

INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS BIM EN LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE
PROYECTOS DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL Y URBANA: ESTUDIO DE CASO,
EDIFICIO ADMINISTRATIVO

LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO
SANTIAGO RODRÍGUEZ CASTRO
CAMILO ALEJANDRO SIERRA NÚÑEZ

LUZ PIEDAD GALLEGOS OSORIO



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., ABRIL DE 2025

INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS BIM EN LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE
PROYECTOS DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL Y URBANA: ESTUDIO DE CASO,
EDIFICIO ADMINISTRATIVO.

LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO

SANTIAGO RODRÍGUEZ CASTRO

CAMILO ALEJANDRO SIERRA NÚÑEZ

LUZ PIEDAD GALLEGOS OSORIO



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., ABRIL DE 2025

Nota aceptación

Firma de tutor

Firma de jurado 1

Firma de jurado 2

Bogotá D. C., abril de 2025

DEDICATORIA

Dedicamos este logro a nuestras familias, pilar fundamental que nos sostuvo con su amor y fe inquebrantable durante los momentos más oscuros. Cada página de este trabajo lleva impreso el aliento de quienes nunca dejaron de confiar en nuestras capacidades, incluso cuando nosotros mismos vacilábamos. A los amigos que el destino puso en nuestros caminos universitarios, cómplices de alegrías y testigos de crecimiento. Juntos convertimos las noches de estudio en momentos entrañables. Con profunda admiración, a cada profesor que dejó huella en nuestra formación, no solo académica sino humana. Su exigencia nos forjó, por esta disciplina. Este trabajo no es solo nuestro, sino el fruto de cada persona que, consciente o inconscientemente, nos acompañó en esta travesía universitaria, haciendo posible que hoy culmine esta etapa con la mirada puesta en nuevos horizontes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a Dios por permitirnos alcanzar nuestra meta; a nuestros padres, quienes con su ejemplo y dedicación nos motivaron cada día para hacerlos sentir orgullosos de lo que ellos mismos forjaron en nosotros; a nuestras familias por su apoyo incondicional durante todo este proceso; a los docentes, cuya experiencia, conocimientos y retroalimentación fueron fundamentales en nuestro desarrollo académico; y finalmente, a nuestros colegas por compartir generosamente sus ideas y razonamientos, enriqueciendo significativamente nuestra perspectiva profesional y permitiéndonos hoy, con orgullo, formar parte de esta honorable comunidad de ingenieros.

CONTENIDO

1.	PROBLEMA.....	18
1.1	IDENTIFICACIÓN	18
1.2	DESCRIPCIÓN	19
1.3	PLANTEAMIENTO.....	20
2.	DELIMITACIÓN	20
2.1	CONCEPTUAL	20
2.2	GEOGRÁFICA.....	23
2.3	CRONOLÓGICA	23
3.	OBJETIVOS	24
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	24
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
4.	ANTECEDENTES	25
4.1	INTERNOS.....	29
4.1.1	Historia y función del edificio administrativo distrital	29
4.1.2	Ubicación y características arquitectónicas	30
	Proceso de rehabilitación estructural	31
	Resultados y beneficios.....	32
4.1.3	Metodología de los Estudios de Vulnerabilidad	33
	Fases de Evaluación.....	33
	Técnicas de Evaluación No Destructiva	34
	Modelación Computacional	34
4.1.4	Hallazgos Comunes en Edificios Gubernamentales de Bogotá	35
	Tipologías Estructurales Predominantes.....	35
	Deficiencias Estructurales Frecuentes	35
4.1.5	Estrategias de Rehabilitación Estructural	36
	Técnicas de Reforzamiento Implementadas	37
4.2	EXTERNOS.....	38
4.2.1	Edificios institucionales.....	38
	Edificio Liévano (Alcaldía Mayor).....	38
	Basílica Menor del Sagrado Corazón de Jesús (Voto Nacional):	39
	Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria:	39
	Biblioteca Nacional de Colombia	40
	Hospital San Juan de Dios	40
	Palacio de San Francisco (Gobernación de Cundinamarca)	41
	Edificio Avianca	41
5.	JUSTIFICACIÓN	42
6.	MARCO REFERENCIAL	43
6.1	MARCO TEÓRICO.....	45
6.1.1	Metodología BIM.....	45
6.1.2	Gestión de Proyectos.....	50
6.1.3	Eficiencia Energética en la Construcción	54
6.1.4	Drones y usos dentro de la ingeniería	58
	Dron DJI Air 3S	60

