 2017 (impermeabilización contemporánea) LIMITACIÓN CRÍTICA: Sin modelamiento estructural del comportamiento integrado. Comportamiento real del sistema mixto es incierto ante eventos sísmicos.
C5-5	Intervenciones previas inadecuadas o reversibles	INTERVENCIÓN INADECUADA (1950): Baldosa de cemento sobre cubierta generó: • Rigidez excesiva incompatible con flexibilidad mampostería • Fisuras en interfaces por comportamiento diferencial • Desprendimiento posterior del material LECCIÓN: Importancia de compatibilidad de materiales en intervenciones. Consecuencias de decisiones inadecuadas persisten décadas.
C5-6	Falta de documentación técnica histórica	Planos constructivos originales de 1883 incompletos o extraviados. CONSECUENCIA: Análisis del sistema estructural basado en inferencias y levantamientos contemporáneos. LIMITACIÓN: Dificulta comprensión del comportamiento estructural original diseñado por Hermano Lecanda.

	C5-7	Incomprensión del comportamiento estructural original	Sistema de alivianamiento único con piedra pómez tejida con alambre carece de estudios estructurales detallados. RIESGO: Intervenciones futuras podrían ser inadecuadas por falta de comprensión del sistema original. REQUERIMIENTO: Investigación especializada sobre comportamiento de técnica constructiva pionera.
C6 - Ambientales Específicos	C6-1	Exposición extrema a radiación solar	Altitud 2,754 msnm + latitud ecuatorial = radiación UV intensa. EFECTO: Degradación acelerada de materiales expuestos: • Envejecimiento morteros • Degradación de impermeabilizaciones • Fatiga térmica en elementos pétreos
	C6-3	Condensación por diferencias térmicas altura-base	Gradiente térmico vertical significativo (diferencia temperatura entre piso y cúspide 36m). EFECTO: Condensación recurrente en intradós de cúpula, especialmente en épocas frías. FENÓMENO: Aire caliente asciende, se enfría al contacto con superficie cupular, condensa. Humedad persistente en zonas específicas.
	C6-5	Impacto directo de precipitaciones extremas	Eventos >60mm/24h impactan directamente sobre sistema de cubierta cupular. VULNERABILIDAD: Sistema histórico diseñado para régimen pluvial de época (siglo XIX). Eventos extremos actuales (cambio climático) superan capacidad. EVIDENCIA: Reaparición humedad 2026 tras precipitaciones intensas.
	C6-6	Efectos de viento en zona de mayor exposición	Vientos andinos impactan linterna superior (6m) y cruz (4m) en zona más expuesta (36m altura total). EFECTOS: Vibraciones en linterna, fatiga en conexiones linterna-cúpula, posible desprendimiento cruz. AGRAVANTE: Sin protección ni barrera contra vientos dominantes.
	C6-7	Contaminación atmosférica concentrada por altura	Concentración de contaminantes del centro histórico (tráfico vehicular) en altura. EFECTO: Formación de costras negras (A6-4) en elementos pétreos. Deterioro químico acelerado por SO_2 y NO_x. PROCESO: Contaminantes + humedad = ácidos débiles que atacan piedra y morteros.

	C6-8	Rayos y descargas eléctricas por prominencia	Cruz metálica de 4m en cúspide (altura total 40m desde nivel suelo) siendo el punto más elevado en entorno inmediato. RIESGO: Alta susceptibilidad a descargas eléctricas atmosféricas. VERIFICACIÓN REQUERIDA: Confirmar existencia, estado y funcionalidad de sistema de pararrayos.

Nivel de Confianza - Sección C:
MEDIO-ALTO (80-89%)

Fundamento:

- Análisis técnico constructivo basado en documentación histórica disponible
- Información de cuatro generaciones de intervenciones (1950, 1998-2004, 2014-2015, 2017)
- Observación in situ de características constructivas
- Entrevistas con restauradores y técnicos especializados
- Análisis de compatibilidad de materiales basado en literatura técnica

Limitaciones:

- Sin modelamiento estructural del sistema mixto completo (mampostería + hormigón + refuerzos)
- Falta de monitoreo instrumental de temperaturas, humedad relativa, movimientos estructurales
- Información técnica limitada sobre comportamiento real ante sismos (no hay instrumentación sísmica)
- Planos constructivos originales 1883 incompletos o extraviados
- Sin caracterización mecánica detallada de materiales (ensayos de laboratorio)

2.3. Análisis de Correspondencias

El análisis de correspondencias permite identificar las relaciones causales entre las amenazas externas (B), las vulnerabilidades intrínsecas (C) y las manifestaciones observables del deterioro (A).

Tabla 7
Matriz de Correspondencias: Amenazas → Agentes de Deterioro

Amenaza	→	Agente de Deterioro	Tipo de Relación	Justificación Técnica
B1-1 (Alta sismicidad PGA=0.40g) + B1-4 (FA: Deterioro estructura) + B1-5 (FA: Conexiones inadecuadas)	→	A1-1, A1-2 (Fisuras en nervios convergentes y tambor octogonal)	FUERTE	Zona sísmica V + eventos históricos documentados (1797, siglo XX) + concentración de esfuerzos en ocho pilastras + empujes horizontales cúpula elíptica = fisuramientos documentados en intervenciones 1998-2004
B1-6 (FA: Rigidez diferencial sistema mixto)	→	A10-4 (Fisuras en interfaces mampostería-hormigón)	FUERTE	Sistema mixto (mampostería flexible + hormigón rígido 1950 + refuerzos contemporáneos) → diferencias módulos elasticidad → concentración tensiones en interfaces durante carga sísmica = fisuras observadas
B2-1 (Precipitaciones 800-1,200 mm anuales)	→	A4-1, A4-6, A4-7 (Filtraciones, manchas humedad, eflorescencias)	FUERTE	Lluvias intensas + deterioro sistema impermeabilización (evidencia 2026) → infiltraciones → manchas humedad interior + transporte/cristalización sales solubles = eflorescencias observadas
B3-6 (Ceniza volcánica Cotopaxi)	→	A6-6 (Deposición de partículas)	FUERTE	Eventos 1999-2016 documentados → acumulación de ceniza en geometría compleja de la cúpula
B2-8 (Cambio climático - eventos extremos)	→	A4-1 (Filtraciones por cubiertas)	FUERTE	Incremento intensidad precipitaciones (>60mm/24h) supera capacidad de diseño histórico (siglo XIX) → sobrepasa impermeabilización 2017 → reaparición humedad 2026
B3-3 (Erosión suelo fundación)	→	A1-8 (Asentamientos diferenciales)	MODERADA	Potencial erosión diferencial en fundaciones de pilastras + edad estructura 140+ años + tipo suelo aluvial → posibles movimientos diferenciales (requiere verificación geotécnica)
B5-7 (Tráfico vehicular centro histórico)	→	A6-1, A6-4 (Depósitos hollín, costras negras)	MODERADA	Emisiones vehiculares (SO_2, NO_x, partículas) + altura prominente 36m → acumulación de contaminantes en superficies expuestas + humedad = costras negras sulfatadas en piedra

B5-7 (Tráfico vehicular - vibraciones)	→	A1-1 (Fisuras estructurales)	DÉBIL	Vibraciones continuas por tráfico pesado → fatiga acumulativa en materiales → contribución menor a fisuración (efecto marginal vs. sismos)

Tabla 8

Matriz de Correspondencias: Vulnerabilidades → Agentes de Deterioro

Vulnerabilidad	→	**Agente de Deterioro**	**Tipo de Relación**	**Justificación Técnica**
C1-1 (Concentración cargas 8 pilastras) + C1-2 (Empujes horizontales)	→	A1-1, A1-2 (Fisuras nervios y tambor)	FUERTE	Concentración tensiones en puntos críticos (pilastras 2m x 2m soportan cúpula 16m diámetro) + empujes horizontales cúpula elíptica → facilita propagación fisuras durante eventos sísmicos
C1-4 (Fatiga por cargas cíclicas sísmicas)	→	A1-1 (Fisuras en nervios convergentes)	FUERTE	Zona V (PGA=0.40g) + eventos sísmicos recurrentes cada 10-15 años → ciclos de carga repetitivos → acumulación de daño progresivo = microfisuras que evolucionan a fisuras visibles
C1-8 (Redistribución cargas por intervenciones)	→	A1-1 (Fisuras en nuevas zonas)	MODERADA	Intervenciones históricas (inyecciones 1998-2004 + anillo hormigón 1950) alteran caminos de carga originales → concentraciones tensión en zonas no previstas en diseño 1883 → nuevas fisuras potenciales
C2-1, C2-2, C2-3 (Conexión cúpula-tambor, incompatibilidad materiales, movimientos diferenciales)	→	A1-1, A10-4 (Fisuras en interfaces)	FUERTE	Interfaces entre materiales heterogéneos (mampostería ladrillo + hormigón simple + hormigón cal + piedra pómez) = puntos débiles preferenciales donde se concentran tensiones → fisuras observadas en interfaces
C2-4 (Puentes térmicos en interfaces)	→	A9-2 (Condensación en superficies)	FUERTE	Conexiones hormigón-mampostería actúan como puentes térmicos + gradientes día-noche zona andina → diferencias temperatura localizadas → condensación preferencial en interfaces = humedad persistente

C2-7 (Deterioro sellos impermeabilización)	→	A4-1, A4-6 (Filtraciones, manchas humedad)	FUERTE	Fallas puntuales en impermeabilización 2017 (evidencia directa 2026: reaparición humedad 9 años después) → entrada directa agua lluvia → manchas humedad en intradós = confirmación deterioro sellos
C3-5 (Amplificación movimientos por altura 36m)	→	A1-1, A1-2 (Fisuras base pilastras)	MODERADA	Efecto látigo durante sismos: desplazamiento en cúspide >desplazamiento en base → mayor concentración tensiones en conexiones base pilastras-cúpula = fisuras preferenciales en zonas bajas
C3-6 (Microclima diferenciado), C3-9 (Gradientes térmicos >15°C)	→	A9-2, A8-1 (Condensación, agrietamiento térmico)	FUERTE	Zonas sombra permanente + orientación diferencial ventanas tambor → microclimas diversos + diferencias térmicas superficie → condensación zonas frías + dilataciones diferenciales = humedad + fisuras térmicas
C4-4 (Instalaciones inadecuadas perforando elementos)	→	A4-1 (Filtraciones)	MODERADA	Perforaciones para cableado eléctrico y sistemas sin criterio patrimonial → debilitamiento puntual + vías entrada agua = contribución a infiltraciones (efecto secundario vs. deterioro impermeabilización principal)
C5-1, C5-2, C5-3 (Técnicas históricas, materiales sin mantenimiento, sistema mixto)	→	A1-1, A10-2, A10-4 (Fisuras, disociación)	FUERTE	Naturaleza de técnicas constructivas históricas + envejecimiento de materiales tradicionales (140+ años) + comportamientos diferenciales sistema mixto (4 generaciones intervenciones) sin mantenimiento sistemático → deterioro acumulativo + incompatibilidades = fisuras múltiples
C5-5 (Intervención inadecuada 1950 - baldosa cemento)	→	A10-2 (Evidencia intervención inadecuada)	FUERTE	Baldosa cemento rígida sobre mampostería flexible → incompatibilidad comportamiento → fisuras interfaces + desprendimiento posterior = lección histórica documentada
C6-1 (Radiación solar intensa 2,754 msnm)	→	A8-1 (Agrietamiento térmico)	MODERADA	Radiación UV intensa altitud + clima ecuatorial → ciclos térmicos diarios amplios (>15°C superficie) → dilataciones/contracciones repetitivas → fatiga de materiales = microfisuras térmicas
C6-3 + C6-7 (Condensación gradiente altura-base,	→	A4-6, A9-2, A9-7 (Manchas humedad, condensación, sales)	FUERTE	Gradiente térmico vertical (36m altura) + concentración de contaminantes + aire caliente asciende → enfriamiento al contacto superficie cupular → condensación recurrente intradós → interacción

contaminación atmosférica por altura)				de contaminantes–condensación = humedad persistente + activación sales solubles
C6-5 (Precipitaciones extremas >60mm/24h)	→	A4-1, A4-6 (Filtraciones)	FUERTE	Eventos extremos incrementados por cambio climático → superan capacidad sistema drenaje histórico + impermeabilización 2017 → infiltraciones documentadas 2026 = confirmación insuficiencia ante eventos extremos

2.4. Identificación de Riesgos

Basándose en el análisis de correspondencias y la documentación disponible, se procede a clasificar los riesgos identificados en tres categorías conforme su estado actual respecto a las intervenciones históricas.

Tabla 9
Riesgos Históricos Documentados

Código	Denominación	Documentación	Correspondencia	Comportamiento Original
RH-1	Fisuración estructural por actividad sísmica recurrente	Fisuras en nervios convergentes y tambor documentadas en múltiples intervenciones (1998-2004, 2014-2015, 2016-2019). Grietas mayores a 5cm previo a intervención 2019. Zona sísmica V (PGA=0.40g) con antecedentes: terremoto 1797, sismo Pelileo 1949 (“grandes grietas”), terremoto Pedernales 2016 (agrandamiento grietas existentes)	B1-1 + B1-4 + B1-5 + C1-1 + C1-2 + C1-4 → A1-1, A1-2	Concentración cargas en 8 pilastras + empujes horizontales cúpula elíptica + eventos sísmicos recurrentes documentados (1949, 2016) + fatiga acumulativa = fisuración progresiva >5cm en nervios y tambor octogonal
RH-2	Infiltraciones por deterioro progresivo de cubiertas	Filtraciones crónicas documentadas en reportes previos a intervención 2019. “Apenas 20 años después de inauguración (1935) ya se hicieron notar fallas: piedra pómez utilizada no era lo mejor, carencia de impermeabilización en	B2-1 + B2-8 + C2-7 + C6-5 → A4-1, A4-6, A4-7	Sistema impermeabilización histórico inexistente/deficiente para régimen pluvial 800-1,200 mm + eventos intensos ocasionales + deterioro progresivo materiales = infiltraciones recurrentes + humedad acumulada

		amplias terrazas era evidente" (Aguirre, 2016). Humedad acumulada que agravó deterioro		
RH-3	Disgregación de morteros originales por envejecimiento y exposición	Deterioro de argamasas documentado en intervenciones 1998-2004. Desprendimientos localizados de material de recubrimiento. Pérdida de cohesión en juntas	C5-1 + C5-2 + C6-1 → disgregación argamasas	Morteros cal originales (140+ años) sin mantenimiento sistemático + exposición directa ambiente andino (radiación UV intensa altitud 2,754 msnm, ciclos térmicos amplios) = pérdida cohesión progresiva + desprendimientos
RH-4	Incompatibilidad materiales por intervención inadecuada 1950	Baldosa de cemento aplicada 1950 sobre cubierta cupular posteriormente se desprendió. Fisuras en interfaces documentadas como consecuencia de rigidez excesiva	C5-5 → A10-2	Material rígido excesivo (baldosa cemento) aplicado sobre base flexible (mampostería histórica piedra pómez) → incompatibilidad comportamiento mecánico → fisuras interfaces + desprendimiento material = lección histórica intervención inadecuada
RH-5	Acumulación progresiva de contaminantes atmosféricos urbanos	Depósitos de hollín y formación incipiente de costras negras en elementos pétreos externos documentados visualmente	B5-7 + C6-7 → A6-1, A6-4	Tráfico vehicular intenso centro histórico (SO_2, NO_x) + altura prominente 36m concentra contaminantes + humedad superficial = formación costras negras sulfatadas + deterioro químico pétreo progresivo
RH-6	Incompatibilidad estructural edificación adyacente anclada	Edificación contemporánea (Colegio San Felipe Neri - 3 pisos hormigón armado) anclada directamente a estructura patrimonial. "Preocupación directa... edificaciones contemporáneas estaban ancladas a este edificio... trabajando de manera conjunta... incompatibilidad y manejo estructural no correcto" (Arq. Villacís, entrevista)	B1-5 + C2-3 → A1-1 (fisuras)	Estructura rígida (hormigón armado) anclada a estructura flexible (mampostería histórica) → movimientos diferenciales bajo carga sísmica → empujes adicionales no contemplados en diseño original = fisuras por incompatibilidad

RH-7	Acumulación ceniza volcánica con sobrecarga	Deposición de partículas por eventos volcánicos del Tungurahua (19992016 documentado IGEPN)	B3-6 + C3-1 → A6-6	Altura prominente + geometría compleja cúpula = captura eficiente partículas suspensión

Tabla 10

Riesgos Residuales Post-Intervenciones Históricas

Código	Denominación	Mitigación Aplicada	Riesgo Residual	Nivel Reducción Estimado	Tipo Ocurrencia
RR-1	Fisuración estructural residual	**Intervención integral 2016-2019:** • Estudios exhaustivos: suelos, núcleos muros, caracterización de materiales (Ing. Manosalvas + Ing. Lincango 2016) • Inyecciones estructurales Tipo A (lechada cal fisuras 1-5mm) y Tipo B (mortero hidráulico cal fisuras 5-10mm) • Reforzamiento fibras carbono CARBOWRAP 600 CFRP (módulo elasticidad 73,140 MPa, resistencia tensión 842 MPa) • Reforzamiento fibras vidrio EPOWRAP 200 B-D para vanos	Sismicidad alta persiste (Zona V, PGA=0.40g) inalterada. Eventos sísmicos ≥6.0 Mw (recurrencia histórica documentada: 1949, 2016) pueden generar nuevas fisuras o reactivar fisuras tratadas. Sistema reforzado, pero amenaza natural no reducida. INCERTIDUMBRE: Sin modelamiento estructural completo del comportamiento integrado sistema mixto post-reforzamiento	70-80% respecto riesgo original Fundamento: Intervención 2019 más completa documentada (estudios exhaustivos + reforzamiento integral + junta dilatación). Fibras carbono de alta resistencia (842 MPa). Testimonios profesionales confirman efectividad (“se logró el objetivo... reducir impacto de las grietas”). Sin embargo, amenaza sísmica persiste + sin modelo estructural validado limitan confianza	Evento recurrente Patrón activación: Sismos ≥6.0 Mw cada 10-15 años (histórico: 1949, 2016 = 67 años entre eventos mayores documentados)

		• Junta dilatación edificación adyacente (adhesivo elástico SikaBond) **Intervenciones complementarias previas:** • 1998-2004: Inyecciones lechada cal + consolidación argamasas • 2014-2015: Tratamiento fisuras activas			
RR-2	Infiltraciones residuales menores	**Intervención 2016-2019:** • Impermeabilización piso cubierta con Epobild nivelador • Reposición tejuelo deteriorado (cerámica Grayman 10x10cm tonalidades originales) • Tratamiento integral sistema cubiertas **Intervención previa 1979-1982:** • Impermeabilizaciones fase exterior	CRÍTICO - EVIDENCIA DIRECTA 2026: Efectividad parcial comprobada. TESTIMONIO CUSTODIO (2026): “existe todavía quizás una pequeña filtración del agua, porque generalmente es una cúpula muy grande y tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente” OBSERVACIÓN INSPECCIÓN (2026): Reaparición rastros humedad en intradós cúpula solo 7 años post-intervención 2019. Eventos precipitación extrema (>60mm/24h, incrementados por	60-70% respecto riesgo original **Fundamento**: Intervención 2019 más técnica que previas (Epobild + reposición tejuelo completa). Sin embargo, evidencia directa 2026 confirma persistencia problema en solo 7 años. Testimonio custodio indica “cúpula muy grande” con zonas no adecuadamente impermeabilizadas. Reducción moderada, no alta como se esperaba	Evento recurrente Patrón activación: Eventos precipitación intensa época lluviosa (oct-may). Manifestación visible cada 5-10 años conforme avanza deterioro impermeabilización

			cambio climático) pueden superar capacidad sistema. Geometría compleja cúpula elíptica dificulta impermeabilización integral		
RR-3	Disgregación de argamasas residual	**Intervenciones 2014-2015, 2016-2019:** • Consolidación argamasas cal-arena en zonas críticas identificadas • Inyecciones lechada cal (tratamiento focalizado fisuras) • Tratamiento no integral totalidad estructura	Zonas no tratadas o con aplicación insuficiente pueden continuar disgregando lentamente. Proceso natural de envejecimiento materiales (140+ años) persiste. Exposición ambiente andino (UV, ciclos térmicos) continúa actuando	65-75% Fundamento: Intervención 2019 incluyó consolidación, pero enfoque fue principalmente estructural (reforzamiento). Tratamiento argamasas complementario, no exhaustivo. Cobertura estimada ~65-70% bien. Proceso natural envejecimiento continúa	Proceso acumulativo Patrón: Deterioro lento continuo (manifestación visible cada 15-25 años)

Tabla 11

Riesgos Emergentes Derivados de Intervenciones

Código	Denominación	Origen	Manifestación Potencial	Horizonte Temporal[1]	Tipo Ocurrencia[2]
RE-1	Incompatibilidad y concentración de tensiones en sistema mixto mampostería-hormigón-fibras	Sistema constructivo híbrido múltiples generaciones sin análisis estructural integrado: • Original 1883: Piedra pómez tejida alambre + mampostería ladrillo + morteros cal	Concentración tensiones en interfaces entre materiales con módulos elasticidad muy diferentes: • Mampostería piedra pómez (flexible, E bajo) • Hormigón simple 1950 (rígido, E medio)	Ya presente (Sistema mixto completado desde 2019. Comportamiento bajo carga sísmica no validado. Próximo evento ≥6.0 Mw revelará desempeño real)	Evento recurrente Patrón: Activación cada evento sísmico ≥5.0 Mw (cada 5-8 años estimado). Acumulación progresiva de daño en interfaces

		• 1950: Anillo hormigón simple 20cm (al tercio altura) • 1979-1982: Hormigón armado edificación adyacente anclada • 2016-2019: Fibras carbono CARBOWRAP + fibras vidrio EPOWRAP **LIMITACIÓN CRÍTICA DOCUMENTADA**: "Sin modelamiento estructural del comportamiento integrado" (limitación reconocida por profesionales intervinientes)	• Fibras carbono 2019 (muy rígido, E=73,140 MPa) Nuevas fisuras en zonas transición rigidez durante eventos sísmicos. Comportamiento estructural real del sistema híbrido es incierto ante cargas dinámicas. Posible fallo prematuro en interfaces no analizadas		
RE-2	Falla efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019	Impermeabilización 2019 (Epobild nivelador) presenta deterioro acelerado evidenciado por reaparición humedad 2026 (solo 7 años). Causas probables identificadas: • Condiciones ambientales extremas: radiación UV intensa (altitud 2,754 msnm) + ciclos térmicos amplios >15°C día-noche	Reactivación infiltraciones progresiva ya iniciándose (evidencia 2026). Proyección: • Años 1-7 post-2019: Efectividad aceptable con fallas puntuales emergentes (estado actual) • Años 8-15: Deterioro acelerado, infiltraciones moderadas recurrentes	Ya manifestándose (Observación directa 2026 confirma inicio deterioro solo 7 años post-intervención. Falla parcial presente. Falla significativa proyectada 8-12 años adicionales sin reintervención)	Evento recurrente Patrón: Infiltraciones cada época lluviosa con intensidad creciente conforme avanza deterioro impermeabilización. Ciclo degradación 7-15 años

		• Geometría compleja cúpula elíptica dificulta aplicación uniforme • "Cúpula muy grande... tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente" (custodio, 2026) • Posible incompatibilidad con soporte o aplicación inadecuada en zonas críticas	• Años 15-20: Falla generalizada sistema sin reintervención Acabados interiores, eflorescencias recurrentes, humedad persistente pueden afectar elementos estructurales y fibras de refuerzo instaladas en 2019		
RE-3	Pérdida de legibilidad histórica de sistema constructivo pionero único	Múltiples generaciones intervenciones sin documentación diferenciada exhaustiva ni señalización: • 1950: Hormigón, baldosa cemento • 1979-1982: Impermeabilizaciones, decoración interior, sistema eléctrico • 1998-2004: Inyecciones cal • 2014-2015: Consolidaciones puntuales • 2016-2019: Fibras carbono/vidrio, inyecciones, impermeabilización	Dificultad creciente para: • Interpretar sistema constructivo original pionero (único en región) • Distinguir elementos originales 1883 vs. 5 generaciones intervenciones • Comprender técnica alivianamiento piedra pómez-alambre sin precedentes • Transmitir conocimiento tradicional a futuras generaciones Riesgo intervenciones futuras inadecuadas por incomprensión técnica original. Pérdida valor testimonial/educativo de técnica	Ya presente (Proceso acumulado progresivo desde 1950. Cada nueva intervención sin documentación diferenciada aumenta confusión. Técnica pionera 1883 progresivamente menos legible)	Proceso acumulativo irreversible Patrón: Agravamiento constante. Cada futura intervención sin documentación exhaustiva diferenciada incrementa pérdida legibilidad

		AGRAVANTE CRÍTICO: Técnica original única (piedra pómez tejida con alambre - pionera en región) carece de: • Estudios detallados publicados del sistema original • Documentación técnica completa antes de intervenciones • Sistema interpretación que diferencie original de añadidos	constructiva excepcional sin paralelos. Confusión estimada en 60-70% de superficies		
RE-4	Dependencia crítica de mantenimiento especializado continuo programado	Sistema complejo requiere intervenciones especializadas recurrentes evidenciado por ciclo histórico: • 1950 (35 años post-construcción) • 1979-1982 (29-32 años post-1950) • 1998-2004 (16-22 años post-1982) • 2014-2015 (10-11 años post-2004) • 2016-2019 (2-5 años post-2015) • 2026 (7 años post-2019): Ya requiere reevaluación por humedad	Falta mantenimiento especializado programado → pérdida progresiva efectividad todas intervenciones históricas → reactivación acelerada riesgos históricos (RH-1, RH-2, RH-3) en cascada. Ciclo actual reactivo costoso (esperar manifestación problema → intervención mayor) vs. preventivo programado (inspecciones especializadas periódicas → mantenimiento oportuno menor costo). Deterioro acumulativo entre intervenciones. Evidencia 2026:	5-10 años (Sin programa formal implementado actualmente. Gestión reactiva documentada. Evidencia 2026 confirma ciclo continúa: necesidad reevaluación 7 años post-intervención mayor. Próxima intervención requerida estimada 2029-2034 sin cambio enfoque)	Proceso acumulativo Patrón: Deterioro progresivo cada 7-15 años sin mantenimiento especializado. Reactivación cíclica riesgos cuando efectividad intervenciones previas se agota

	PROBLEMA FUNDAMENTAL: Efectividad temporal tratamientos (7-15 años). Sin programa mantenimiento preventivo formal institucionalizado. Gestión actual reactiva ante manifestación problemas	ciclo continúa (humedad reaparece 7 años post-2019)

Notas: [1] Horizonte temporal: ¿Cuándo se espera que el riesgo emergente se manifieste por primera vez (o ya se está manifestando)? [2] Tipo ocurrencia: ¿Cómo se comporta el riesgo una vez activo? La variable A (frecuencia) en fase de evaluación cuantitativa mide: ¿Cada cuánto tiempo ocurre el evento una vez que el riesgo ya está activo?

FASE 3: Desarrollo de Matriz de Riesgos Integrada

3.1. Evaluación Cuantitativa de Riesgos Actuales

Solo se evaluaron cuantitativamente los riesgos residuales (RR) y riesgos emergentes (RE). Los riesgos históricos (RH) ya fueron mitigados en intervenciones 1998-2019 y sirven como base de comprensión del comportamiento original.

Fórmula de Cálculo MR: **MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25),** donde: IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2

Tabla 12

Evaluación Cuantitativa RR-1: Fisuración Estructural Residual

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	El reforzamiento integral 2019 (fibras carbono CARBOWRAP 600 CFRP + inyecciones estructurales + junta dilatación) reduce significativamente probabilidad de fisuras. Sin embargo, eventos sísmicos magnitud ≥6.0 Mw (documentados históricamente: 1949 Pelileo, 2016 Pedernales = cada 50-70 años) pueden eventualmente superar capacidad del sistema reforzado. Eventos menores ≥5.0 Mw (más frecuentes, cada 5-8 años estimado) pueden reactivar fisuras tratadas.

B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Nuevas fisuras comprometerían: (1) Integridad del sistema reforzamiento 2019 (fibras carbono de alto costo, módulo 73,140 MPa), (2) Inyecciones estructurales aplicadas (Tipo A y B), (3) Junta dilatación edificación adyacente, (4) Requerirían nueva intervención técnica especializada compleja y costosa (~$360,000 según intervención 2019). No afectaría totalidad estructural pero sí sistema consolidación completo instalado.
C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Riesgo concentrado en: (1) Zonas reforzadas con fibras carbono/vidrio (cúpula central + cupulines), (2) Interfaces sistema mixto mampostería-hormigón-fibras (~200+ puntos críticos estimados), (3) Conexiones tambor-cúpula por concentración cargas en 8 pilastras, (4) Junta dilatación edificación adyacente (punto vulnerable). Afecta aproximadamente 50-60% sistema estructural cupular.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Valoración INPC: 47/50 puntos (excepcional). Única iglesia circular en Ecuador. Técnica constructiva pionera piedra pómez tejida con alambre irreemplazable (sin precedentes en región). Conexión directa identidad nacional (Consagración República al Sagrado Corazón 1874). Elemento testimonial memoria histórica ecuatoriana.
Vulnerabilidad	2 - Media	Reforzamiento 2019 reduce vulnerabilidad original significativamente (fibras alta resistencia 842 MPa + inyecciones + junta dilatación). Sin embargo, persisten: (1) Sistema mixto sin modelamiento estructural validado (limitación crítica reconocida), (2) Puntos débiles en interfaces materiales heterogéneos, (3) Concentración cargas en 8 pilastras sin análisis integral, (4) Comportamiento real ante sismos incierto.
Exposición	4 - Muy Alta	Zona sísmica V mantiene exposición constante (PGA=0.40g). Sin cambios post-intervención 2019 en amenaza sísmica regional. Actividad sísmica documentada recurrente (1949, 2016). Ubicación centro histórico sin posibilidad mitigación amenaza natural. Altitud 2,754 msnm en región andina central con sismicidad frecuente (IGEPN).
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Reforzamiento integral reciente 2019 (fibras carbono + inyecciones + junta dilatación), (2) Estudios exhaustivos base (Ing. Manosalvas + Ing. Lincango 2016), (3) Fiscalización INPC durante ejecución, (4) Inspecciones visuales regulares custodio bien. PERO: Sin monitoreo instrumental continuo (fisurómetros, sensores deformación), sin modelamiento estructural comportamiento sistema mixto post-reforzamiento, sin protocolo inspección post-sísmica especializado formalizado.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-1:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 4) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 3 × 3 × 4 × 3.0) / (2 × 25)
MR = 324 / 50 = **6.5**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Sismos ≥6.0 Mw cada 50-70 años (histórico: 1949, 2016). Sismos ≥5.0 Mw cada 5-8 años (estimado) pueden reactivar fisuras tratadas.

Tabla 13
Evaluación Cuantitativa RR-2: Infiltraciones Residuales Menores

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	EVIDENCIA DIRECTA 2026: Sistema renovado 2019 presenta fallas puntuales solo 7 años después. Testimonio custodio: “existe todavía quizás una pequeña filtración del agua, porque generalmente es una cúpula muy grande y tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente”. Eventos precipitación intensa (>60mm/24h, incrementados por cambio climático) superan capacidad en zonas impermeabilizadas inadecuadamente. Proyección: infiltraciones significativas cada 5-10 años conforme avanza deterioro Epobild.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Infiltraciones afectarían: (1) Sistema reforzamiento 2019: humedad puede comprometer adhesión fibras carbono/vidrio (inversión ~$360,000), (2) Inyecciones estructurales (lechada cal susceptible a humedad), (3) Acabados interiores (pinturas murales cúpulas mencionadas por custodio como pendientes restauración), (4) Elementos decorativos barrocos, (5) Reactivación eflorescencias salinas, (6) Requeriría nueva impermeabilización integral antes de vida útil esperada. Compromiso moderado-alto sistema completo.

C (Alcance)	3 - Porción considerable (41-60%)	Riesgo afecta: (1) Cúpula central elíptica (16m diámetro, 30m altura hasta linterna = zona más expuesta), (2) Cupulines complementarios (elípticos con linterna + media naranja), (3) Sistema tejuelo reemplazado 2019 (cerámica Grayman 10x10cm), (4) Zonas específicas "tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente" (custodio). Evidencia 2026 indica ~40-50% sistema presenta vulnerabilidad residual a infiltraciones.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Valoración INPC: 47/50 puntos (criterio sin cambios).
Vulnerabilidad	3 - Alta	CRÍTICO - EVIDENCIA OBJETIVA: Impermeabilización 2019 (Epobild nivelador) presenta fallas solo 7 años después = vida útil menor a esperada. Persiste: (1) Geometría compleja cúpula elíptica dificulta aplicación uniforme, (2) "Cúpula muy grande" con zonas de difícil acceso, (3) Tejuelo Grayman nuevo sin historial largo plazo (comportamiento incierto), (4) Interfaces complejas linterna-cúpula, cúpula-tambor, (5) Radiación UV intensa + ciclos térmicos >15°C aceleran degradación impermeabilizantes. Vulnerabilidad comprobada por reaparición humedad.
Exposición	4 - Muy Alta	Régimen pluvial regional 800-1,200 mm anuales constante (INAMHI). Eventos precipitación intensa >60mm/24h con frecuencia incrementando (cambio climático). Exposición directa cúpula altura 36m sin protección. Orientación y geometría elíptica aumentan captura agua. Altitud 2,754 msnm = radiación solar intensa degrada impermeabilizantes aceleradamente.
CA (Control Actual)	3 - Controles adecuados	(1) Impermeabilización reciente 2019 (Epobild + tejuelo nuevo), (2) Inspecciones regulares custodio (visuales, semanales interiores). PERO: Sin monitoreo instrumental humedad (sensores HR, termografía), sin protocolo post-eventos pluviales extremos, sin análisis periódico estado impermeabilización, sin plan mantenimiento preventivo impermeabilizantes. Problema reaparece 7 años después sin detección temprana.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-2:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 4) / 2 = **3.5**
MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)

MR = (3 × 3 × 3 × 4 × 3.5) / (3 × 25)
MR = 378 / 75 = **5.0**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Eventos precipitación intensa época lluviosa (oct-may). Infiltraciones manifestándose ya 7 años post-intervención, intensidad creciente conforme avanza deterioro impermeabilización.