6.1.5 Revit.....	62
Conceptualización Revit	62
Elementos.....	62
Familias en Revit	63
Parametrización.....	63
Fases.....	64
Coordinación interdisciplinar.....	64
6.1.6 Vulnerabilidad Sísmica.....	64
6.1.7 El reforzamiento estructural.....	70
6.1.8 Patología estructural.....	75
6.1.9 Evaluó de cargas	80
6.1.10 Cartografía y Visualización de Datos	84
6.1.11 Georreferenciación.....	87
6.2 MARCO CONCEPTUAL	88
6.3 MARCO INSTITUCIONAL	91
6.3.1. Secretaría de Hacienda (Caso de Estudio Principal).....	91
Descripción General.....	91
Marco Legal y Normativo.....	92
Estructura Organizacional.....	92
Edificio administrativo.....	92
Gestión de Infraestructura y Riesgos.	93
6.3.2. Universidad Militar Nueva Granada (Institución Académica)	93
Perfil Institucional.....	93
Facultad de Ingeniería.....	93
Líneas de Investigación.....	93
Convenios Interinstitucionales.....	94
Impacto en la comunidad neogranadina.	94
6.4 MARCO LEGAL.....	95
6.4.1 Evolución de la Normativa Sísmica en Colombia	95
6.4.2. Normativa Sísmica y Estructural	96
Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).	96
Títulos Relevantes del NSR-10.....	97
Microzonificación Sísmica.	97
6.4.3. Implementación BIM en Colombia	98
Política Nacional para Adopción BIM.....	98
Iniciativas Institucionales.....	98
Normas Técnicas Colombianas Relacionadas.	99
6.4.4. Rehabilitación y Reforzamiento Estructural.....	99
Marco Legal para Edificaciones Existentes.	99
Patrimonio Histórico y Cultural.....	99
Licencias y Permisos para Rehabilitación.	100
6.4.5 Estudios de Vulnerabilidad Sísmica	100
Requisitos Normativos.....	100
Normativa para Edificaciones Especiales.	101
6.4.6 Contratación y Responsabilidad Profesional	101
Contratación Pública.....	101

Ejercicio Profesional.....	102
6.4.7 Normativa sobre Gestión del Riesgo	103
Marco Legislativo.....	103
Planes de Ordenamiento Territorial.....	103
6.4.8 Certificaciones y Sistemas de Calidad.....	104
Sistemas de Gestión de Calidad.....	104
Certificaciones Sostenibles en Construcción.....	104
6.5 MARCO HISTÓRICO.....	105
6.5.1 (2000-2009).....	105
6.5.2 (2010-2014).....	105
6.5.3 (2015-2018).....	106
6.5.4 (2018-2020).....	107
6.5.5 (2020-2023).....	108
6.5.6 (2023-Actualidad).....	108
6.6 MARCO AMBIENTAL	109
6.6.1 Regulación distrital	109
Resolución 1138 de 2013.....	109
Resolución 932 de 2015.....	109
Acuerdo 790 de 2020	109
6.6.2 Control ambiental.....	110
Áreas de Regulación	110
Control de Emisiones Atmosféricas.....	110
Manejo del Recurso Hídrico	111
Protección del Arbolado Urbano	111
Contaminación Acústica	111
7. METODOLOGÍA	112
7.1 Fase 1: Planeación y recopilación de información	112
7.1.1 Revisiones normativas y documental.....	112
7.1.2 Trazabilidad de planeación del trabajo de grado	113
7.1.2.1 Cronograma.....	113
7.1.2.1.1 Diagrama de Gantt	115
7.1.2.1.2 Estadísticas de recursos.....	116
7.1.2.2 Creación de parámetros para codificación.....	117
7.1.2.3 Planeación de inspección in situ	119
7.1.2.4 Cronología de visitas técnicas o de inspección.....	119
7.1.2.5 Puntos equidistantes para buena apreciación evaluar sondeos	120
7.1.2.6 Ensayos	120
7.1.3 Herramientas e instrumentos que se utilizaron planearon implementar en el transcurso del proyecto.....	121
7.1.4 Contenedores y organización de la información.....	122
7.1.5 validación de la información.....	125
7.1.6 Roles	125
7.2 Fase 2 Evaluación y categorización.....	130
7.2.1 Ejecución y aplicación de normativa y documentación.....	130
7.2.2 Evaluación de inspección visual	131
Fase Previa	132

Fase de Inspección	132
Fase de Documentación	133
Fase Final	134
7.2.3 Matriz de evaluación cuantitativa de patologías	135
7.2.4 clasificación de las patologías.....	137
7.3 Fase 3 Modelado BIM	139
7.3.1 Definición del alcance.....	139
7.3.2 Nivel de desarrollo.....	139
7.3.3 Implementación de parámetros para codificación	141
7.3.4 Implementación de información en patología:	142
7.3.4 Modelo arquitectónico de la fachada del edificio	144
7.4 Fase 4Análisis de resultados por sector y por piso	146
7.4.1Consolidación de resultados	146
7.4.2 Recomendaciones técnicas por categoría.....	146
7.5 Fase 5 Control de programa y presupuesto (modelo 5d)	147
7.5.1 Actividades propuestas para el proyecto.....	150
7.5.2 Creación de línea base	150
7.5.3 Presupuesto de recomendaciones preliminares.....	150
8. CAPÍTULOS.....	150
8.1 Modelo a partir de imágenes satelitales con dron	150
8.1.1 Topografía.....	152
8.1.2 Georeferenciación	152
8.2 Patologías.....	153
8.2.1 Extracción de núcleos	153
8.2.2 Ensayo de ferrosan	155
8.2.3 Regatas.....	155
8.2.4 Ensayo de esclerómetro	156
8.2.5 Carbonatación	157
8.2.6 Inspección Visual.....	159
8.3 Evaluación estructura existente.....	167
8.4 Características de la edificación.....	168
8.4.1 Grupo de uso	168
8.4.2 Coeficiente de importancia	168
8.5 Amenaza sísmica y parámetros de diseño	168
8.5.1 Amenaza sísmica	168
8.6 Espectro de diseño según microzonificación sísmica	169
8.6.1 Método de análisis fuerzas sísmicas	172
8.7 Sistema estructural de resistencia sísmica	172
8.8 Avalúo de cargas.....	173
8.9 Índice de flexibilidad	173
8.10 Índices de sobrefuerzo.....	174
8.10.1 Columnas	174
Flexo Compresión.....	174
Cortante.....	175
8.10.2 Muros	176
Cortante.....	176