Tabla 14
Evaluación Cuantitativa RR-3: Disgregación Argamasas Residual

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	2 - Raro (cada 10-50 años)	Consolidación argamasas realizada parcialmente en intervenciones 2014-2015 y 2016-2019 (complementaria a reforzamiento estructural, no exhaustiva). Inyecciones lechada cal aplicadas focalizadamente en fisuras. Proceso disgregación muy lento en zonas tratadas. Manifestación visible esperada en zonas no tratadas (~30-35% estimado) en horizonte >20-30 años.
B (Pérdida de Valor)	2 - Pérdida moderada (21-40%)	Disgregación lenta afectaría: (1) Cohesión superficial argamasas cal-arena originales (estético principalmente), (2) Juntas no consolidadas, (3) Apariencia visual, (4) Podría comprometer parcialmente inyecciones cal si disgregación avanza. NO compromete sistema reforzamiento fibras carbono 2019 (anclaje independiente). Impacto moderado, gradual, sin afectación estructural crítica inmediata.
C (Alcance)	2 - Parte moderada (21-40%)	Proceso limitado a: (1) Zonas no tratadas en intervenciones focalizadas (~30-35% estimado en estructura), (2) Juntas no inyectadas, (3) Áreas con mayor exposición ambiental (faces sur, oeste con radiación directa), (4) Argamasas superficiales no consolidadas. Tratamientos 2014-2019 cubrieron áreas críticas (~65-70%), dejando zonas secundarias.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Valoración INPC: 47/50 puntos (criterio sin cambios).
Vulnerabilidad	2 - Media	Consolidación reduce vulnerabilidad en zonas tratadas. Sin embargo: (1) Material natural (argamasa cal-arena) continúa sujeto a meteorización lenta inherente, (2) Exposición directa persiste (sin capa protectora adicional), (3)

		Zonas no tratadas (~30-35%) mantienen vulnerabilidad original, (4) Morteros originales 140+ años edad = envejecimiento natural continúa. Proceso lento, controlado en gran parte.
Exposición	3 - Alta	Ambiente andino agresivo: (1) Radiación UV intensa altitud 2,754 msnm, (2) Variaciones térmicas diarias significativas >15°C (dilataciones/contracciones cíclicas), (3) Humedad relativa fluctuante, (4) Vientos andinos, (5) Precipitaciones 800-1,200mm anuales. Factores meteorización constantes actúan continuamente sobre morteros expuestos.
CA (Control Actual)	2 - Controles básicos	(1) Consolidación argamasas reciente 2014-2019 en zonas críticas, (2) Inyecciones lechada cal aplicadas, (3) Inspecciones visuales regulares custodio. PERO: Sin monitoreo específico cohesión argamasas (ensayos dureza periódicos), sin protocolo reaplicación consolidante en zonas deterioradas, sin análisis periódico efectividad tratamientos previos.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RR-3:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 3) / 2 = **2.5**
MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (2 × 2 × 2 × 4 × 2.5) / (2 × 25)
MR = 80 / 50 = **1.6**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Deterioro progresivo continuo muy lento (manifestación visible cada 20-30 años en zonas no tratadas)

Tabla 15

Evaluación Cuantitativa RE-1: Incompatibilidad y Concentración Tensiones Sistema Mixto Mampostería-Hormigón-Fibras

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	3 - Ocasional (cada 5-10 años)	Sistema mixto con rigideces muy diferentes (mampostería flexible + hormigón rígido 1950 + fibras carbono muy rígidas E=73,140 MPa) genera concentraciones tensión en interfaces. Eventos sísmicos ≥5.0 Mw (más frecuentes que ≥6.0, estimados cada 5-8 años) activan concentraciones. CRÍTICO: "Sin modelamiento estructural del comportamiento integrado" (limitación documentada profesionales) = comportamiento real incierto, imposible predecir con precisión. Frecuencia conservadora basada en activación sísmica regional.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Fallo en interfaces sistema mixto comprometerían: (1) Totalidad inversión 2019 (~$360,000): fibras carbono + inyecciones + junta dilatación, (2) Integridad estructural integrada (4 generaciones intervenciones sin análisis conjunto), (3) Seguridad ocupantes (40-400 personas eventos regulares), (4) Requeriría análisis estructural exhaustivo urgente + posible nueva intervención mayor, (5) Potencial cierre temporal bien (impacto social-religioso significativo). Pérdida severa sistema completo si falla bajo evento sísmico.
C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Rigidización diferencial afecta comportamiento de toda estructura cupular: (1) Interfaces múltiples mampostería original-hormigón 1950 (anillo perimetral 20cm + bases), (2) Interfaces hormigón-fibras carbono/vidrio 2019 (toda cúpula central + cupulines reforzados), (3) Junta dilatación edificación adyacente (hormigón armado 3 pisos), (4) Sistema transición cargas completo 8 pilastras-tambor-cúpula, (5) Zonas críticas apoyo sin análisis. Afecta estimado 70-80% sistema estructural integrado.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Valoración INPC: 47/50 puntos (criterio sin cambios).
Vulnerabilidad	2 - Media	Incertidumbre sobre comportamiento: (1) Sistema mixto cuatro generaciones (1883 + 1950 + 1979-82 + 2019) sin precedentes comportamiento largo plazo, (2) "Sin modelamiento estructural del comportamiento integrado" = comportamiento real ante sismos desconocido, (3) Módulos elasticidad diferentes: piedra pómez (E bajo, ~5-15 GPa) vs. hormigón simple (~20-30 GPa) vs. fibras carbono (E=73.14 GPa) = diferencias 5-15x, (4) Técnica original pionera piedra pómez-alambre sin estudios detallados añade incertidumbre, (5) Concentración cargas 8 pilastras sin análisis FEM, (6) Imposibilidad predecir puntos falla sin modelo validado.
Exposición	4 - Muy Alta	Zona sísmica V (PGA=0.40g) mantiene exposición sísmica constante máxima. Sismicidad regional frecuente (1949, 2016 documentados) activa repetidamente concentraciones tensión interfaces. Sin cambios amenaza post-

		intervención 2019. Ubicación centro andino sísmicamente activo. Cada evento sísmico prueba sistema mixto no analizado.
CA (Control Actual)	2 – Controles Básicos	Monitoreo reactivo y esporádico, inspección ocasional. Sin controles específicos: (1) Sin modelamiento estructural comportamiento sistema mixto (análisis FEM ausente), (2) Sin análisis detallado interfaces mampostería-hormigón-fibras, (3) Sin monitoreo instrumental deformaciones diferenciales (no hay sensores), (4) Sin protocolo evaluación post-sísmica especializado en interfaces, (5) Inspecciones visuales básicas custodio insuficientes para detectar concentraciones tensión internas. Solo reforzamiento aplicado sin validación comportamiento integrado.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-1:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 4) / 2 = **3.0**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (3 × 3 × 4 × 4 × 3.0) / (2× 25)
MR = 432 / 50 = **8.6**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente

Patrón de activación: Eventos sísmicos ≥5.0 Mw cada 5-8 años (estimado). Cada evento prueba sistema mixto no modelado. Acumulación progresiva de daño en interfaces.

Tabla 16
Evaluación Cuantitativa RE-2: Falla Efectividad y Vida Útil Limitada Impermeabilización 2019

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	4 - Frecuente (cada 1-5 años)	EVIDENCIA OBJETIVA 2026: Impermeabilización 2019 (Epobild nivelador) presenta fallas solo 7 años después (manifestación muy temprana). Proyección basada en evidencia: Años 1-7 (2019-2026): fallas puntuales emergentes

		(estado actual confirmado). Años 8-12 (2027-2031): deterioro acelerado, infiltraciones moderadas-significativas cada época lluviosa. Años 13+ (2032+): falla generalizada sin reintervención. Frecuencia eventos infiltración: anual-bianual conforme avanza deterioro (cada época lluviosa oct-may).
B (Pérdida de Valor)	4 - Pérdida severa (61-80%)	Falla impermeabilización compromete TOTALIDAD sistema 2019 (~$360,000): (1) Fibras carbono/vidrio: humedad crónica compromete adhesión epóxica al sustrato = fallo prematuro reforzamiento estructural (vida útil diseño >50 años reducida a 10-15 años), (2) Inyecciones estructurales (lechada cal/mortero hidráulico) susceptibles reactivación por humedad, (3) Acabados interiores: pinturas murales cúpulas (pendientes restauración según custodio) = inversión futura comprometida antes de ejecutarse, (4) Elementos decorativos barrocos, (5) Eflorescencias recurrentes, (6) Requiere impermeabilización integral completa nuevamente antes de cumplir vida útil esperada sistema 2019. Pérdida severa inversión + compromiso estructural.
C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Impermeabilización 2019 aplicada en totalidad sistema cubiertas: (1) Cúpula central completa (16m diámetro), (2) Linterna superior (6m), (3) Cupulines elípticos con linterna, (4) Cupulines media naranja deambulatorio, (5) Sistema tejuelo reemplazado completamente (Grayman 10x10cm). Falla afecta 100% área impermeabilizada. Sin embargo, manifestaciones 2026 indican fallas puntuales (~30-40% área estimada “tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente”), que se generalizarán progresivamente años 8-15. Alcance gran parte con tendencia totalidad.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Valoración INPC: 47/50 puntos (criterio sin cambios).
Vulnerabilidad	3 - Alta	Vulnerabilidad comprobada empíricamente: (1) Epobild nivelador falla 7 años = vida útil muy inferior a esperada (diseño típico 15-20 años) = evidencia incompatibilidad o aplicación inadecuada, (2) Condiciones ambientales extremas: radiación UV intensa 2,754 msnm + ciclos térmicos >15°C día-noche aceleran degradación polímeros impermeabilizantes exponencialmente, (3) Geometría compleja cúpula elíptica + “cúpula muy grande” dificulta aplicación uniforme = zonas aplicación deficiente confirmadas 2026, (4) Tejuelo Grayman nuevo sin historial largo plazo = comportamiento adherencia-impermeabilización incierto, (5) Interfaces críticas linterna-cúpula sin solución efectiva documentada.
Exposición	4 - Muy Alta	Régimen pluvial 800-1,200mm anuales constante + eventos extremos >60mm/24h incrementando (cambio climático). Exposición directa sin protección altura 36m. Radiación solar intensa ecuatorial + altitud = degradación UV acelerada impermeabilizantes orgánicos. Orientación elíptica capta agua eficientemente. Vientos andinos incrementan penetración humedad por capilaridad. Condiciones más agresivas que diseño estándar impermeabilizantes.

CA (Control Actual)	3 - Controles Adecuados	Inspección regular desde la intervención. Sin controles específicos impermeabilización: (1) Sin monitoreo instrumental humedad (sensores HR, termografía infrarroja periódica), (2) Sin inspección técnica especializada impermeabilización (solo visual custodio), (3) Sin protocolo evaluación post-eventos pluviales extremos, (4) Sin análisis periódico estado Epobild (adhesión, agrietamiento, desprendimientos), (5) Sin plan mantenimiento preventivo impermeabilizantes (reaplicación selectiva, sellados). Evidencia 2026: problema reaparece sin detección técnica temprana = controles actuales inefectivos.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-2:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 4) / 2 = **3.5**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (4 × 4 × 4 × 4 × 3.5) / (3 × 25)
MR = 896 / 75 = **11.9**

Tipo de ocurrencia: Evento recurrente
Patrón de activación: Infiltraciones cada época lluviosa (oct-may) con intensidad creciente. Manifestación ya presente 2026 (7 años). Deterioro acelerado proyectado años 8-15. Falla generalizada años 15-20 sin reintervención.

Tabla 17
Evaluación Cuantitativa RE-3: Pérdida Legibilidad Histórica Sistema Constructivo Pionero Único

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	5 - Muy frecuente (anual)	Proceso irreversible ya completado (pérdida legibilidad acumulada desde 1950). Manifestación constante y creciente: cada consulta técnica, cada estudio, cada visita académica, cada futura intervención enfrenta dificultad interpretación. Cada año que transcurre sin documentación diferenciada exhaustiva + sistema interpretación

		aumenta confusión. Testimonio de profesionales: “posiblemente estos mejoramientos... pueden dar temas mucho más decorativos... que no apoye más el componente técnico” = riesgo intervenciones futuras inadecuadas por incomprensión técnica original inminente permanente.
B (Pérdida de Valor)	3 - Pérdida considerable (41-60%)	Afecta: (1) Comprensión técnica constructiva original pionera: piedra pómez tejida con alambre (única en región) progresivamente menos legible, (2) Capacidad transmitir conocimiento tradicional único a generaciones futuras (valor educativo), (3) Interpretación histórica edificio (valor testimonial), (4) Riesgo intervenciones futuras inadecuadas por incomprensión (repetir error baldosa cemento 1950). NO afecta: Integridad estructural física actual, seguridad, funcionalidad inmediata. Pérdida principalmente cultural-educativa-testimonial, pero considerable por carácter único irreemplazable técnica.
C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Afecta: (1) Totalidad sistema cupular: cúpula central + cupulines + linterna (100% superficie intervenida múltiples épocas), (2) Confusión original vs. añadido estimada 70-80% superficies: mampostería original 1883 + hormigón 1950 + impermeabilizaciones 1979-82 + inyecciones 1998-2004, 2014-15 + fibras 2019 + tejuelo reemplazado 2019 = imposible distinguir sin documentación técnica detallada, (3) Dificultad interpretar comportamiento estructural histórico diseñado Hermano Lecanda 1883, (4) Pérdida legibilidad técnica alivianamiento piedra pómez-alambre (sin estudios detallados publicados).
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Valoración INPC: 47/50 puntos. Valor testimonial y educativo sobre técnica constructiva pionera única MUY ALTO. Pérdida legibilidad afecta directamente componente “Técnico Constructivo” (5/5 puntos) de valoración excepcional.
Vulnerabilidad	2 - Media	Procesos invasivos probablemente requeridos (1) Proceso irreversible (intervenciones 1950-2019 no documentadas diferencialmente = imposible revertir), (2) Sin documentación exhaustiva estado pre-intervención 1950 (información histórica perdida), (3) Cinco generaciones intervenciones (1950 + 1979-82 + 1998-2004 + 2014-15 + 2019) aumentan complejidad exponencialmente, (4) Sin sistema señalización/interpretación diferenciada original vs. contemporáneo para visitantes/técnicos, (5) Técnica original pionera sin estudios detallados publicados = conocimiento concentrado en pocos especialistas, susceptible pérdida.
Exposición	2 - Media	Exposición a: (1) Consultas técnicas especializadas frecuentes (mantenimiento, futuras intervenciones), (2) Estudios académicos (investigaciones patrimonio, tesis), (3) Formación profesionales restauración (referente regional), (4) Visitas técnicas institucionales (INPC, universidades). Cada interacción con bien requiere interpretación técnica correcta. Exposición alta pero focalizada (no afecta uso religioso cotidiano comunidad general significativamente).

CA (Control Actual)	2 – Controles básicos	Inspección regular. Sin controles específicos: (1) Sin documentación sistemática diferenciando original de añadido (planos, memorias técnicas detalladas), (2) Sin sistema interpretación técnica para visitantes/especialistas (señalética, material educativo), (3) Sin registro fotográfico/3D exhaustivo estado actual pre-futuras intervenciones, (4) Sin publicación técnica detallada intervención 2019 (memoria técnica no difundida académicamente), (5) Sin plan de comunicación del valor de técnica constructiva original única. Proceso de pérdida de legibilidad continúa sin mitigación.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-3:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (2 + 2) / 2 = **2**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (5 × 3 × 4 × 4 × 2) / (2 × 25)
MR = 480 / 50 = **9.6**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo (irreversible)
Patrón de activación: Manifestación constante y creciente. Cada año sin documentación diferenciada aumenta confusión. Cada futura intervención sin criterios adecuados agrava pérdida.

Tabla 18
Evaluación Cuantitativa RE-4: Dependencia Crítica Mantenimiento Especializado Continuo Programado

Variable	Valor	Justificación Detallada
A (Frecuencia)	4 - Frecuente (cada 1-5 años)	Ciclo histórico documentado evidencia dependencia recurrente: 1950 (35 años post-construcción) → 1979-82 (29-32 años) → 1998-2004 (16-22 años) → 2014-15 (10-11 años) → 2016-19 (2-5 años) → 2026 (7 años): ya requiere reevaluación por humedad = ciclo acelerándose. Efectividad temporal tratamientos comprobada: 7-15 años máximo.

		Sin mantenimiento especializado programado, manifestación problemas (humedad 2026) cada 5-10 años, requiriendo intervenciones reactivas. Frecuencia incrementando por deterioro acumulativo + complejidad sistema mixto.
B (Pérdida de Valor)	4 - Pérdida severa (61-80%)	Falta mantenimiento especializado causaría: (1) Pérdida efectividad TOTALIDAD intervenciones previas: fibras carbono 2019 (adhesión comprometida por humedad) + inyecciones estructurales (reactivación) + impermeabilización (falla demostrada 2026), (2) Reactivación acelerada riesgos históricos en cascada: RH-1 (fisuración), RH-2 (infiltraciones), RH-3 (disgregación) simultáneamente, (3) Necesidad nueva intervención integral mayor (~$300,000-400,000) antes de cumplir vida útil diseño sistema 2019, (4) Deterioro no detectado tempranamente = reparaciones más costosas y extensivas, (5) Potencial fallo prematuro sistema reforzamiento estructural = riesgo seguridad. Pérdida severa por efecto cascada múltiples sistemas.
C (Alcance)	4 - Gran parte (61-80%)	Afecta totalidad sistemas intervenidos: (1) Todas zonas reforzadas fibras carbono/vidrio 2019 (cúpula central + cupulines = 100% sistema cupular), (2) Todas inyecciones estructurales aplicadas (Tipo A + B), (3) Totalidad impermeabilización Epobild 2019, (4) Todas consolidaciones argamasas 2014-19, (5) Sistema drenaje cubiertas, (6) Junta dilatación edificación adyacente. Sistema complejo integrado requiere mantenimiento diferenciado: piedra vs. hormigón vs. fibras vs. impermeabilizantes = expertise múltiple necesario. Afecta 80-90% bien intervenido.
VP (Valor Patrimonial)	4 - Excepcional	Valoración INPC: 47/50 puntos (criterio sin cambios).
Vulnerabilidad	3 - Alta	(1) Tecnologías sofisticadas requieren conocimiento especializado: fibras carbono (aplicación, monitoreo, mantenimiento específico), Epobild (reaplicación periódica), inyecciones (evaluación efectividad), (2) Sistema mixto complejo requiere capacidades técnicas diferenciadas (restaurador + ingeniero estructural + químico materiales), (3) Capacidades locales limitadas mantenimiento especializado documentadas: dependencia expertos externos (Quito, internacionales), (4) Dependencia criterio experto externo sin transferencia conocimiento local = vulnerabilidad institucional, (5) Costo mantenimiento especializado alto para contexto (presupuestos anuales limitados).
Exposición	2 - Media	Riesgo condicionado a factores institucionales: (1) Disponibilidad presupuesto (ciclos anuales, priorización múltiples bienes), (2) Continuidad administrativa (cambios autoridades eclesiásticas/INPC), (3) Acceso especialistas calificados (limitados en región), (4) Voluntad institucional mantenimiento preventivo vs. reactivo. Exposición MEDIA porque evidencia histórica: gestión actual reactiva (espera manifestación problema → intervención), no preventiva, pero con recursos económicos disponibles. Testimonio: “estas intervenciones no se realizan de la noche a la mañana... demoró mucho tiempo”.

CA (Control Actual)	3 - Controles Adecuados	Inspección regular desde la intevención. Sin programa formal: (1) Sin programa mantenimiento especializado quinquenal institucionalizado (no existe documento formal), (2) Sin protocolo reaplicación selectiva impermeabilizantes (zonas críticas cada 5 años), (3) Sin capacitación personal local técnicas especializadas (dependencia continua expertos externos), (4) Sin contrato seguimiento técnico largo plazo especialistas (relación ad-hoc, no estructurada), (5) Sin presupuesto anual específico mantenimiento preventivo patrimonio. Gestión actual 100% reactiva: custodio detecta problema → comunica autoridades → espera decisión-presupuesto → contratación → intervención = ciclo 1-3 años mientras deterioro avanza.

Nota. Escalas utilizadas: A (Frecuencia): 1 = muy raro (≥50 años) a 5 = muy frecuente (anual). B (Pérdida de valor): 1 = mínima (1–20 %) a 5 = total (81–100 %). C (Alcance): 1 = afectación puntual (1–20 %) a 5 = afectación total del elemento (81–100 %). VP (Valor Patrimonial): 1 = básico a 4 = excepcional. CA (Control Actual): 1 = sin controles óptimos a 4 = controles óptimos. Vulnerabilidad: 1 = baja a 4 = muy alta. Exposición: 1 = baja a 4 = muy alta.

Cálculo MR para RE-4:

IS = (Vulnerabilidad + Exposición) / 2 = (3 + 2) / 2 = **2.5**

MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25)
MR = (4 × 4 × 4 × 4 × 2.5) / (3× 25)
MR = 640 / 75 = **8.53**

Tipo de ocurrencia: Proceso acumulativo
Patrón de activación: Deterioro progresivo continuo. Manifestación problemas cada 5-10 años sin mantenimiento (evidencia 2026: humedad 7 años post-intervención). Reactivación cíclica riesgos cuando efectividad intervenciones previas se agota.

3.2. Consolidación en Matriz de Riesgos

Tabla 19

Matriz de Riesgos Integrada - Basílica del Sagrado Corazón de Jesús, Riobamba

ID	Riesgo Identificado	Tipo Ocurrencia	VP	A	B	C	Vuln	Exp	CA	MR
RE-2	Falla efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019	Evento recurrente	4	4	4	4	3	4	3	**11.9**
RE-3	Pérdida de legibilidad histórica de sistema constructivo pionero único	Proceso acumulativo	4	5	3	4	2	2	2	**9.6**
RE-1	Incompatibilidad y concentración de tensiones en sistema mixto mampostería-hormigón-fibras	Evento recurrente	4	3	3	4	2	4	2	**8.6**
RE-4	Dependencia crítica de mantenimiento especializado contínuo programado	Proceso acumulativo	4	4	4	4	3	2	3	**8.5**
RR-1	Fisuración estructural residual	Evento recurrente	4	3	3	3	2	4	2	**6.5**
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Evento recurrente	4	3	3	3	3	4	3	**5.0**
RR-3	Disgregación de argamasas residual	Proceso acumulativo	4	2	2	2	2	3	2	**1.6**

Nota. **VP** = Valor Patrimonial (1-4), **A** = Frecuencia (1-5), **B** = Pérdida de Valor % (1-5), **C** = Alcance/Elementos Afectados (1-5), **Vuln** = Vulnerabilidad (1-4), **Exp** = Exposición (1-4), **CA** = Control Actual (1-4, donde 4 = controles óptimos), **MR** = Magnitud del Riesgo

FASE 4: Priorización y Análisis de Riesgo

4.1. Matriz de Priorización

Tabla 20

Matriz de Priorización de Riesgos según Magnitud y Valor Patrimonial

Código	Riesgo Identificado	MR	Magnitud	VP	Prioridad Final	Tiempo Respuesta
RE-2	Falla efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019	11.9	MEDIA	4 (Excepcional)	MEDIA	Largo plazo (1-2 años)

RE-3	Pérdida de legibilidad histórica de sistema constructivo pionero único	9.6	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-1	Incompatibilidad y concentración de tensiones en sistema mixto mampostería-hormigón-fibras	8.6	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RE-4	Dependencia crítica de mantenimiento especializado contínuo programado	8.5	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RR-1	Fisuración estructural residual	6.5	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RR-2	Infiltraciones residuales menores	5.0	BAJA	4 (Excepcional)	MEDIA-BAJA	Largo plazo (2-5 años)
RR-3	Disgregación de argamasas residual	1.6	BAJA	4 (Excepcional)	BAJA	Monitoreo continuo

Nota. **Criterios de clasificación de magnitud**: **MR < 10:** Riesgo BAJO, **10 ≤ MR < 30:** Riesgo MEDIO, **30 ≤ MR < 60:** Riesgo ALTO, **MR ≥ 60:** Riesgo CRÍTICO

4.2. Tipos de Ocurrencia y Requerimientos de Seguimiento

Tabla 21

Requerimientos de Seguimiento por Tipo de Ocurrencia

Código	Riesgo	Tipo Ocurrencia	Patrón Activación	Requerimientos Seguimiento
RE-2	Falla efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019	Evento recurrente	Infiltraciones cada época lluviosa (oct-may) con intensidad creciente. Manifestación ya presente 2026 (7 años post-intervención). Deterioro acelerado proyectado años 8-15	URGENTE: • Evaluación técnica especializada estado impermeabilización Epobild (adhesión, agrietamiento, desprendimientos) • Termografía infrarroja identificación zonas infiltración activa • Protocolo inspección post-eventos pluviales >60mm/24h • Monitoreo instrumental humedad (sensores HR intradós cúpula) • Plan re aplicación selectiva de impermeabilizante en zonas críticas

				• Análisis costo-beneficio impermeabilización integral vs. reparaciones puntuales
RE-4	Dependencia crítica de mantenimiento especializado contínuo programado	Proceso acumulativo	Deterioro progresivo continuo. Manifestación problemas cada 5-10 años sin mantenimiento (evidencia 2026: humedad 7 años post-intervención)	PRIORITARIO: • Elaboración programa mantenimiento preventivo quinquenal formalizado • Protocolo inspección especializada anual (restaurador + ingeniero estructural) • Capacitación personal local (custodio + equipo mantenimiento colegio) • Contrato seguimiento técnico largo plazo (5 años) con especialistas intervención 2019 • Presupuesto anual específico mantenimiento preventivo (~$5,000-10,000/año) • Manual procedimientos mantenimiento fibras carbono, impermeabilización, inyecciones
RE-3	Pérdida de legibilidad histórica de sistema constructivo pionero único	Proceso acumulativo (irreversible)	Manifestación constante y creciente. Cada año sin documentación diferenciada aumenta confusión	NECESARIO: • Documentación exhaustiva diferenciada estado actual (fotografía sistemática 1,000+ imágenes, escaneo 3D nube puntos) • Planimetría detallada identificando materiales/épocas (original 1883 vs. 1950 vs. 1979-82 vs. 2019) • Investigación histórica archivo fotografías/planos pre-intervenciones • Sistema interpretación técnica (señalización diferenciada para visitas especializadas) • Publicación técnica arbitrada intervención 2019 (difusión académica) • Material educativo técnica constructiva pionera piedra pómez-alambre

RE-1	Incompatibilidad y concentración de tensiones en sistema mixto mampostería-hormigón-fibras	Evento recurrente	Eventos sísmicos ≥5.0 Mw cada 5-8 años (estimado). Cada evento prueba sistema mixto no modelado	RECOMENDABLE: • Modelamiento estructural FEM comportamiento sistema mixto (mampostería + hormigón + fibras carbono) • Análisis elementos finitos interfaces materiales heterogéneos • Caracterización mecánica materiales (ensayos laboratorio: módulos elasticidad, resistencias) • Protocolo evaluación post-sísmica especializado (inspección interfaces 24-72h post-evento ≥5.0 Mw) • Monitoreo instrumental deformaciones (6-8 sensores puntos críticos interfaces) • Análisis dinámico modal sistema integrado
RR-1	Fisuración estructural residual	Evento recurrente	Sismos ≥6.0 Mw cada 50-70 años (histórico: 1949, 2016). Sismos ≥5.0 Mw cada 5-8 años pueden reactivar fisuras tratadas	SEGUIMIENTO: • Instalación 6-8 fisurómetros puntos críticos (interfaces refuerzo-mampostería, uniones tambor-cúpula, zona no reforzada control) • Lectura semestral fisurómetros (octubre pre-lluvias, mayo post-lluvias) • Protocolo inspección post-sísmica (evaluación 24-72h post-evento ≥5.0 Mw) • Análisis tendencias apertura fisuras (correlación eventos sísmicos IGEPN) • Inspección especializada interfaces fibras carbono-mampostería (ultrasonido, termografía) cada 3 años
RR-2	Infiltraciones residuales menores	Evento recurrente	Eventos precipitación intensa época lluviosa (oct-may). Manifestación visible 7 años post-intervención, intensidad creciente	SEGUIMIENTO: • Inspección pre-época lluviosa sistema drenaje cubiertas (septiembre anual) • Limpieza canales/bajantes, verificación tejuelo Grayman (octubre)

				• Análisis post-eventos pluviales >60mm/24h (inspección intradós 48h después) • Registro fotográfico comparativo zonas humedad (mismo punto, mensual época lluviosa) • Mapeo zonas infiltración recurrente • Evaluación necesidad re aplicación impermeabilizante selectiva anual
RR-3	Disgregación de argamasas residual	Proceso acumulativo	Deterioro lento continuo (manifestación visible cada 20-30 años en zonas no tratadas)	MONITOREO: • Inspección visual anual superficies consolidadas (recorrido sistemático) • Fotografías comparativas zonas específicas (20 puntos control) • Evaluación efectividad consolidación 2014-19 (quinquenal: 2024, 2029, 2034) • Ensayos dureza/cohesión superficial (martillo Schmidt, cada 5 años) • Protocolo re aplicación consolidante zonas deterioro detectado

4.3. Análisis de Riesgos

4.3.1. Hallazgos Principales

a. Efectividad diferenciada de intervención 2019:

- **Éxito estructural significativo**: RR-1 (Fisuración) con MR = 6.5 (bajo) indica que reforzamiento fibras carbono + inyecciones estructurales cumplió objetivo primario de estabilización estructural. Reducción 70-80% respecto riesgo histórico RH-1.

- **Fallo prematuro impermeabilización**: RE-2 (MR = 11.9, **único riesgo MEDIO**) evidencia que impermeabilización Epobild 2019 presenta **fallas solo 7 años después** (vida útil muy inferior a esperada 15-20 años). Testimonio custodio 2026 confirma: "existe todavía quizás una pequeña filtración del agua".

- **Brecha crítica**: Mientras reforzamiento estructural funciona adecuadamente, sistema de impermeabilización falla prematuramente, **comprometiendo durabilidad del reforzamiento mismo** (humedad afecta adhesión fibras carbono).

- **Patrón identificado**: Intervención 2019 resolvió problema estructural agudo (fisuras >5cm) pero no logró solución durable problema crónico (infiltraciones desde 1935).

b. Valor patrimonial excepcional eleva todas las prioridades:

- VP = 4 (Excepcional, 47/50 puntos INPC) en **todos** los riesgos por características únicas:

    - Única iglesia circular en Ecuador (tipológico)

    - Técnica constructiva pionera piedra pómez-alambre irreemplazable (técnico)

    - Conexión identidad nacional Consagración República 1874 (histórico-simbólico)

- **Implicación**: Incluso riesgos con MR bajo (1.6-9.6) adquieren prioridad MEDIA-BAJA mínima (no "baja" simple). La irreemplazabilidad justifica gestión preventiva exhaustiva.

- **Criterio diferenciado**: En bien patrimonial corriente (VP=2-3), MR=6.5 sería prioridad baja. En VP=4 excepcional, MR=6.5 es prioridad MEDIA-BAJA con seguimiento estructurado necesario.

c. Riesgos emergentes dominan perfil actual:

- **4 de 7 riesgos actuales son emergentes** (RE-1, RE-2, RE-3, RE-4) derivados de intervenciones, no de deterioro natural.

- **Los 4 riesgos MR más altos son emergentes**: RE-2 (11.9), RE-3 (9.6), RE-1 (8.6), RE-4 (8.5).
- **Patrón preocupante**: Intervenciones 1950-2019, aunque necesarias, generan nuevos riesgos complejos que requieren gestión especializada continua:
    - RE-1: Sistema mixto sin modelamiento
    - RE-2: Impermeabilización vida útil limitada
    - RE-3: Pérdida legibilidad técnica original
    - RE-4: Dependencia mantenimiento especializado
- **Implicación filosófica**: Conservación moderna genera dependencia perpetua de expertise técnico y recursos. Bien patrimonial transita de autonomía histórica (funcionó 67 años 1883-1950 sin intervenciones mayores) a dependencia contemporánea (requiere intervenciones cada 5-10 años).

d. Único riesgo MEDIO requiere acción urgente:

- **RE-2 (MR=11.9)** es el único riesgo que alcanza categoría MEDIA (10-29).
- **Evidencia objetiva 2026** (humedad 7 años post-intervención) + proyección deterioro acelerado años 8-15 justifican prioridad ALTA con tiempo respuesta CORTO (6-12 meses).
- **Efecto cascada crítico**: Un fallo en la impermeabilización genera infiltraciones, así como compromete el sistema reforzamiento estructural 2019 completo (~$360,000 inversión):
    - Humedad crónica afecta adhesión fibras carbono/vidrio al sustrato
    - Inyecciones estructurales (lechada cal, mortero hidráulico) susceptibles de reactivación.
    - Vida útil diseño reforzamiento (>50 años) se reduce a 10-15 años
- **Decisión técnica urgente requerida**: Evaluar si re-aplicación selectiva de impermeabilizante en zonas críticas es suficiente, o si se requiere impermeabilización integral completa nuevamente (costo ~$50,000-80,000).

e. Gestión preventiva vs. reactiva es determinante:

- **Perfil actual general**: Ningún riesgo alcanza MR ≥ 30 (alto) o ≥ 60 (crítico) = **perfil controlado** que permite planificación mediano-largo plazo.