8.10.3 Vigas	177
Flexión	178
Cortante.....	178
9 RESULTADOS.....	179
9.1 Recopilación patologías	179
9.1.1 Resultados Núcleos De Extracción.....	179
9.1.2 Resultados Ferroskan	181
9.1.3 Resultados Regatas	183
9.1.4 Resultados Esclerómetro.....	184
9.1.5 Resultados Carbonatación.....	185
9.2 Matriz de resultados de inspección	187
9.2.1 Inspección visual in situ.....	187
9.2.2 Inspección técnica de resultados.....	188
9.3 Modelo	192
9.3.1 Estructura base del modelo digital.....	192
Cubierta modelo digital.....	192
Visualización 3D del modelo digital.....	192
Visualización modelo digital sin placas.....	193
9.3.2 Digitalización grafica de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad.....	193
Cubierta modelo digital con su respectivo grado de vulnerabilidad	193
Modelo digital 3D visto desde la perspectiva suroriental	194
Modelo digital 3D visto desde su perspectiva noroccidental.....	194
9.3.3 Alimentación de patologías dentro del modelo digital	195
9.3.3.1 Patología presentada en columna.....	195
Identificación de patología y localización de la columna.....	195
Recomendación técnica para rehabilitación de la patología presentada en la columna.....	195
9.3.3.2 Patología presentada en viga.....	196
Identificación de patología y localización de la viga.....	196
Vista en corte de la patología identificada en la viga	196
Resumen gráfico de la evaluación sectorial mediante diagrama radial	197
Análisis e Interpretación de Resultados	198
Recomendación técnica para rehabilitación de la patología presentada en la columna.....	201
9.3.3.3 Patología presentada en muro	201
Identificación de patología y localización del muro	201
Recomendación técnica para rehabilitación de la patología presentada en el muro	202
9.4 Modelo fachada de dron.....	202
9.5 Cuadro de recomendaciones	205
9.6 Estimación de Costos de Intervención.....	211
10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	214
11 BIBLIOGRAFÍA	217
12 ANEXOS	224