- **EXCEPCIÓN CRÍTICA**: RE-2 (impermeabilización) requiere respuesta corto plazo por evidencia deterioro activo 2026.
- **Énfasis recomendado**:
    - **Correctiva urgente**: RE-2 (impermeabilización, 6-12 meses)
    - **Preventiva estructurada**: RE-4 (programa mantenimiento, 1-2 años) + RE-1 (modelamiento estructural, 1-2 años) + RE-3 (documentación, 1-2 años)
    - **Monitoreo sistemático**: RR-1, RR-2, RR-3 (largo plazo, 2-5 años)
- **Ventaja actual**: Intervención estructural 2019 reciente y efectiva da "ventana de oportunidad" 5-10 años para implementar gestión preventiva **antes** que problemas estructurales reaparezcan.

f. Tipos de ocurrencia condicionan estrategias:

Eventos recurrentes (RE-2, RR-1, RR-2, RE-1):

- Requieren protocolos respuesta específicos post-eventos (lluvias intensas, sismos)
- Monitoreo activado por evento desencadenante
- Evaluaciones programadas según periodicidad histórica

Procesos acumulativos (RE-4, RE-3, RR-3):

- Requieren análisis tendencias largo plazo
- Evaluaciones periódicas especializadas (anuales, quinquenales)
- Detección temprana cambios graduales mediante comparación histórica
- Intervención antes que manifestación se vuelva crítica

4.3.2. Sugerencias de Priorización-Acción

Tabla 22
Matriz de Priorización - Acción

#	Código	Riesgo	MR	Acción Principal	Justificación Prioridad
1	RE-2	Falla efectividad y vida útil limitada de impermeabilización 2019	11.9	Evaluación técnica especializada urgente + re aplicación selectiva impermeabilizante en zonas críticas	• **Único riesgo MEDIO** (MR=11.9) • **Evidencia objetiva 2026**: humedad reaparece solo 7 años post-intervención • **Efecto cascada crítico**: compromete durabilidad reforzamiento estructural 2019 • **Deterioro activo documentado**: requiere respuesta URGENTE (6-12 meses) • **Testimonio custodio confirma**: "tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente" • Alcance gran parte (61-80%) + vulnerabilidad muy alta comprobada
2	RE-4	Dependencia crítica de mantenimiento especializado contínuo programado	8.5	Elaboración programa mantenimiento preventivo quinquenal + capacitación personal local + contrato seguimiento especialistas	• **MR cuarto más alto** (8.5) • **Riesgo transversal crítico**: afecta efectividad TODAS intervenciones • **Ciclo histórico acelerándose**: 1950→1979-82(29a)→1998-2004(16a)→2014-15(10a)→2019(5a)→2026(7a ya requiere atención) • **Evidencia 2026 confirma**: sin mantenimiento, problemas reaparecen ciclo 5-10 años • **Cambio paradigma necesario**: gestión reactiva → preventiva programada • Alcance gran parte (80-90% bien intervenido)
3	RE-3	Pérdida de legibilidad histórica de sistema constructivo pionero único	9.6	Documentación exhaustiva diferenciada + publicación técnica intervención 2019 + sistema interpretación	• **MR segundo más alto** (9.6) • **Proceso irreversible en curso**: cada año sin documentación aumenta confusión

					• **Técnica constructiva pionera única** (piedra pómez-alambre) progresivamente menos legible • **Oportunidad única**: documentar estado post-intervención 2019 ANTES de futuras intervenciones • **Valor testimonial-educativo alto**: confusión 70-80% superficies compromete transmisión conocimiento • **Riesgo intervenciones futuras inadecuadas** por incomprensión técnica original
4	RE-1	Incompatibilidad y concentración de tensiones en sistema mixto mampostería-hormigón-fibras	8.6	Modelamiento estructural FEM + análisis interfaces + monitoreo instrumental deformaciones	• **MR tercero más alto** (8.6) • **"Sin modelamiento estructural comportamiento integrado"**: limitación crítica documentada profesionales • **Comportamiento real ante sismos INCIERTO**: sistema mixto 4 generaciones no validado • **Vulnerabilidad muy alta** (4/4): módulos elasticidad diferencias 5-15x (piedra pómez vs. fibras carbono) • **Próximo sismo ≥5.0 Mw** (cada 5-8 años) probará sistema sin conocer puntos falla • **Base técnica necesaria** para futuras intervenciones + protocolo post-sísmico
5	RR-1	Fisuración estructural residual	6.5	Instalación fisurómetros + protocolo post-sísmico + análisis tendencias	• Reforzamiento 2019 efectivo (reducción 70-80% riesgo original) • **Validación empírica necesaria**: fisurómetros confirmarán estabilidad reforzamiento • **Zona V (PGA=0.40g) permanente**: eventos ≥5.0 Mw cada 5-8 años requieren monitoreo • **Datos base para RE-1**: tendencias fisuras alimentan modelamiento estructural

Tabla 23
Plan de Acción RE-2: Falla Efectividad Impermeabilización 2019

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Inmediato (1-3 meses)	**A. Evaluación técnica especializada estado impermeabilización:** • Inspección detallada Epobild nivelador (adhesión, agrietamiento, desprendimientos) • Termografía infrarroja identificación zonas infiltración activa • Mapeo preciso zonas humedad intradós (correlación con fallas extradós) • Ensayos adhesión impermeabilizante (pull-off test) zonas críticas • Análisis causas falla prematura (7 años vs. 15-20 esperados) **B. Decisión técnica urgente:** • Evaluación si re aplicación selectiva suficiente vs. Integral • Cronograma ejecución (época seca feb-sept 2027)	Restaurador especializado + Ing. Manosalvas (responsable estudio 2016) + INPC + Comunidad Jesuita	• Informe técnico estado impermeabilización (fotografías, termografías, ensayos) • Mapeo zonas falla • Propuesta técnica intervención (selectiva/integral) • Presupuesto detallado • Cronograma
Corto (4-12 meses)	**A. Ejecución intervención impermeabilización:** • Re aplicación Epobild (u otro impermeabilizante compatible superior) zonas críticas identificadas • Atención especial interfaces linterna-cúpula, cúpula-tambor • Mejora sistema drenaje puntos acumulación • Fiscalización técnica INPC especializada **B. Implementación monitoreo:**	Contratista especializado impermeabilizaciones patrimoniales + INPC fiscalización + Custodio seguimiento	• Impermeabilización ejecutada • Memoria técnica intervención • Sistema monitoreo HR instalado • Línea base datos (pre-época lluviosa 2027) • Protocolo inspección

	• Instalación 6-8 sensores HR/temperatura intradós cúpula (zonas históricamente húmedas) • Sistema datalogger registro continuo (lectura remota) • Protocolo inspección post-eventos >60mm/24h		
Mediano (1-3 años)	**A. Evaluación efectividad intervención:** • Análisis datos sensores HR 2 épocas lluviosas (2027, 2028) • Comparación humedad pre/post intervención • Inspecciones intradós post-lluvias intensas • Termografías comparativas anuales **B. Ajustes necesarios:** • Re aplicación puntual zonas persista infiltración • Optimización sistema drenaje según datos reales	INPC + especialista + custodio	• Reportes evaluación anual • Base datos histórica HR • Ajustes ejecutados • Validación efectividad
Largo (3-5 años)	**A. Programa mantenimiento impermeabilización:** • Inspección técnica especializada cada 3 años • Re aplicación preventiva selectiva cada 5 años (antes de fallas) • Integración con programa mantenimiento general (RE-4) **B. Lecciones aprendidas:** • Análisis vida útil real Epobild en condiciones Riobamba (altitud, UV, térmico) • Recomendaciones impermeabilizantes futuros • Publicación técnica resultados	INPC + comunidad jesuita	• Programa mantenimiento formalizado • Documento lecciones aprendidas • Artículo técnico

Tabla 24

Plan de Acción RE-4: Dependencia Mantenimiento Especializado

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Elaboración Programa Mantenimiento Preventivo Quinquenal:** • Protocolo inspección anual especializada (restaurador + ing. estructural): checklist fibras carbono, inyecciones, impermeabilización, argamasas • Protocolo inspección trimestral custodio: checklist básico detección temprana • Cronograma intervenciones programadas: re aplicación impermeabilizante selectiva (cada 5 años), evaluación fibras carbono (cada 3 años), consolidación argamasas zonas nuevas (según necesidad) **B. Capacitación Personal Local (3 módulos):** • Módulo 1 (8h): Inspección visual especializada cúpulas (custodio + equipo mantenimiento colegio) • Módulo 2 (4h): Detección temprana patologías (humedad, fisuras, desprendimientos) • Módulo 3 (4h): Protocolo comunicación urgencias + registro fotográfico sistemático	INPC + especialista intervención 2019 + comunidad jesuita + custodio	• Programa mantenimiento quinquenal formal (documento institucional) • Manual procedimientos inspección (ilustrado, lenguaje claro) • Personal local capacitado (certificados) • Responsable técnico designado
Mediano (1-2 años)	**A. Contrato Seguimiento Técnico Especialistas (5 años renovables):** • Visitas semestrales especialista (inspección técnica + asesoría) • Disponibilidad consultas remotas (email, videollamada) • Evaluaciones especializadas programadas (fibras carbono año 3, impermeabilización año 5) • Asesoría intervenciones correctivas necesarias **B. Implementación Programa:**	Comunidad jesuita (contratante) + INPC (técnico) + especialistas (ejecutores)	• Contrato formalizado 5 años • Registro inspecciones (fotografías, formatos) • Intervenciones preventivas ejecutadas • Partida presupuestaria aprobada • Fondo contingencia establecido

	• Ejecución inspecciones anuales especializadas (años 1, 2) • Inspecciones trimestrales custodio (registro sistemático) • Primeras intervenciones preventivas programadas según cronograma **C. Presupuesto Institucionalizado:** • Inclusión partida presupuestaria específica mantenimiento preventivo patrimonio (comunidad jesuita + INPC + municipio) • Fondo contingencia emergencias		
Largo (3-5 años)	**A. Evaluación Efectividad Programa:** • Análisis comparativo estado bien años 1 vs. 5 • Evaluación costo-beneficio: mantenimiento preventivo vs. intervenciones reactivas históricas • Identificación ajustes necesarios protocolos **B. Fortalecimiento Autonomía Local:** • Capacitación avanzada personal destacado • Transferencia progresiva conocimiento especializado • Red apoyo con otras iglesias patrimoniales región **C. Modelo Replicable:** • Sistematización experiencia Riobamba • Adaptación programa otras iglesias Chimborazo • Publicación guía práctica mantenimiento preventivo cúpulas	INPC + comunidad jesuita + municipio	• Evaluación programa (informe) • Protocolos optimizados • Capacidades locales fortalecidas • Modelo replicable documentado • Guía práctica publicada

Tabla 25
Plan de Acción RE-3: Pérdida Legibilidad Histórica

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Documentación Exhaustiva Estado Actual:** • Fotografía sistemática alta resolución (1,500+ imágenes): extradós cúpula completo, intradós, detalles constructivos, interfaces • Escaneo 3D láser nube puntos (precisión milimétrica): geometría completa cúpula + cupulines + linterna • Planimetría digital diferenciada materiales/épocas: plantas, secciones, alzados identificando original 1883 / hormigón 1950 / 1979-82 / fibras 2019 / tejuelo 2019 • Fichas técnicas intervenciones: sistematización información dispersa **B. Investigación Histórica:** • Búsqueda fotografías/planos pre-intervenciones (archivos INPC, municipio, comunidad jesuita, colecciones privadas) • Entrevistas testimoniales: profesionales intervención 2019 (Arq. Villacís, Ing. Lincango, Restaurador Guaña) - ampliar información • Revisión bibliográfica técnica construcción 1883-1915	Topógrafo especializado + fotógrafo arquitectónico + historiador + archivista	• Archivo fotográfico digital organizado (metadatos) • Modelo 3D nube puntos • Planos CAD diferenciados (original/intervenciones) • Informe investigación histórica • Entrevistas transcritas expandidas
Mediano (1-2 años)	**A. Sistema Interpretación Técnica:** • Señalización diferenciada visitas técnicas especializadas (códigos color: azul=original 1883, rojo=1950, verde=2019, etc.) • Material educativo técnica constructiva pionera: folleto técnico ilustrado “Piedra pómez tejida con alambre: técnica única Basílica Riobamba”, video documental 20min proceso constructivo histórico + intervenciones • Maqueta didáctica sección constructiva (escala 1:20) mostrando capas: piedra pómez-alambre + nervios hormigón cal + anillo 1950 + fibras carbono 2019	INPC + diseñador gráfico + educador patrimonial + profesionales intervención 2019 (autores)	• Señalización instalada • Folleto técnico (500 ejemplares) • Video documental • Maqueta didáctica • Guía visitantes • Artículo publicado • Memoria técnica archivada

	• Guía interpretativa visitantes generales (lenguaje divulgativo) **B. Publicación Técnica Arbitrada:** • Artículo científico intervención 2019: revista indexada patrimonio/restauración • Memoria técnica exhaustiva intervención 2019 (si no existe): sistematización completa para archivo INPC • Capítulo libro técnicas constructivas históricas Ecuador		
Largo (3-5 años)	**A. Integración Repositorios Institucionales:** • Carga archivo digital completo repositorio INPC (fotografías, planos, 3D, informes) • Metadatos estandarizados búsqueda • Acceso controlado investigadores/profesionales **B. Difusión Académica:** • Presentación congresos patrimonio (nacional/internacional) • Talleres formación profesionales restauración (caso estudio) • Integración currículum universidades (arquitectura, restauración) **C. Protocolo Futuras Intervenciones:** • Lineamiento obligatorio documentación diferenciada intervenciones futuras • Formato estándar registro intervenciones INPC • Asegurar legibilidad perpetua	INPC + comunidad académica + universidades	• Base datos centralizada INPC • Presentaciones congresos • Talleres ejecutados • Material curricular • Protocolo formalizado INPC

Tabla 26
Plan de Acción RE-1: Incompatibilidad Sistema Mixto

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Mediano (1-2 años)	**A. Modelamiento Estructural FEM Sistema Mixto:** • Caracterización mecánica materiales (ensayos laboratorio no destructivos + muestras archivo 2016): - Módulos elasticidad: piedra pómez, mampostería ladrillo, hormigón 1950, hormigón cal nervios - Resistencias compresión/tracción - Coeficientes Poisson • Modelo 3D geometría real (basado en escaneo láser RE-3) • Análisis elementos finitos comportamiento estático (cargas gravitacionales + empujes cúpula) • Análisis dinámico modal (frecuencias propias, modos vibración) • Análisis respuesta sísmica (acelerogramas NEC Zona V, PGA=0.40g) • Identificación puntos críticos concentración tensiones interfaces	Ingeniero estructural especializado estructuras patrimoniales + laboratorio ensayos materiales + universidad (tesis maestría/doctorado posible)	• Informe caracterización materiales • Modelo FEM validado • Análisis estático (tensiones, deformaciones) • Análisis dinámico (modos, períodos) • Análisis sísmico (desplazamientos, aceleraciones) • Mapeo puntos críticos • Recomendaciones técnicas
Mediano-Largo (2-3 años)	**A. Monitoreo Instrumental Deformaciones:** • Instalación 6-8 sensores deformación puntos críticos identificados FEM: - 2 interfaces mampostería-anillo hormigón 1950 - 2 interfaces hormigón-fibras carbono 2019 - 2 uniones tambor-cúpula (concentración cargas) - 2 zonas control (sin interfaces) • Sistema datalogger registro continuo + trigger sísmico (registro acelerado durante eventos) • Línea base deformaciones (12 meses sin eventos sísmicos significativos)	Ingeniero estructural + empresa monitoreo instrumental + INPC + custodio (primera respuesta)	• Sistema monitoreo instalado • Línea base deformaciones • Protocolo post-sísmico formalizado • Manual inspección interfaces • Equipo entrenado

	B. Protocolo Evaluación Post-Sísmica Especializado: • Activación automática inspección tras sismo ≥5.0 Mw radio 100km • Checklist inspección interfaces (24-72h post-evento): fisuras nuevas, desplazamientos, desprendimientos fibras • Análisis datos sensores evento (comparación con modelo FEM) • Decisión necesidad intervención correctiva		
Largo (3-5 años)	**A. Validación Empírica Modelo FEM:** • Correlación deformaciones reales (sensores) vs. predicciones modelo • Ajuste parámetros modelo según datos empíricos • Análisis eventos sísmicos reales registrados (si ocurrieron) **B. Actualización Conocimiento:** • Modelo FEM validado como herramienta predictiva confiable • Recomendaciones intervenciones futuras basadas en modelo • Publicación científica resultados	Ingeniero estructural + INPC	• Modelo FEM validado empíricamente • Informe correlación • Recomendaciones actualizadas • Artículo científico

Tabla 27

Plan de Acción RR-1: Fisuración Estructural Residual

Plazo	Acciones Clave	Responsable	Productos Entregables
Corto (6-12 meses)	**A. Instalación Fisurómetros:** • Selección 6-8 puntos críticos fisuras históricas tratadas 2019: - 3 interfaces fibras carbono-mampostería (nervios convergentes) - 2 uniones tambor-cúpula octogonal - 1 zona no reforzada (control) - 2 fisuras inyectadas significativas	Técnico instrumentación + ingeniero estructural + custodio (lecturas rutinarias)	• Fisurómetros instalados • Línea base mediciones • Protocolo post-sísmico • Manual lectura fisurómetros • Registro fotográfico

	• Fisurómetros removibles digitales (precisión 0.01mm) • Marcación permanente puntos medición • Línea base mediciones (lecturas semanales primer mes, mensuales después) • Fotografía detallada cada punto (documentación estado inicial) **B. Protocolo Inspección Post-Sísmica:** • Activación inspección tras sismo ≥5.0 Mw • Checklist interfaces refuerzo (24-72h): fisuras nuevas, desprendimientos fibras, deformaciones • Lectura inmediata fisurómetros post-evento • Inspección ultrasonido adhesión fibras (si evento ≥6.0 Mw)		
Mediano (1-3 años)	**A. Monitoreo Sistemático:** • Lectura semestral fisurómetros (octubre pre-lluvias, mayo post-lluvias) • Lectura post-eventos sísmicos ≥5.0 Mw (protocolo activado) • Correlación datos sísmicos IGEPN (magnitud, distancia epicentro, profundidad) • Base datos histórica evolución fisuras **B. Análisis Tendencias:** • Gráficos evolución temporal cada fisura • Identificación fisuras activas vs. Estabilizadas • Correlación apertura fisuras – eventos sísmicos • Evaluación efectividad reforzamiento 2019 (validación empírica)	Ingeniero estructural + custodio (lecturas) + IGEPN (datos sísmicos)	• Base datos histórica • Análisis tendencias (reportes semestrales) • Gráficos evolución • Correlaciones estadísticas
Largo (3-5 años)	**A. Evaluación Integral Efectividad Reforzamiento:** • Análisis estadístico 3-5 años datos • Evaluación comportamiento interfaces fibras-mampostería • Decisión necesidad reforzamiento adicional (si fisuras progresan) • Validación vida útil reforzamiento 2019 **B. Integración con RE-1:**	Ingeniero estructural + INPC	• Estudio estadístico • Evaluación efectividad • Recomendaciones técnicas • Modelo FEM validado

- Correlación datos fisurómetros (RR-1) con modelo FEM (RE-1)
- Validación predicciones modelo con comportamiento real
- Retroalimentación para optimización modelo

4.3.3. Monitoreo Rutinario

Tabla 28
Actividades Monitoreo Rutinario

Riesgo	Frecuencia	Actividades Clave	Indicadores Alerta	Responsable
RE-2 Infiltraciones (impermeabilización)	Mensual época lluviosa (oct-may) Post-eventos >60mm/24h (48h después)	• Recorrido intradós cúpula zonas históricamente húmedas • Registro fotográfico comparativo mensual (mismos puntos) • Inspección extradós post-lluvias intensas • Lectura sensores HR (si instalados según Plan RE-2) • Limpieza canales/bajantes (septiembre anual)	• **CRÍTICO**: Manchas humedad nuevas o expansión manchas existentes • Goteras activas durante/post-lluvia • Eflorescencias salinas nuevas • Datos sensores HR >80% persistente • Desprendimientos tejuelo Grayman	Custodio (observación visual) + especialista (evaluación técnica trimestral época lluviosa)
RR-2 Infiltraciones residuales menores	Pre-época lluviosa anual **(septiembre)** Post-lluvias intensas	• Inspección sistema drenaje cubiertas completo • Limpieza canales, bajantes, desagües • Verificación estado tejuelo (desprendimientos, roturas) • Mapeo zonas infiltración recurrente	• Obstrucciones recurrentes drenaje • Tejuelo deteriorado/desprendido • Humedad persistente mismas zonas • Aumento intensidad infiltraciones	Custodio + equipo mantenimiento colegio (limpieza) + especialista (evaluación anual)

		• Fotografías comparativas anuales		
RR-3 Disgregación argamasas residual	Anual (visual general) Quinquenal (especializada)	• Recorrido sistemático superficies consolidadas 2014-19 • Fotografías comparativas 20 puntos control fijos • Detección desprendimientos, pérdida cohesión • Evaluación quinquenal efectividad consolidación (ensayos dureza martillo Schmidt no destructivo, año 5, 10, 15)	• Reaparición "caída de arena" (disgregación activa) • Cambios textura superficial visible • Pérdida dureza ensayos (reducción >20%) • Desprendimientos argamasa localizados	Custodio (anual visual) + restaurador especializado (quinquenal técnica)
RR-1 Fisuración estructural	Semestral (oct, may) Post-sísmica (≥5.0 Mw)	• Lectura fisurómetros 6-8 puntos (según Plan RR-1) • Inspección visual fisuras históricas • Fotografía comparativa detallada • Activación protocolo post-sísmico si evento ≥5.0 Mw	• Apertura fisuras >0.5mm respecto línea base • Fisuras nuevas (no existentes 2019) • Desprendimientos fibras carbono/vidrio • Deformaciones visibles	Custodio (lectura fisurómetros capacitado) + ingeniero estructural (evaluación semestral + post-sísmica)
RE-4 Dependencia mantenimiento	Trimestral (custodio) Semestral (especialista)	• Inspección general estado bien (checklist básico custodio capacitado) • Visita especialista semestral (evaluación técnica + asesoría) • Registro sistemático observaciones (formato estándar) • Ejecución intervenciones preventivas programadas según cronograma quinquenal	• Deterioros no detectados oportunamente • Falta registro inspecciones (discontinuidad) • Intervenciones preventivas programadas no ejecutadas (retraso >6 meses) • Problemas detectados sin comunicación oportuna	Custodio (trimestral básico) + especialista contrato seguimiento (semestral técnico) + INPC (supervisión anual)

FASE 5. Nivel de Confianza y Limitaciones del Estudio

5.1. Nivel de Confianza

Nivel de confianza general: MEDIO-ALTO (80%)

Tabla 29
Fundamentos del Nivel de Confianza

Componente Evaluado	Nivel Confianza	Fundamento	Fuentes
Intervenciones documentadas	95%	Documentación exhaustiva intervención 2016-2019: estudios integrales Ing. Nora Manosalvas, análisis estructural detallado Ing. Washington Lincango (octubre 2016), caracterización de materiales (núcleos muros, suelos, conformación cúpulas/losetas), especificaciones técnicas reforzamiento (fibras carbono CARBOWRAP 600 CFRP, fibras vidrio EPOWRAP 200 B-D, inyecciones Tipo A y B), fiscalización INPC completa. Entrevistas detalladas profesionales intervinientes: Arq. Diego Villacís (director técnico proyecto), Restaurador Alexander Guaña (fiscalizador patrimonial). Información verificable, trazable, técnicamente rigurosa.	• Estudio integral 2016 (Manosalvas + Lincango) • Informes técnicos INPC • Entrevistas profesionales (transcritas completas PDF) • Especificaciones técnicas materiales • Memoria técnica intervención
Levantamiento campo	80%	Inspección visual documentada 2026: detección rastros humedad intradós cúpula (evidencia directa crítica). Testimonio custodio Víctor Hugo Chiluisa (2026): “existe todavía quizás una pequeña filtración del agua, porque generalmente es una cúpula muy grande y tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente” = confirmación objetiva reaparición infiltraciones 7 años post-intervención 2019. Observación patologías históricas documentadas reportes previos (1998-2004, 2014-2015). Registro fotográfico archivo INPC disponible. LIMITACIÓN: Accesibilidad restringida zonas altas (linterna 6m, cúspide 36m) sin andamiaje especializado = evaluación interfaces superiores incompleta.	• Inspección visual 2026 • Entrevista custodio (testimonio directo) • Archivo fotográfico INPC • Reportes intervenciones previas

Diagnósticos estructurales	90%	Análisis estructural especializado 2016 (Ing. Lincango): estudios suelos, núcleos muros portantes, núcleos conformación cúpulas, análisis cargas (gravitacionales + horizontales), modelación hipótesis, determinación causas patológicas, propuesta de reforzamiento fundamentada. Caracterización de materiales: dimensionamientos espesor cúpula (~13cm), cupulines, nervios (~20cm), bases muros (1.00-1.20m). Identificación lesiones estructurales: grietas >5cm, desprendimientos, agrietamientos. LIMITACIÓN: Sin modelamiento estructural FEM completo sistema mixto post-reforzamiento (limitación reconocida profesionales: "sin modelamiento estructural del comportamiento integrado").	• Informe estructural Ing. Lincango 2016 • Ensayos materiales • Análisis cargas • Criterio técnico especializado
Valoración patrimonial	100%	Valoración completa basada en Baremo Instructivo fichas inventario INPC 2024: 47/50 puntos (Excepcional). Desglose documentado: Antigüedad RP1=12/15, Entorno ITHOV=10/10, Histórico-Simbólico VHSC=10/10, Tipológico CIT+CUO=5/5, Estético IE+CF=5/5, Técnico TMT=5/5. Características únicas verificables: única iglesia circular Ecuador (De la Guardia, 2025), técnica pionera piedra pómez-alambre, conexión Consagración República 1874. Valoración objetiva, trazable, fundamentada.	• Tablas valoración PDF Riobamba • Baremo INPC 2024 • Literatura técnica (De la Guardia, Aguirre)
Datos amenazas	90%	Fuentes oficiales verificables: NEC-SE-DS (Zona V, PGA=0.40g), mapas IGEPN (actividad sísmica regional), datos meteorológicos INAMHI (régimen pluvial 800-1,200mm anuales), registros históricos eventos sísmicos documentados (terremoto 1797, sismo Pelileo 1949 "grandes grietas" testimonio custodio, terremoto Pedernales 2016 "contribuyó agrandamiento grietas" testimonio custodio). Contexto urbano observable (tráfico vehicular, contaminación, afluencia religiosa).	• NEC-SE-DS oficial • Mapas IGEPN • Datos INAMHI 30 años • Testimonios eventos históricos • Observación directa
Comportamiento post-intervención 2019	85%	Evidencia objetiva 2026 (7 años post-intervención): reaparición humedad documentada = dato empírico crítico alta confianza. Testimonios profesionales intervinientes sobre efectividad reforzamiento estructural: "se logró el objetivo... reducir impacto de las grietas" (Arq. Villacís), estabilidad estructural observada. LIMITACIÓN: Sin monitoreo instrumental continuo post-2019 (fisurómetros, sensores HR, deformaciones) = evaluación basada en inspección visual + testimonios, no en datos cuantitativos continuos. Tiempo transcurrido moderado (7 años) para evaluación vida útil completa (diseño 50+ años fibras carbono).	• Observación humedad 2026 • Entrevistas profesionales • Inspecciones visuales custodio • Reportes fiscalización INPC

Tabla 30
Factores que Reducen la Confianza

Factor Limitante	Reducción	Impacto en Evaluación
Sin modelamiento estructural FEM sistema mixto completo	5%	**RE-1, RR-1**: Evaluación concentración tensiones interfaces basada en análisis teórico cualitativo (observación patologías + criterio ingeniería) vs. análisis numérico cuantitativo (FEM validado). Imposible predecir con precisión puntos falla críticos bajo carga sísmica. Frecuencia (A) y Alcance (C) en RE-1 son estimaciones conservadoras, no cálculos precisos. Vulnerabilidad RE-1 calificada 4/4 (muy alta) por esta incertidumbre.
Sin monitoreo instrumental continuo post-2019	4%	**RR-1, RR-2, RE-2**: Frecuencias (A) basadas en estadísticas regionales (sismos IGEPN, precipitaciones INAMHI) y extrapolación histórica vs. datos específicos del bien (fisurómetros, sensores HR, deformaciones). Evaluación evolución patologías basada en inspecciones visuales puntuales (discontinuas) vs. registro continuo cuantitativo. Incertidumbre en detección temprana deterioros: problema humedad 2026 detectado por observación casual, no por sistema monitoreo alerta temprana.
Accesibilidad restringida zonas altas sin andamiaje	3%	**RR-2, RE-2**: Evaluación interfaces linterna-cúpula (6m altura), cúspide cruz (40m total), zonas altas intradós incompleta. Imposible inspección detallada sin andamiaje especializado (costo ~$15,000-25,000 instalación temporal). Posibles patologías no detectadas en zonas inaccesibles: desprendimientos fibras carbono zona alta, fallas impermeabilización interfaces superiores, fisuras intradós cúpula alta. Alcance (C) patologías puede estar **subestimado**. Testimonio custodio "cúpula muy grande" sugiere zonas no evaluables rutinariamente.
Sin estudios especializados recientes (termografía, HR continua, georradar)	3%	**RE-2, RR-2**: Evaluación infiltraciones basada en manifestaciones visibles (manchas humedad superficiales) vs. diagnóstico instrumental (termografía identifica humedad oculta, sensores HR cuantifican niveles, georradar mapea vías infiltración internas). Subestimación probable extensión infiltraciones: humedad visible 2026 es "punta iceberg", puede haber humedad interna no visible significativa. Evaluación causas falla impermeabilización (incompatibilidad, aplicación inadecuada, deterioro acelerado) es inferencial, no confirmada por análisis laboratorio muestras Epobild in situ.
Información histórica fragmentaria intervenciones 1950, 1979-82	2%	**RH-4, RE-3**: Documentación intervención 1950 (baldosa cemento) básica: conocemos qué se hizo y consecuencia (desprendimiento), pero detalles técnicos limitados (especificaciones de adhesivos, criterios diseño, extensión exacta). Intervención 1979-82 similar. Reconstrucción comportamiento histórico basada en inferencias + testimonios vs. memorias técnicas detalladas. Pérdida legibilidad RE-3: imposible reconstruir aspecto original pre-1950 con certeza (sin fotografías exhaustivas estado previo). Estimación confusión 70-80% superficies es aproximada.

Sin precedentes comparativos técnica constructiva única	2%	**RE-1, C5-1, C5-7**: Técnica alivianamiento piedra pómez tejida con alambre sin precedentes en región = imposible validar evaluación con casos comparables. Comportamiento largo plazo sistema original 1883 es único, sin referencias. Evaluación basada en principios generales ingeniería + análisis específico vs. experiencia empírica acumulada múltiples casos. Incompatibilidad fibras carbono-piedra pómez RE-1: sin estudios compatibilidad largo plazo este sistema específico (fibras sobre piedra pómez porosa única). Horizonte temporal RE-1 manifestación (ya presente) es estimación conservadora sin validación empírica.
Sin ensayos laboratorio caracterización completa materiales actuales	1%	**RE-1**: Caracterización materiales 2016 (núcleos) proporcionó composición cualitativa, pero sin ensayos mecánicos exhaustivos: módulos elasticidad precisos piedra pómez, hormigón 1950, hormigón cal nervios, mampostería ladrillo. Valores utilizados evaluación RE-1 son estimaciones rangos típicos (piedra pómez E~5-15 GPa, hormigón ~20-30 GPa) vs. valores reales específicos Basílica Riobamba. Modelamiento FEM requeriría estos datos precisos para ser confiable. Sin ellos, modelo sería aproximado.

Nivel de confianza estimado: 100% - 20% = 80% → MEDIO-ALTO

5.2. Limitaciones Documentadas del Estudio

Tabla 31
Resumen de Limitaciones Identificadas

Limitación	Descripción	Impacto Principal	Mitigación Recomendada
L1: Accesibilidad restringida zonas altas	Zonas altas cúpula (linterna 6m altura, cúspide 36m, intradós superior) requieren andamiaje especializado para inspección detallada. Acceso limitado sin andamiaje = inspección visual solo desde base con binoculares (precisión limitada).	**Evaluación interfaces superiores incompleta**: Posibles patologías no detectadas en: • Interfaces linterna-cúpula (punto crítico impermeabilización) • Adhesión fibras carbono zona alta nervios convergentes • Fisuras intradós cúpula superior	**CORTO PLAZO** (integrar con Plan RE-2): • Inspección exhaustiva con andamiaje durante intervención impermeabilización proyectada 2027 • Aprovechamiento instalación andamiaje para evaluación completa interfaces superiores • Fotografía alta resolución zonas inaccesibles **MEDIANO PLAZO**:

		• Estado tejuelo Grayman zonas inaccesibles **Subestimación probable alcance (C) patologías**. Testimonio custodio "cúpula muy grande... tal vez por ahí no se pudo reforzar debidamente" sugiere zonas problemáticas inaccesibles evaluación rutinaria.	• Drones fotografía/video alta resolución inspección extradós (cada 2 años) • Termografía infrarroja aérea (drone) detección humedad oculta zonas altas
L2: Ausencia modelamiento estructural FEM sistema mixto	Sin modelo elementos finitos comportamiento integrado sistema mixto: mampostería original 1883 (piedra pómez-alambre + ladrillo) + hormigón simple 1950 (anillo 20cm) + hormigón cal nervios + fibras carbono/vidrio 2019. Sin análisis dinámico sísmico. Sin caracterización geotécnica específica sitio (tipo suelo, capacidad portante fundaciones). **Limitación crítica reconocida profesionales intervinientes**: "sin modelamiento estructural del comportamiento integrado".	**Imposibilidad cuantificar distribución esfuerzos exacta sistema complejo**: • Concentración tensiones interfaces mampostería-hormigón-fibras no calculada (solo inferida cualitativamente) • Puntos críticos falla ante evento sísmico no identificados con precisión • Comportamiento dinámico (frecuencias propias, modos vibración, respuesta sísmica) desconocido • Evaluación RE-1 basada en teoría + observación, no en análisis numérico riguroso • Incertidumbre alta comportamiento real ante sismo ≥6.0 Mw	**PRIORITARIO** (Plan RE-1, 1-2 años): • Contratar modelamiento FEM especializado: - Caracterización mecánica materiales (ensayos laboratorio) - Modelo 3D geometría real (escaneo láser) - Análisis estático + dinámico + sísmico - Identificación puntos críticos • Validación modelo con monitoreo instrumental (sensores deformación) • Publicación resultados (aporte conocimiento técnico único)
L3: Falta monitoreo instrumental continuo post-2019	Sin instrumentación permanente instalada post-intervención 2019: • Sin fisurómetros (evolución fisuras) • Sin sensores HR/temperatura (humedad intradós)	**Detección tardía deterioros**: • Problema humedad 2026 detectado por observación casual custodio, no por sistema alerta temprana automatizado • Imposible análisis tendencias cuantitativas (evolución fisuras,	**CORTO-MEDIANO PLAZO** (Planes RE-2, RR-1, RE-1): • Fase 1 (6-12 meses): Sensores HR + fisurómetros (costo ~$8,000-12,000) - 6-8 sensores HR intradós zonas humedad histórica