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Locación satelital del edificio administrativo. Recuperado de: Google Map,2025</i>	23
<i>Ilustración 2 línea de tiempo análisis estructural edificio administrativo</i>	27
<i>Ilustración 3 Comparación herramientas CAD y tecnología BIM. Recuperado de: practica integrada, 2025</i>	46
<i>Ilustración 4 Ciclo de vida de la edificación. Recuperado de: espaciobim, 2025</i>	47
<i>Ilustración 5 Grafica de estadística de recursos Fuente: elaboración propia.</i>	117
<i>Ilustración 6 Plano de sectorización Fuente: Elaboración propia.</i>	118
<i>Ilustración 7 Esquema de ponderado visual. Fuente: Elaboración propia.</i>	119
<i>Ilustración 8 Puntos de sondeos. Fuente: Elaboración propia.</i>	120
<i>Ilustración 9 Contenedor organización de documentación general</i>	122
<i>Ilustración 10 Contenedor organización de información de entrada</i>	123
<i>Ilustración 11 Contenedor organización información modelo BIM</i>	123
<i>Ilustración 12 Contenedor organización informacion de análisis sísmico</i>	123
<i>Ilustración 13 Contenedor organización evaluaciones de vulnerabilidad</i>	124
<i>Ilustración 14 Contenedor organización propuesta de intervención</i>	124
<i>Ilustración 15 Contenedor organización de coordinación y revisión</i>	125
<i>Ilustración 16 Contenedor de presentación y entregables</i>	125
<i>Ilustración 17 Ejemplo de ficha de inspección visual. Fuente: Elaboración propia.</i>	134
<i>Ilustración 18 codificación de ensayos. Fuente: Elaboración propia.</i>	136
<i>Ilustración 19 Ejemplo Matriz de ensayos realizados. Fuente: Elaboración propia.</i>	137
<i>Ilustración 20 Asignación del color de acuerdo con puntaje ponderado. Fuente: Elaboración propia.</i>	137
<i>Ilustración 21 Ejemplo de consolidación de la información. Fuente: Elaboración propia.</i>	139
<i>Ilustración 22 Elemento columna Revit. Fuente: Elaboración propia.</i>	140
<i>Ilustración 23 Elemento de placa de Revit. Fuente: Elaboración propia.</i>	140
<i>Ilustración 24 Elemento viga de Revit. Fuente: Elaboración propia.</i>	141
<i>Ilustración 25 Elemento muro de Revit. Fuente: Elaboración propia.</i>	141
<i>Ilustración 26 implementación Familias en Revit. Fuente: Elaboración propia.</i>	142
<i>Ilustración 27 Parameter Properties. Fuente: Elaboración propia.</i>	142
<i>Ilustración 28 Implementacion Fileters Escala. Fuente: Elaboración propia.</i>	143
<i>Ilustración 29 Parametros basicos para leyenda. Fuente: Elaboración propia.</i>	143
<i>Ilustración 30 Filtros de leyenda. Fuente: Elaboración propia.</i>	144
<i>Ilustración 31 Dron de toma de imágenes</i>	144
<i>Ilustración 32 construcción del modelo en AutoCAD</i>	145
<i>Ilustración 33 Fachada del edificio frontal en AutoCAD</i>	145
<i>Ilustración 34 Modelado de la fachada de la edificación en Revit</i>	146
<i>Ilustración 35 vista de primera fase del cronograma aplicado. Fuente elaboración propia.</i>	148
<i>Ilustración 36 Dron DJI Air 3s. Fuente: Elaboración propia.</i>	151
<i>Ilustración 37 Toma de imágenes Fuente: Elaboración propia.</i>	152
<i>Ilustración 38 Imagen tomada con el dron Fuente: Elaboración propia.</i>	152
<i>Ilustración 39 Transformación de coordenadas. Tomadas de MAGNA SIRGAS 5.0 PRO. Fuente: Elaboración propia.</i>	153
<i>Ilustración 40 Proceso extracción de núcleos Fuente: Elaboración propia.</i>	154
<i>Ilustración 41 Proceso de detección de acero Fuente: Elaboración propia.</i>	155
<i>Ilustración 42 Proceso evaluación de regatas Fuente: Elaboración propia.</i>	156
<i>Ilustración 43 Proceso de evaluación del concreto por el esclerómetro Fuente: Elaboración propia.</i>	157
<i>Ilustración 44 Proceso de detección y tratamiento de la carbonatación. Fuente: Elaboración propia.</i>	159
<i>Ilustración 45 Ficha técnica inspección visual 1. Fuente: Elaboración propia.</i>	160
<i>Ilustración 46 Ficha técnica inspección visual 2. Fuente: Elaboración propia.</i>	160
<i>Ilustración 47 Ficha técnica inspección visual 3. Fuente: Elaboración propia.</i>	161
<i>Ilustración 48 Ficha técnica inspección visual 4. Fuente: Elaboración propia.</i>	161
<i>Ilustración 49 Ficha técnica inspección visual 5. Fuente: Elaboración propia.</i>	162