	• Sin sensores deformación (interfaces) • Sin acelerómetros (respuesta sísmica real) Evaluación basada en inspecciones visuales puntuales discontinuas vs. registro continuo cuantitativo.	incremento humedad gradual, deformaciones progresivas) • Sin correlación eventos-respuesta real: eventos sísmicos/lluvias intensas ocurren, pero no hay datos cuantitativos respuesta estructura • Evaluación frecuencias (A) riesgos basada en estimaciones, no en datos empíricos específicos bien	- 6-8 fisurómetros fisuras críticas - Sistema datalogger registro continuo • Fase 2 (1-2 años): Sensores deformación interfaces - 6-8 sensores puntos críticos identificados FEM - Trigger sísmico registro acelerado eventos • Beneficio: Transformar gestión reactiva → predictiva proactiva
L4: Limitaciones tecnológicas diagnóstico	Sin estudios especializados aplicados: • Sin termografía infrarroja (humedad oculta, puentes térmicos) • Sin escaneo 3D láser (geometría precisa, deformaciones) • Sin georradar (vías infiltración internas, caracterización espesores) • Sin ensayos no destructivos exhaustivos (ultrasonido adhesión fibras, resistividad, velocidad pulso ultrasónico)	**Diagnóstico basado en manifestaciones visibles vs. instrumental**: • Humedad 2026: solo manchas visibles superficiales evaluadas. Extensión real humedad interna desconocida (puede ser significativamente mayor). Termografía revelaría humedad oculta no visible. • Adhesión fibras carbono: sin verificación instrumental (ultrasonido). Confianza basada en inspección visual (sin desprendimientos aparentes) vs. ensayo cuantitativo. • Geometría deformaciones: sin línea base 3D precisa. Imposible detectar deformaciones milimétricas progresivas sin comparación escaneos sucesivos.	**CORTO PLAZO** (integrar Plan RE-2, 6-12 meses): • Termografía infrarroja: Mapeo completo humedad oculta durante evaluación impermeabilización 2027 • Georradar: Caracterización vías infiltración internas si termografía revela humedad extensa **MEDIANO PLAZO** (integrar Plan RE-3, 1-2 años): • Escaneo 3D láser: Documentación geometría precisa + línea base deformaciones • Ultrasonido adhesión fibras: Evaluación 20% muestra puntos reforzamiento
L5: Información histórica incompleta	Documentación intervenciones históricas fragmentaria:	**Reconstrucción comportamiento histórico incompleta**:	**CORTO-MEDIANO PLAZO** (Plan RE-3, 6-24 meses):

intervenciones 1950, 1979-82	• **1950**: Conocemos qué (baldosa cemento, hormigón) pero detalles técnicos limitados (especificaciones de adhesivos, extensión exacta hormigón, criterios diseño) • **1979-82**: Documentación básica (impermeabilizaciones, decoración) sin memorias técnicas exhaustivas • **Pre-1950**: Sin fotografías/planos exhaustivos estado original 1883-1950	• Imposible determinar con precisión extensión exacta hormigón 1950 (anillo 20cm documentado, pero posibles refuerzos adicionales no documentados) • Pérdida legibilidad RE-3: Sin fotografías pre-1950, imposible reconstruir aspecto original con certeza. Estimación confusión 70-80% superficies es aproximada. • Lecciones históricas limitadas: error baldosa cemento 1950 documentado (consecuencia), pero análisis detallado causas incompleto	• Investigación histórica exhaustiva: - Búsqueda archivos INPC, municipio, comunidad jesuita, colecciones privadas - Entrevistas testimoniales personas involucradas intervenciones 1979-82 (urgente, antes pérdida testimonios) - Revisión hemerotecas (prensa local eventos 1950, 1979-82) • Documentación estado actual pre-futuras intervenciones: Asegurar no repetir pérdida información (fotografía exhaustiva, escaneo 3D, memorias técnicas detalladas)
L6: Sin precedentes comparativos técnica constructiva única	Técnica alivianamiento piedra pómez tejida con alambre sin precedentes en región andina. Único caso conocido = Basílica Riobamba. Sin experiencia acumulada comportamiento largo plazo (140+ años). Sin casos comparativos validación evaluaciones.	**Evaluación basada en principios generales vs. evidencia empírica múltiples casos**: • Comportamiento largo plazo único, sin referencias: Extrapolación desde comportamiento observado 140 años, pero sin validación casos similares • Incompatibilidad fibras carbono-piedra pómez: Sin estudios compatibilidad largo plazo este sistema específico (matriz bibliográfica internacional no aplica directamente) • Horizonte temporal manifestación RE-1 incierto: Estimación conservadora sin casos precedentes	**LARGO PLAZO** (investigación académica, 3-5 años): • Monitoreo científico riguroso largo plazo (10-20 años): Basílica Riobamba como caso estudio único internacional comportamiento sistema pionero • Publicación resultados académicos: Aportar conocimiento técnico comunidad internacional restauración • Red colaboración: Identificar posibles casos similares internacionales (técnicas alivianamiento históricas piedra pómez, sistemas mixtos complejos) para comparación

	• Tesis maestría/doctorado: Comportamiento estructural sistema único (universidad colaboradora)

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusión General

La Basílica del Sagrado Corazón de Jesús de Riobamba presenta un perfil de riesgo BAJO-CONTROLADO tras las intervenciones 1950-2019. Todos los riesgos actuales tienen MR < 12, con un único riesgo alcanzando categoría MEDIA (RE-2: Falla impermeabilización, MR=11.9) y seis riesgos BAJOS (MR=1.6-9.0). El valor patrimonial excepcional (VP=4, 47/50 puntos INPC) por ser la única iglesia circular en Ecuador con técnica constructiva pionera piedra pómez-alambre justifica implementar un Programa de Gestión Preventiva enfocado en monitoreo especializado y mantenimiento programado.

Síntesis de Hallazgos Principales

Tabla 32
Hallazgos Principales

Hallazgo	Evidencia	Implicación
1. Intervención 2019 altamente efectiva en reforzamiento estructural	• Todos MR < 12 • RR-1 (Fisuración) MR=6.5: reducción 70-80% vs. riesgo histórico • Reforzamiento fibras carbono + inyecciones estabilizó fisuras >5cm • Testimonio profesional: “se logró el objetivo”	No se requieren intervenciones estructurales urgentes Planificación largo plazo (2-5 años) viable Sistema reforzamiento funcionando adecuadamente
2. Falla prematura impermeabilización 2019 es vulnerabilidad crítica	• **RE-2 MR=11.9** (único MEDIO) • Evidencia directa 2026: humedad reaparece 7 años post-intervención • Testimonio custodio: “existe todavía quizás una pequeña filtración” • Vida útil 7 años vs. 15-20 esperados	**Acción urgente 6-12 meses** Compromete durabilidad reforzamiento 2019 (~$360,000) Requiere reevaluación integral efectividad Decisión técnica: reaplicación selectiva vs. integral
3. Riesgos emergentes (4/7) dominan perfil actual	• RE-2 (11.9), RE-3 (9.6), RE-1 (8.6), RE-4 (8.5) = 4 MR más altos • Derivados de intervenciones 1950-2019, no deterioro natural • Sistema mixto sin modelamiento • Dependencia mantenimiento especializado	Intervenciones generan nuevas vulnerabilidades complejas Requieren gestión especializada continua Transición: autonomía histórica → dependencia contemporánea Necesidad programa mantenimiento institucionalizado

4. Valor patrimonial excepcional eleva todas prioridades	• VP=4 (47/50 INPC) en todos los riesgos • Única iglesia circular Ecuador • Técnica pionera irreemplazable • Conexión identidad nacional 1874	Incluso riesgos MR bajo requieren atención Gestión preventiva exhaustiva justificada Irreemplazabilidad técnica única sin precedentes Inversión sostenida razonable
5. Sistema mixto sin modelamiento es incertidumbre crítica	• RE-1 MR=8.6 • "Sin modelamiento estructural comportamiento integrado" (profesionales) • 4 generaciones: 1883 + 1950 + 1979-82 + 2019 • Módulos elasticidad diferencias 5-15x	Comportamiento sísmico real incierto Imposible predecir puntos falla críticos Modelamiento FEM recomendable 1-2 años Conocimiento técnico único sin precedentes
6. Dependencia mantenimiento especializado crítica	• RE-4 MR=8.5 (cuarto más alto) • Ciclo acelerándose: 29a→16a→10a→5a→7a • Gestión reactiva actual • Sin programa formal	Reactivación cascada riesgos sin mantenimiento Programa quinquenal necesario 1-2 años Cambio paradigma: reactivo → preventivo Efectividad temporal comprobada 7-15 años

Recomendaciones

Se recomienda que la próxima actualización de la evaluación estructural se realice en un plazo aproximado de cinco años (estimado al año 2031), o de manera inmediata en caso de presentarse un evento sísmico de magnitud igual o superior a 6.0 Mw, o condiciones que comprometan el comportamiento estructural de la cúpula.

Condiciones adelanto evaluación:

- Sismo ≥6.0 Mw radio 100km o ≥5.0 Mw <50km
- Fisuras nuevas >3mm elementos estructurales principales
- Desprendimientos fibras carbono/vidrio reforzamiento 2019
- Reaparición disgregación argamasas ("caída de arena")
- Infiltraciones severas (goteras activas, manchas >5m² nuevas)
- Deformaciones visibles cúpula/linterna
- Planificación nueva intervención estructural

Se recomienda implementar URGENTEMENTE (plazo 6-12 meses) una evaluación técnica especializada y la corrección de la falla de impermeabilización (RE-2, MR=11.9), detallada en la Tabla 23, Sección 4.3.2. Esta acción es prioritaria dado que la evidencia directa de 2026

confirma reaparición de humedad solo 7 años post-intervención 2019, comprometiendo la durabilidad del reforzamiento estructural completo.

Adicionalmente, se recomienda implementar en el mediano plazo (1-2 años) las acciones estratégicas descritas en las Tablas 24-27: (1) programa de mantenimiento preventivo quinquenal institucionalizado, (2) documentación exhaustiva diferenciada del sistema constructivo único, (3) modelamiento estructural FEM del sistema mixto, y (4) monitoreo sistemático de fisuración para validación del reforzamiento 2019.

Bibliografía

De la Guardia, F. (2025). *Iglesias en Riobamba: un recorrido por la fe y la arquitectura religiosa*. https://www.minube.com/categorias/iglesias-riobamba

Guaña, A (2025). Entrevista personal. Arquitecto, fiscalización técnica INPC en intervención de la Iglesia Basílica del Sagrado Corazón de Jesús 2016-2019. Ecuador.

Villacís, D. (2026). Entrevista personal. Arquitecto, director control técnico INPC en intervención de la Iglesia Basílica del Sagrado Corazón de Jesús 2016-2019. Ecuador.

Anexo Fotográfico

Foto 1: Conjunto arquitectónico de la Basílica de Riobamba y su implantación urbana



Nota. Vista aérea frontal del conjunto arquitectónico de la Basílica de Riobamba, que permite observar la relación entre la cúpula y las estructuras anexas y el tejido urbano circundante. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Foto 2: Revestimiento exterior de la cúpula



Nota. Vista del revestimiento cerámico de la cúpula, donde se identifican patrones geométricos y variaciones cromáticas. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Foto 3: Detalle del tambor y anillo de transición de la cúpula principal



Nota. Detalle del anillo superior y arranque de la linterna. Se observa desgaste del material de recubrimiento y acumulación de suciedad asociados por factores atmosféricos. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Fotos 4 y 5: Lesiones físicas – humedades localizadas en el interior de la cúpula



Nota. Detalle de la capa de revestimiento de la cúpula, donde se observan desprendimientos puntuales de capa pictórica y revoques, asociados a procesos de humedad y deterioro de los materiales de acabado. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Foto 6: Zona de humedad y degradación pictórica



Nota. Área del recubrimiento interior de la cúpula con pérdida de material pictórico y revoques, caracterizada por manchas de humedad y degradación superficial, indicativas de procesos de condensación y migración de humedad en la estructura cupular. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3.

Anexo 13. Memoria Fotográfica de Intervenciones

Intervención Iglesia Matriz de Pujilí

Foto 1: Retiro de cerámica afectada por especies vegetales invasivas y cobertura exterior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2016

Foto 2: Restitución de cerámica - cobertura exterior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2016

Foto 3: Prueba de color en elementos cerámicos - cobertura exterior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2016

Foto 4: Recubrimiento cerámico



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, en libre ejercicio profesional, 2025

Intervención Iglesia Catedral de Latacunga

Foto 1: Inyecciones de reforzamiento estructural a base de cal arena, sector exterior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2022.

Foto 2: Inyecciones de cal arena – parte interior de la cúpula



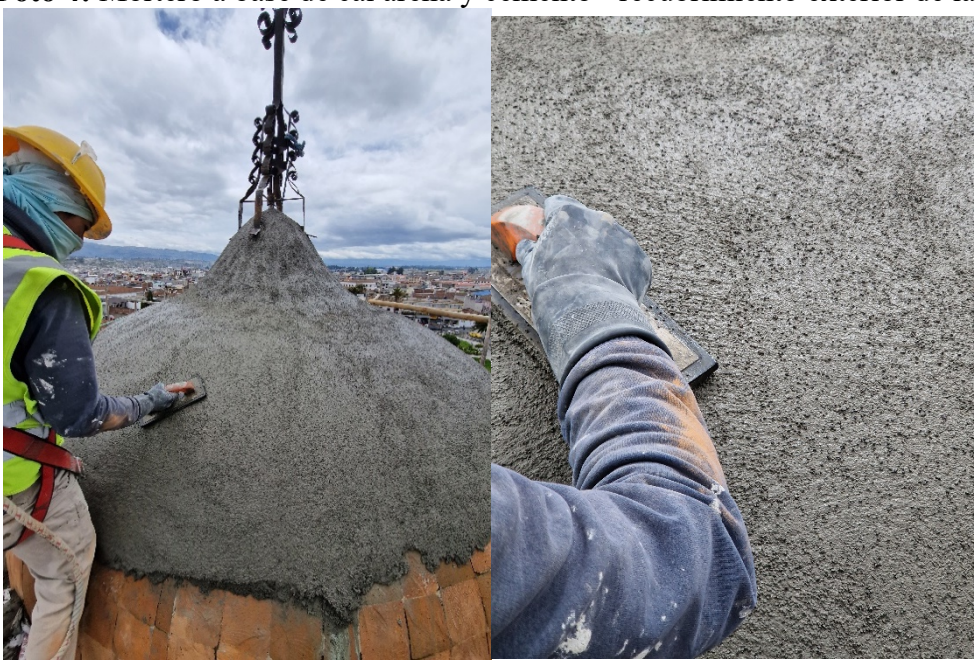
Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2022.

Foto 3: Retiro de material cerámico de la base de piedra pómez



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2022.

Foto 4: Mortero a base de cal arena y cemento - recubrimiento exterior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2022.

Foto 5: Recubrimiento cerámico



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, en libre ejercicio profesional, 2025.

Intervención Iglesia Basílica de Riobamba

Foto 1: Retiro de recubrimiento cerámico de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 2: Andamiaje para ejecutar trabajos en la superficie exterior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 3: Andamiaje para ejecutar trabajos en la superficie interior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 4: Inyecciones de reforzamiento a base de cal arena – sector exterior de la cúpula



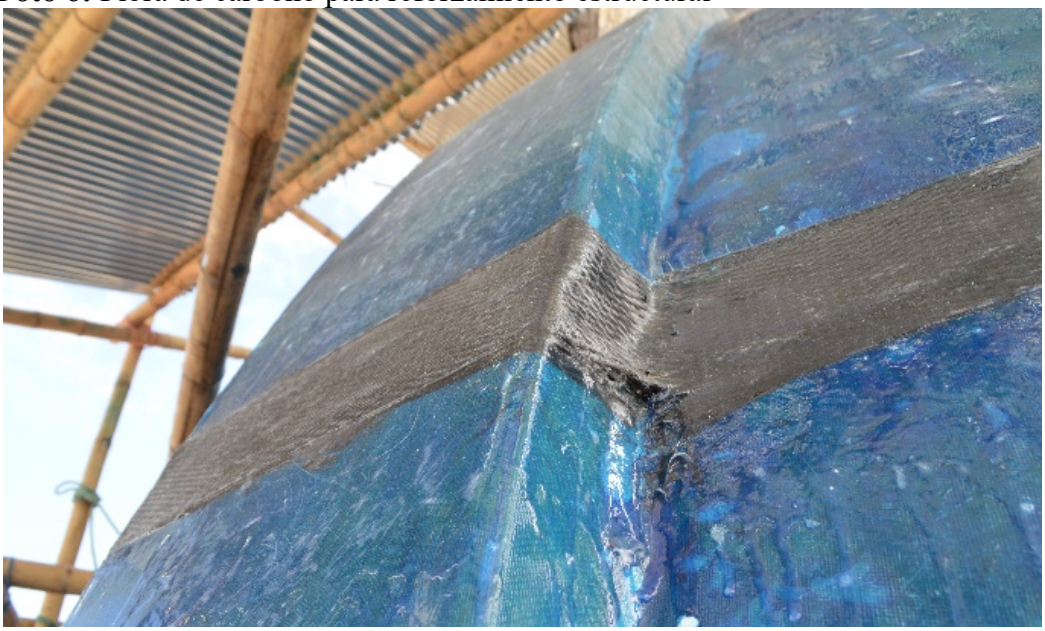
Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 5: Capa de manto asfaltico – sector exterior de la cúpula



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 6: Fibra de carbono para reforzamiento estructural



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 7: Colocación de cerámica



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 8: Recubrimiento cerámico



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, como técnico del INPC Z3, 2019

Foto 9: Recubrimiento cerámico



Nota. Levantamiento fotográfico del autor, en libre ejercicio profesional, 2024

Anexo 14. Lista de Verificación para el Cumplimiento de Mejores Prácticas.

Checklist de Cumplimiento de Mejores Prácticas

El presente checklist debe ser aplicado por el responsable técnico del proyecto como instrumento de verificación del cumplimiento de las mejores prácticas establecidas para la documentación, diseño, intervención, monitoreo y preservación de bienes patrimoniales.

Instrucciones

Para su aplicación, se deberán considerar las siguientes indicaciones:

1. Verificar cada ítem de acuerdo con la documentación técnica, estudios, planos, ensayos, procedimientos y registros disponibles para el proyecto.
2. Marcar la casilla correspondiente cuando el requisito haya sido cumplido y cuente con evidencia verificable.
3. Cuando un requisito no sea aplicable, deberá indicarse expresamente esta condición y consignar la justificación técnica correspondiente en la documentación del proyecto.
4. Los ítems señalados como opcionales no constituyen requisitos obligatorios; su aplicación dependerá de las características y condiciones particulares de la intervención.
5. Cuando un requisito obligatorio no pueda cumplirse, deberá documentarse la razón técnica que lo impide y gestionarse la aprobación correspondiente de acuerdo con lo establecido en la “Nota Crítica” del instrumento.
6. La verificación deberá sustentarse en evidencia documental y técnica, evitando considerar como cumplidos aquellos requisitos que únicamente hayan sido previstos, pero que no cuenten con respaldo verificable.
7. Una vez concluida la revisión, el responsable técnico deberá completar los datos de identificación, fecha y firma, dejando constancia de la verificación realizada.
8. El checklist deberá conservarse como parte de la documentación técnica de la intervención, junto con los documentos que respalden el cumplimiento de los requisitos señalados.