<i>Ilustración 50 Ficha técnica inspección visual 6. Fuente: Elaboración propia.</i>	162
<i>Ilustración 51 Ficha técnica inspección visual 7. Fuente: Elaboración propia.</i>	163
<i>Ilustración 52 Ficha técnica inspección visual 8. Fuente: Elaboración propia.</i>	163
<i>Ilustración 53 Ficha de visita técnica 1. Fuente: Elaboración propia.</i>	164
<i>Ilustración 54 Ficha de visita técnica 2. Fuente: Elaboración propia.</i>	165
<i>Ilustración 55 Ficha de visita técnica 3. Fuente: Elaboración propia.</i>	165
<i>Ilustración 56 Ficha de visita técnica 4. Fuente: Elaboración propia.</i>	166
<i>Ilustración 57 Ficha de visita técnica 5. Fuente: Elaboración propia.</i>	166
<i>Ilustración 58 Ficha de visita técnica 6. Fuente: Elaboración propia.</i>	167
<i>Ilustración 59 Mapa microzonificación sísmica de Bogotá Fuente: anexo 4, informe de suelos</i>	170
<i>Ilustración 60 Índice de sobreesfuerzo flexo compresión columnas Fuente: Elaboración propia.</i>	175
<i>Ilustración 61 Índice de sobreesfuerzo cortante columnas Fuente: Elaboración propia.</i>	176
<i>Ilustración 62 Índice de sobre esfuerzo cortante muros Fuente: Elaboración propia.</i>	177
<i>Ilustración 63 índice de sobre esfuerzo flexión vigas Fuente: Elaboración propia.</i>	178
<i>Ilustración 64 índice de sobre esfuerzo cortante vigas Fuente: Elaboración propia.</i>	179
<i>Ilustración 65 Resultados regatas Fuente: Elaboración propia.</i>	184
<i>Ilustración 66 Cubierta modelo 3D Fuente: Elaboración propia.</i>	192
<i>Ilustración 67 Visualización 3D del modelo digital Fuente: Elaboración propia.</i>	193
<i>Ilustración 68 Visualización modelo digital sin placas Fuente: Elaboración propia.</i>	193
<i>Ilustración 69 Cubierta modelo 3D grado de vulnerabilidad Fuente: Elaboración propia.</i>	194
<i>Ilustración 70 perspectiva modelo digital suroriental Fuente: Elaboración propia.</i>	194
<i>Ilustración 71 Modelo digital perspectiva noroccidental Fuente: Elaboración propia.</i>	195
<i>Ilustración 72 patología y localización de la columna Fuente: Elaboración propia.</i>	195
<i>Ilustración 73 Recomendación técnica patología presentada en la columna Fuente: Elaboración propia.</i>	196
<i>Ilustración 74 Identificación de patología y localización de la viga Fuente: Elaboración propia.</i>	196
<i>Ilustración 75 Vista a corte de la patología identificada en la viga Fuente: Elaboración propia.</i>	197
<i>Ilustración 76 Recomendación técnica para rehabilitación de patología en viga. Fuente: Elaboración propia.</i>	198
<i>Ilustración 77 Recomendación técnica para rehabilitación de patología en viga Fuente: Elaboración propia.</i>	201
<i>Ilustración 78 Identificación de patología y localización del muro. Fuente: Elaboración propia.</i>	202
<i>Ilustración 79 Recomendación técnica rehabilitación patología muro. Fuente: Elaboración propia.</i>	202
<i>Ilustración 80 Vista nororiental en vuelo. Fuente: Elaboración propia.</i>	203
<i>Ilustración 81 Vista suroccidental en vuelo. Fuente: Elaboración propia.</i>	203
<i>Ilustración 82 Vista noroccidental de vuelo. Fuente: Elaboración propia.</i>	204
<i>Ilustración 83 Vista suroriental de vuelo. Fuente: Elaboración propia.</i>	204
<i>Ilustración 84 Vista en planta de la edificación. Fuente: Elaboración propia.</i>	205

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Tabla de condiciones generales.</i>	25
<i>Tabla 2 concepto de uso dotacional.</i>	26
<i>Tabla 3 Destinación de espacios.</i>	28
<i>Tabla 4 Clasificación de las fisuras fuente: Elaboración propia</i>	78
<i>Tabla 5 coeficientes estructura original. Fuente: NSR-10</i>	168
<i>Tabla 6 Coeficiente de importancia. Fuente: NSR-10</i>	168
<i>Tabla 7 Zona de amenaza sísmica, valores de coeficientes Aa y Av. Fuente: NSR-10</i>	169
<i>Tabla 8 Parámetros espectro de aceleraciones de derivas con coeficiente de amortiguamiento del 5% según la microzonificación.</i>	171
<i>Tabla 9 Valores coeficientes establecidos por la NSR-10 para sistema estructural combinado Fuente: NSR 10</i>	173
<i>Tabla 10 Índices de flexibilidad por piso Fuente: Elaboración propia.</i>	173
<i>Tabla 11 Índice de sobreesfuerzo flexo compresión columnas por piso Fuente: Elaboración propia.</i>	174
<i>Tabla 12 Índice de sobreesfuerzo cortante columnas por piso Fuente: Elaboración propia.</i>	175

Tabla 13 Índice de sobre esfuerzo por piso cortante muros Fuente: Elaboración propia.	177
Tabla 14 Índices de sobre esfuerzo por piso momento negativo Fuente: Elaboración propia.	178
Tabla 15 Índices de sobre esfuerzo por piso momento positivo Fuente: Elaboración propia.	178
Tabla 16 Índices de sobre esfuerzo por piso cortante Fuente: Elaboración propia.	179
Tabla 17 Resultados núcleos de extracción Fuente: Anexo 5. Tabla de resultados de ensayos	180
Tabla 18 Promedio de resultados para los elementos estructurales Fuente: Elaboración propia.	180
Tabla 19 Resultados Ferroskan Fuente: Anexo 5. Tabla de resultados de ensayos	182
Tabla 20 Resultados Carbonatación Fuente: Anexo 5. Tabla de resultados de ensayos	185
Tabla 21 Resultados profundidad de carbonatación Fuente: Elaboración propia.	186
Tabla 22 Escala de vulnerabilidad Fuente: Elaboración propia.	187
Tabla 23 Matriz de inspección visual in situ Fuente: Elaboración propia.	187
Tabla 24 Código de ensayos Fuente: Elaboración propia.	188
Tabla 25 Matriz de ensayos sector 1 Fuente: Elaboración propia.	189
Tabla 26 Matriz de ensayos sector 2 Fuente: Elaboración propia.	189
Tabla 27 Matriz de ensayos sector 3 Fuente: Elaboración propia.	189
Tabla 28 Matriz de ensayos sector 4 Fuente: Elaboración propia.	190
Tabla 29 Matriz de ensayos sector 5 Fuente: Elaboración propia.	190
Tabla 30 Matriz de ensayos sector 7 Fuente: Elaboración propia.	190
Tabla 31 Matriz de ensayos sector 8 Fuente: Elaboración propia.	191
Tabla 32 Matriz de ensayos sector 9 Fuente: Elaboración propia.	191
Tabla 33 Resumen de Sectorización. Fuente: Elaboración propia.	197
Tabla 34 Clasificación y análisis de patologías Fuente: Elaboración propia.	205