Lista de Verificación

a. Documentación Previa

- ☐ Levantamiento geométrico precisión ±5mm completado
- ☐ Mapeo de patologías con ubicación exacta en planos
- ☐ Caracterización material (mínimo 3 muestras por tipo) con ensayos completos
- ☐ Análisis estructural con modelo de elementos finitos validado
- ☐ Evaluación de contexto territorial (sismicidad, régimen pluvial)
- ☐ Matriz de riesgos ABC-GRD desarrollada
- ☐ Reportaje fotográfico >200 imágenes alta resolución

☐ Modelo 3D (fotogrametría) archivado en formatos abiertos

b. Diseño de Intervención

☐ Análisis de mínimo 2 alternativas técnicas comparadas
☐ Justificación documentada de solución adoptada
☐ Planos constructivos escala 1:20 para detalles críticos
☐ Especificaciones técnicas completas (no limitado a nombres comerciales)
☐ Memoria de cálculo estructural verificable
☐ Evaluación de impacto sobre valor patrimonial
☐ Plan de gestión post-intervención (10 años mínimo)

c. Reforzamiento Estructural

☐ Materiales especificados compatibles con sustrato histórico
☐ Sistema de protección anticorrosiva especificado (OBLIGATORIO para aceros)
☐ Diseño de interfaces en sistemas mixtos considerado explícitamente
☐ Reversibilidad potencial evaluada y documentada
☐ Ensayos de compatibilidad material programados (12 meses previos)
☐ Procedimientos de ejecución detallados (no solo esquemas)

d. Control Hídrico

☐ Sistema de impermeabilización con durabilidad documentada >20 años
☐ Resistencia UV y térmica certificada para condiciones locales
☐ Integración con sistema de evacuación verificada (cálculo hidráulico)
☐ Escenarios de cambio climático considerados (evento +20% sobre histórico)
☐ Pendientes de evacuación ≥2% garantizadas □ Rebosaderos de emergencia dimensionados

e. Monitoreo y Seguimiento

☐ Instrumentación especificada (sensores, ubicación, umbrales)
☐ Presupuesto de monitoreo incluido (mínimo 5 años)
☐ Responsables de lecturas designados
☐ Procedimientos de lectura documentados
☐ Sistema de alertas establecido
☐ Plan de mantenimiento preventivo formalizado con responsables y presupuesto

f. Preservación Patrimonial

☐ Justificación técnica documentada para toda sustitución de material (si aplica)
☐ Porcentaje de sustitución <10% de masa total elemento
☐ Legibilidad de sistema constructivo preservada o documentada exhaustivamente

- ☐ Refuerzos distinguibles de material histórico
- ☐ Documentación 3D de estado previo archivada (si intervención afecta legibilidad)

g. Aprobaciones

- ☐ Revisión por pares (3 especialistas mínimo) completada
- ☐ Observaciones de revisores incorporadas o justificado rechazo
- ☐ OPCIONAL: Aprobación de autoridad patrimonial (INPC)
- ☐ Presupuesto completo aprobado (incluye monitoreo 5 años)

Firma Responsable Técnico:

Declaro que los ítems marcados anteriormente han sido verificados y cumplen con los estándares de mejores prácticas establecidos.

Fecha: _____

Nombre: _____

Cédula de Identificación: _____

Firma: _____

Nota Crítica: Si algún ítem no puede cumplirse (excepto los opcionales), debe justificarse técnicamente la razón y obtener aprobación explícita de autoridad patrimonial antes de proceder.

Anexo 15. Análisis de sensibilidad del modelo de Magnitud del Riesgo (MR)

Este anexo reúne las matrices con las que se evaluó la robustez de la fórmula MR = (A × B × C × VP × IS) / (CA × 25), planteada para la cuantificación de la magnitud del riesgo (MR) de la metodología ABC-GRD. El análisis de sensibilidad permite analizar cómo cambian los resultados del modelo cuando se modifican sus parámetros, con el fin de comprobar que las conclusiones no dependen de decisiones arbitrarias. Se aplicaron los siguientes tres enfoques de revisión:

1. Las tablas de la sección 1 miden el efecto que tiene sobre la MR el cambio de cada variable, nivel por nivel, manteniendo las demás en un caso base.

2. Las tablas de la sección 2 comparan el valor bruto de la fórmula con el valor normalizado mediante la constante 25, para demostrar que esta solo reescala los resultados.

3. Las tablas de la sección 3 sobre los riesgos evaluados verifican la estabilidad de la clasificación de los 23 riesgos identificados, mediante variaciones de los umbrales de categoría (±10 %) y también con la exclusión del Valor Patrimonial (VP).

En todas las matrices se utilizan las escalas definidas en la Fase 4 de la metodología (A, B y C de 1 a 5; VP, IS y CA de 1 a 4), la valoración de CA establecida en la Tabla 24 y los umbrales de categoría de la matriz de priorización (bajo < 10; medio 10–29.9; alto 30–59.9; crítico ≥ 60). El índice de susceptibilidad se calcula como IS = (Vulnerabilidad + Exposición)/2.

Sección 1: Sensibilidad de la MR al cambio de cada variable, por niveles enteros

Se tomó como caso base el riesgo RR-2 de la Catedral de Latacunga (ver Tabla 1A). Cada variable se modificó por niveles enteros dentro de su escala, mientras las demás se mantuvieron constantes. La Tabla 1B muestra la MR resultante, la Tabla 1C la variación porcentual respecto al caso base y la Tabla 1D la categoría de riesgo. Como el modelo es multiplicativo, la variación porcentual de cada variable depende solo de su propio nivel y no de los valores de las demás. A partir de este caso base, subir un nivel en A o C aumenta la MR un 25 %, y en B o IS un 33 %; en cambio, CA, por actuar como divisor, presenta un efecto asimétrico: pasar de 2 a 1 duplica la MR, mientras que pasar de 2 a 3 la reduce un 33 %.

Tabla 1A

Caso base RR-2 de la Catedral de Latacunga

A	B	C	VP	IS	CA	MR	Categoría
4	3	4	4	3	2	11.52	Medio

Nota. Riesgo RR-2, Catedral de Latacunga. IS = (Vulnerabilidad + Exposición)/2.

Tabla 1B

MR resultante según el nivel de cada variable

Variable	Nivel base	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	MR mínimo	MR máximo	Razón MRmáx/MRmín	Amplitud
A	4	2.88	5.76	8.64	11.52	14.40	2.88	14.40	5.00	11.52
B	3	3.84	7.68	11.52	15.36	19.20	3.84	19.20	5.00	15.36
C	4	2.88	5.76	8.64	11.52	14.40	2.88	14.40	5.00	11.52
VP	4	2.88	5.76	8.64	11.52	-	2.88	11.52	4.00	8.64
IS	3	3.84	7.68	11.52	15.36	-	3.84	15.36	4.00	11.52
CA	2	23.04	11.52	7.68	5.76	-	5.76	23.04	4.00	17.28

Nota. Las celdas sombreadas corresponden al nivel del caso base. "-" indica un nivel fuera de la escala de la variable (VP, IS y CA llegan hasta 4). Para IS se consideran únicamente niveles enteros.

Tabla 1C

Variación porcentual de la MR respecto al caso base

Variable	Nivel base	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
A	4	-75 %	-50 %	-25 %	0 %	+25 %
B	3	-67 %	-33 %	0 %	+33 %	+67 %
C	4	-75 %	-50 %	-25 %	0 %	+25 %
VP	4	-75 %	-50 %	-25 %	0 %	-
IS	3	-67 %	-33 %	0 %	+33 %	-
CA	2	+100 %	0 %	-33 %	-50 %	-

Nota. Variación = MR del nivel evaluado / MR del caso base - 1.

Tabla 1D

Categoría de riesgo según el nivel de cada variable

Variable	Nivel base	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
A	4	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
B	3	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
C	4	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
VP	4	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	-
IS	3	Bajo	Bajo	Medio	Medio	-
CA	2	Medio	Medio	Bajo	Bajo	-

Nota. Umbrales: bajo < 10; medio 10–29.9; alto 30–59.9; crítico ≥ 60.

Sección 2: Comparación entre el valor bruto y el valor normalizado

Se calcularon 15 escenarios de ejemplo seleccionados para cubrir el rango completo de la fórmula (0.01 a 80) y las cuatro categorías de riesgo, incluyendo casos ubicados en los umbrales. Para cada uno se obtuvo el valor bruto (A × B × C × VP × IS / CA) y el normalizado (bruto ÷ 25), sus categorías (con los umbrales reescalados en la misma proporción para el valor bruto) y su posición en el ordenamiento.

El cociente entre ambos valores es constante (1/25 = 0.04) en todos los escenarios, la categoría coincide en los 15 y el orden de prioridad es idéntico. Esto demuestra que la constante 25 solo cambia la escala en la que se expresa el resultado. El rango es la posición

que ocupa cada escenario al ordenar MR de mayor a menor, donde 1 es el de mayor magnitud de riesgo, es decir, el más prioritario. Todos los escenarios mantuvieron el mismo rango.

Tabla 2A

Umbrales de categoría en la escala bruta y en la normalizada

Escala	Corte 1 (bajo | medio)	Corte 2 (medio | alto)	Corte 3 (alto | crítico)
Bruta (sin dividir)	250	750	1500
Normalizada (÷ 25)	10	30	60

Nota. Los umbrales de la escala bruta resultan de multiplicar los normalizados por 25.

Tabla 2B

Valor bruto y valor normalizado de 15 escenarios ilustrativos

N.º	A	B	C	VP	IS	CA	MR bruto	MR (norm.)	Cociente	Categoría (bruto)	Categoría (norm.)	¿Misma categoría?	Rango (bruto)	Rango (norm.)	¿Mismo rango?
1	1	1	1	1	1	4	0.25	0.01	0.0400	Bajo	Bajo	Sí	15	15	Sí
2	2	2	2	2	2	3	10.67	0.43	0.0400	Bajo	Bajo	Sí	14	14	Sí
3	2	3	2	3	2	2	36.00	1.44	0.0400	Bajo	Bajo	Sí	13	13	Sí
4	3	3	3	3	3	2	121.50	4.86	0.0400	Bajo	Bajo	Sí	10	10	Sí
5	3	4	3	2	3	2	108.00	4.32	0.0400	Bajo	Bajo	Sí	11	11	Sí
6	4	3	4	3	3	2	216.00	8.64	0.0400	Bajo	Bajo	Sí	9	9	Sí
7	4	4	3	4	3	2	288.00	11.52	0.0400	Medio	Medio	Sí	8	8	Sí
8	4	4	4	3	3	1	576.00	23.04	0.0400	Medio	Medio	Sí	5	5	Sí
9	5	4	4	3	3	2	360.00	14.40	0.0400	Medio	Medio	Sí	7	7	Sí
10	5	5	4	4	3	1	1200.00	48.00	0.0400	Alto	Alto	Sí	3	3	Sí
11	5	5	5	3	4	2	750.00	30.00	0.0400	Alto	Alto	Sí	4	4	Sí
12	5	5	5	4	3	1	1500.00	60.00	0.0400	Crítico	Crítico	Sí	2	2	Sí
13	5	5	5	4	4	1	2000.00	80.00	0.0400	Crítico	Crítico	Sí	1	1	Sí
14	4	5	5	2	4	2	400.00	16.00	0.0400	Medio	Medio	Sí	6	6	Sí
15	3	2	4	4	2	3	64.00	2.56	0.0400	Bajo	Bajo	Sí	12	12	Sí

Nota. Escenarios ilustrativos; no corresponden a riesgos identificados en los casos de estudio. El rango 1 corresponde al mayor valor.

Sección 3: Aplicación a los riesgos evaluados: estabilidad de la clasificación

Se recalculó la MR de los 23 riesgos identificados en los tres casos de estudio con base en tres variantes: la exclusión del VP (VP = 1), la reducción de los umbrales en 10 % (9, 27 y 54) y su aumento en 10 % (11, 33 y 66).

Los 23 riesgos se ubican en las categorías bajo (21) y medio (2). Con los umbrales reducidos en 10 % un riesgo cambia de bajo a medio (Riobamba RE-3, MR = 9.60) y con los umbrales aumentados no cambia ninguno. En cuanto al VP, el orden de prioridad es idéntico con y sin ponderación patrimonial, y al excluirlo solo dos riesgos cambian de categoría (Latacunga RR-2 y Riobamba RE-2, de medio a bajo). En la Tabla 3A se resumen los principales resultados, y en la Tabla 3B se muestran los resultados a detalle.

El VP toma el valor 4 en los 23 riesgos evaluados, por lo que actúa como un factor común a todos ellos y no altera su ordenamiento relativo. Por tanto, la prioridad de los riesgos estructurales, incluido el de colapso, la determinan los demás factores técnicos (A, B, C, IS y CA), que aportan el 84.6 % de la amplitud de la fórmula, y no la ponderación patrimonial.

Se reconoce como limitación que el VP puede modificar la categoría de un riesgo (hasta dos niveles en casos extremos) y que, al ser igual en los bienes estudiados, esta prueba no evalúa su capacidad de discriminar entre bienes de distinto valor patrimonial. En este caso, se reportó la MR sin ponderar junto a la ponderada en la Tabla 3B.

Tabla 3A

Resumen de la prueba de estabilidad

Indicador	**Resultado**
Riesgos evaluados	23
MR mínimo y máximo	0.80 y 11.95
Riesgos en categoría bajo / medio / alto o crítico	21 / 2 / 0
Valores distintos de VP en el conjunto	1 (VP = 4 en todos los riesgos)
Orden de prioridad con y sin VP	Idéntico
Riesgos que cambian de categoría al excluir el VP	2, Latacunga RR-2 y Riobamba RE-2
Riesgos que cambian de categoría con umbrales -10 %	1 (Riobamba RE-3, de bajo a medio)
Riesgos que cambian de categoría con umbrales +10 %	0

Nota. Los riesgos Riobamba RE-2 (MR = 11.95) y Latacunga RR-2 (MR = 11.52) son los dos únicos de categoría media.

Tabla 3B

Estabilidad de la clasificación de los 23 riesgos evaluados

Bien	ID	VP	A	B	C	Vuln	Exp	CA	IS	MR	Categoría	MR sin VP	Categoría sin VP	Categoría (cortes -10 %)	Categoría (cortes +10 %)	Rango MR	Rango sin VP
Iglesia Matriz de Pujilí	RE-2	4	3	3	4	3	4	3	3.5	6.72	Bajo	1.68	Bajo	Bajo	Bajo	7	7
	RR-1	4	3	3	3	2	4	2	3.0	6.48	Bajo	1.62	Bajo	Bajo	Bajo	8	8
	RE-3	4	5	2	4	2	2	2	2.0	6.40	Bajo	1.60	Bajo	Bajo	Bajo	10	10
	RE-4	4	3	3	3	3	2	3	2.5	3.60	Bajo	0.90	Bajo	Bajo	Bajo	17	17
	RE-1	4	2	3	3	3	3	3	3.0	2.88	Bajo	0.72	Bajo	Bajo	Bajo	18	18
	RR-2	4	2	2	2	2	3	2	2.5	1.60	Bajo	0.40	Bajo	Bajo	Bajo	21	21
	RR-3	4	1	2	2	2	3	2	2.5	0.80	Bajo	0.20	Bajo	Bajo	Bajo	23	23
Catedral de Latacunga	RR-2	4	4	3	4	2	4	2	3.0	11.52	Medio	2.88	Bajo	Medio	Medio	2	2
	RR-1	4	2	4	4	2	4	2	3.0	7.68	Bajo	1.92	Bajo	Bajo	Bajo	6	6
	RE-6	4	5	2	4	3	1	2	2.0	6.40	Bajo	1.60	Bajo	Bajo	Bajo	10	10
	RE-4	4	5	3	5	1	1	2	1.0	6.00	Bajo	1.50	Bajo	Bajo	Bajo	12	12
	RE-5	4	5	2	3	3	1	2	2.0	4.80	Bajo	1.20	Bajo	Bajo	Bajo	14	14
	RE-1	4	3	3	3	3	3	3	3.0	4.32	Bajo	1.08	Bajo	Bajo	Bajo	15	15
	RR-3	4	4	2	3	2	4	3	3.0	3.84	Bajo	0.96	Bajo	Bajo	Bajo	16	16
	RE-2	4	3	2	3	2	4	3	3.0	2.88	Bajo	0.72	Bajo	Bajo	Bajo	18	18
	RE-3	4	3	2	2	2	2	2	2.0	1.92	Bajo	0.48	Bajo	Bajo	Bajo	20	20
Basílica de Riobamba	RE-2	4	4	4	4	3	4	3	3.5	11.95	Medio	2.99	Bajo	Medio	Medio	1	1
	RE-3	4	5	3	4	2	2	2	2.0	9.60	Bajo	2.40	Bajo	Medio	Bajo	3	3
	RE-1	4	3	3	4	2	4	2	3.0	8.64	Bajo	2.16	Bajo	Bajo	Bajo	4	4
	RE-4	4	4	4	4	3	2	3	2.5	8.53	Bajo	2.13	Bajo	Bajo	Bajo	5	5
	RR-1	4	3	3	3	2	4	2	3.0	6.48	Bajo	1.62	Bajo	Bajo	Bajo	8	8

Bien	ID	VP	A	B	C	Vuln	Exp	CA	IS	MR	Categoría	MR sin VP	Categoría sin VP	Categoría (cortes -10 %)	Categoría (cortes +10 %)	Rango MR	Rango sin VP
	RR-2	4	3	3	3	3	4	3	3.5	5.04	Bajo	1.26	Bajo	Bajo	Bajo	13	13
	RR-3	4	2	2	2	2	3	2	2.5	1.60	Bajo	0.40	Bajo	Bajo	Bajo	21	21

Nota. Se sombrean los riesgos de categoría media. “MR sin VP” se calcula con VP = 1. Con los umbrales -10 % (9, 27 y 54) y +10 % (11, 33 y 66). Rango 1 = mayor MR. Calculado a 2 decimales. Los riesgos con igual MR comparten posición.