RESUMEN

Este proyecto de grado aborda la problemática de la desarticulación metodológica entre el modelado BIM y el análisis de vulnerabilidad sísmica en edificaciones institucionales de Bogotá. Tomando como caso de estudio de un edificio administrativo localizado en el sector de Teusaquillo, Bogotá, el trabajo propone desarrollar un esquema de recomendaciones que integre estas tecnologías para optimizar la evaluación estructural según la normativa NSR-10. La investigación plantea crear un modelo paramétrico que facilite la identificación de riesgos sísmicos, patologías estructurales y puntos críticos mediante análisis tridimensionales y representaciones gráficas. El enfoque metodológico incluye inspecciones in situ, análisis de información existente y simulaciones computacionales para establecer diagnósticos precisos que fundamenten futuras intervenciones. El proyecto se limita a la evaluación técnica y documental, excluyendo implementaciones físicas de reforzamiento, pero incluyendo análisis de costos y control de tiempos básicos y sus valoraciones de viabilidad que servirán como base para la toma de decisiones relacionadas con la integridad estructural del edificio.

ABSTRACT

This degree project addresses the problem of the methodological disarticulation between BIM modeling and seismic vulnerability analysis in institutional buildings in Bogotá. Taking as a case study, an administrative building located in the Teusaquillo sector, Bogotá, the work proposes to develop a scheme of recommendations that integrates these technologies to optimize structural evaluation according to the NSR-10 standard. The research proposes to create a parametric model that facilitates the identification of seismic risks, structural pathologies and critical points through three-dimensional analysis and graphic representations. The methodological approach includes on-site inspections, analysis of existing information, and computer simulations to establish accurate

diagnoses to inform future interventions. The project is limited to technical and documentary evaluation, excluding physical reinforcement implementations, but includes cost analysis and control of basic times and their feasibility assessments that will serve as a basis for decision-making related to the structural integrity of the building.

INTRODUCCIÓN

La gestión de riesgos sísmicos en edificaciones institucionales representa un desafío técnico y administrativo de primer orden en ciudades como Bogotá, donde la amenaza sísmica y la presencia de estructuras construidas bajo normativas anteriores configuran un escenario de vulnerabilidad creciente. Este trabajo surge de la identificación de una brecha significativa en la integración de tecnologías digitales avanzadas con metodologías tradicionales de evaluación estructural.

La fragmentación de protocolos, la dispersión de información técnica y las limitaciones en la visualización de escenarios de riesgo constituyen síntomas evidentes de un problema que afecta directamente la eficiencia en la gestión de proyectos de rehabilitación estructural. La deficiencia en la toma de decisiones informadas, medible a través del tiempo invertido en la resolución de conflictos estructurales, refleja la necesidad urgente de establecer metodologías unificadas que optimicen recursos técnicos y humanos.

El edificio administrativo construido durante los años 1968 al 1975, este caso es paradigmático para este estudio por su relevancia institucional, complejidad constructiva y antigüedad que lo sitúa fuera de los parámetros sismorresistentes actuales. Su función estratégica como sede gubernamental que recibe aproximadamente 4,000 personas diariamente magnifica la importancia de garantizar su integridad estructural frente a eventos sísmicos.

La presente investigación propone desarrollar un esquema de recomendaciones que integre las potencialidades del modelado BIM con las exigencias técnicas del análisis de vulnerabilidad sísmica, estableciendo procedimientos estandarizados que permitan identificar sistemáticamente riesgos estructurales, visualizar escenarios de comportamiento sísmico y proponer intervenciones

fundamentadas en evidencia científica. Este enfoque busca trascender la simple inspección visual para ofrecer un diagnóstico preliminar que garantice la seguridad y resiliencia de edificaciones institucionales en contextos de alto riesgo sísmico a través de la integración con la metodología BIM.

En el contexto de este trabajo, la integración BIM no se limita a la elaboración de un modelo tridimensional del edificio. Se trata de construir una representación digital que no solo refleje la forma física de la edificación, sino que también incorpore información relevante sobre su estado estructural, el nivel de vulnerabilidad sísmica y las posibles acciones de intervención. De esta manera, el modelo se convierte en una herramienta práctica para comprender el comportamiento del edificio y apoyar la toma de decisiones, especialmente en contextos donde la información técnica es limitada o dispersa.

1. PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN

Aunque tecnologías como BIM han transformado la forma en que se diseñan y gestionan nuevas edificaciones, todavía existe una gran dificultad cuando se trata de edificios ya construidos. Muchos de ellos, como el edificio del caso de estudio, no cuentan con planos digitalizados ni cumplen con la normativa sísmica actual, lo que dificulta su evaluación estructural y deja en evidencia una realidad: no estamos preparados para intervenir adecuadamente el patrimonio construido.

Esta falta de integración entre las herramientas digitales y el análisis de vulnerabilidad sísmica se traduce en una dispersión de la información técnica. Uno de los síntomas más visibles es la ausencia de datos estructurales consolidados, medible como un porcentaje (%) que impacta directamente la eficiencia en la gestión del proyecto. Este vacío no solo retrasa los procesos, sino que también compromete la toma de decisiones informadas.

La limitación en la visualización de escenarios de riesgo, cuantificable por el "índice de representación tridimensional de amenazas sísmicas" (que mide la capacidad de modelar y visualizar en tres dimensiones la distribución espacial y magnitud de los peligros sísmicos en un área geográfica) se puede cuantificar mediante una escala de 0 a 10. Este indicador representa una variable parcialmente controlable que depende tanto de las herramientas tecnológicas disponibles como de las competencias técnicas del equipo de proyecto.

La fragmentación de protocolos de análisis, medible mediante el "número de procedimientos no estandarizados en evaluación de vulnerabilidad", cuya unidad de medida son procedimientos/proyecto. Esta variable es considerada controlable y refleja directamente la

necesidad de desarrollar un manual personalizado que optimice los procesos de integración metodológica.

La deficiencia en la toma de decisiones informadas, evaluable a través del tiempo promedio de resolución de conflictos estructurales medido en horas/conflicto. Este indicador representa una variable parcialmente controlable que depende de la calidad de la información disponible, la experiencia del equipo técnico y la validez de las herramientas de modelado utilizadas.

Estos síntomas, en su conjunto, evidencian la necesidad crítica de establecer una metodología clara y unificada que permita la integración efectiva entre BIM y el análisis de vulnerabilidad sísmica, optimizando tanto los recursos técnicos como humanos involucrados en el proceso.

1.2 DESCRIPCIÓN

En el contexto actual de la gestión de proyectos de construcción en Bogotá, existe una brecha significativa en la integración de metodologías de análisis de vulnerabilidad sísmica con herramientas de modelado de información de construcción (BIM). Esta situación se caracteriza por la falta de un enfoque sistemático que permita una evaluación integral y personalizada de los riesgos sísmicos durante las diferentes etapas de desarrollo de un proyecto.

La metodología tradicional de análisis de vulnerabilidad sísmica presenta limitaciones en términos de visualización, integración de datos y gestión de información, lo que dificulta la toma de decisiones oportunas y la implementación de estrategias de mitigación de riesgos. Los profesionales del sector construcción frecuentemente se enfrentan a desafíos para consolidar información técnica, estructural y geográfica de manera eficiente y comprehensiva.

La ausencia de un esquema de recomendaciones personalizado que oriente la integración de herramientas BIM con metodologías de vulnerabilidad sísmica genera dispersión de

información, duplicidad de esfuerzos y potenciales errores en la interpretación de datos críticos para la seguridad estructural. Esto representa un obstáculo para la optimización de los procesos de planificación, diseño y gestión de proyectos de infraestructura.

La situación actual revela una desconexión entre las herramientas tecnológicas disponibles y su aplicación sistemática en el análisis de vulnerabilidad sísmica, lo que limita la capacidad de los profesionales para generar modelos predictivos precisos y estrategias de intervención efectivas. La falta de una metodología estandarizada impide el aprovechamiento integral de las potencialidades de las herramientas BIM.

El problema se evidencia en la necesidad de desarrollar una solución que permita la convergencia de información técnica, la visualización de escenarios de riesgo y la generación de metodologías específicas que faciliten la toma de decisiones a futuro informadas en proyectos de construcción con alto componente de vulnerabilidad sísmica, mejorando así la eficiencia y la calidad de los procesos de gestión de proyectos, para que la vida útil de los edificios en Bogotá sea más prolongada.

1.3 PLANTEAMIENTO

¿Cómo se puede implementar una metodología BIM personalizada para mejorar el análisis de vulnerabilidad sísmica y la evaluación de edificios institucionales en Bogotá?

2. DELIMITACIÓN

2.1 CONCEPTUAL

El presente proyecto busca la implementación de una metodología que combina las tecnologías Building Information Modeling (BIM) con el análisis de vulnerabilidad sísmica,

específicamente aplicada a un edificio administrativo ubicado en Bogotá. Esta edificación representa un caso de estudio significativo dentro del contexto de las estructuras institucionales de la ciudad, las cuales, según González, las construcciones deberían priorizarse en los planes de evaluación y refuerzo estructural por su valor estratégico en la respuesta ante emergencias y para asegurar que la administración pública pueda seguir funcionando durante y tras un terremoto importante, requieren especial atención debido a su rol estratégico en la continuidad de servicios públicos durante eventos sísmicos. (González. 2017).

La investigación comprenderá el planteamiento de un primer modelo BIM de la estructura existente, incorporando información paramétrica sobre materiales y elementos estructurales. Este modelo servirá como base fundamental para la documentación del estado actual de la edificación y permitirá realizar evaluaciones estructurales según los parámetros establecidos en la NSR-10. Pues se señala que la implementación de BIM en análisis estructurales ha demostrado mejorar la precisión de las evaluaciones en un 40%. (Morales-Típan; González-MAppeals 2019). Lo cual respalda la pertinencia de esta aproximación metodológica.

El estudio abarcará una evaluación estructural que incluirá el análisis de la configuración estructural existente, la determinación de propiedades mecánicas de materiales y la evaluación preliminar de elementos estructurales principales. Este proceso se complementará con una representación gráfica con una escala de calor para el comportamiento sísmico que permitirán identificar puntos críticos y patologías estructurales. Según Patiño y Gómez, la implementación de protocolos BIM en evaluaciones de vulnerabilidad sísmica ha permitido una mejora del 60% en la precisión de los modelos estructurales, lo cual fundamenta la elección de esta metodología.

Como parte fundamental del alcance, se desarrollará un esquema de recomendaciones metodológico que documentará procedimientos, protocolos y criterios utilizados en la evaluación. Este esquema de recomendaciones servirá como guía de referencia para futuros proyectos similares, estableciendo estándares claros para la integración de tecnologías BIM en análisis de vulnerabilidad sísmica. La documentación incluirá metodologías de modelado BIM, criterios propios de análisis estructural y guías comprehensivas de implementación.

El proyecto generará un modelo BIM integral que incluirá una representación de la estructura, acompañada de una base de datos paramétrica y toda la documentación técnica asociada. Este modelo servirá como herramienta fundamental para la gestión futura de la edificación y como referencia para evaluaciones posteriores, y una posible mayor vida útil de este tipo de proyectos. La convergencia entre metodologías BIM y análisis de vulnerabilidad sísmica representa no solo una mejora tecnológica, sino un cambio paradigmático en la forma de abordar la evaluación estructural (Ramírez y González, 2023).

Es importante señalar las limitaciones específicas del proyecto, el cual no contemplará la implementación física de reforzamientos estructurales ni modificaciones a la estructura existente. Se incluirá análisis de costos de posibles intervenciones y la evaluación de la relación beneficio/costo. Estas limitaciones se establecen para mantener el enfoque en el desarrollo metodológico y la evaluación técnica, aspectos fundamentales para establecer una base sólida para futuras intervenciones.

El proyecto se desarrollará siguiendo una metodología rigurosa que incluye la recopilación y análisis de información existente, el modelado y análisis BIM, la evaluación estructural detallada, y la documentación comprehensiva de todos los hallazgos y procedimientos. Este proceso sistemático asegurará la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos,

proporcionando una base sólida para la toma de decisiones relacionadas con la seguridad estructural de la edificación.

2.2 GEOGRÁFICA

El estudio de caso se lleva a cabo en la Carrera 30 N° 25-90 específicamente en un edificio administrativo en la ciudad de Bogotá. Esta área es significativa para el estudio de integración de metodologías BIM en proyectos de rehabilitación estructural, debido a que su estructura probablemente presenta desafíos típicos de edificaciones institucionales de cierta antigüedad que requieren rehabilitación, además de su significancia urbana y administrativa que otorgan la relevancia a un desarrollo eficiente, rápido y seguro, por la accesibilidad y la imagen institucional que allí predomina.



Ilustración 1. Locación satelital del edificio administrativo. Recuperado de: Google Map, 2025

2.3 CRONOLÓGICA

Este edificio administrativo de Bogotá, construido en 1974 (aproximadamente 51 años de antigüedad), constituye un caso ideal para esa integración de metodologías BIM en rehabilitación estructural por su relevancia administrativa como sede del gobierno distrital y su complejidad

constructiva. El edificio, con sus tres pisos y aproximadamente 27,175 m² de área construida, presenta desafíos estructurales propios de edificaciones institucionales de su época, incluyendo sistemas constructivos que hoy evidentemente requieren actualización sísmica según la norma NSR-10 vigente en Colombia.

Esta ubicación sobre la Carrera 30, una de las principales arterias viales de Bogotá, además de su función como nodo administrativo que recibe aproximadamente 4,000 personas diariamente entre funcionarios y ciudadanos, magnifican el impacto de cualquier intervención o estudio. La rehabilitación debe garantizar la continuidad operativa de las entidades distritales que allí se encuentren, representando el escenario perfecto para demostrar cómo BIM puede optimizar la gestión de fases constructivas y de estudio, coordinar múltiples disciplinas y minimizar interferencias en un proyecto de rehabilitación estructural.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología de integración entre herramientas BIM y análisis de vulnerabilidad sísmica para edificaciones institucionales existentes en Bogotá, que permita consolidar la información estructural dispersa y mejorar la toma de decisiones en la gestión del riesgo.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explorar y entender el estado actual de la información estructural de edificaciones institucionales en Bogotá, identificando qué datos existen, cuáles hacen falta y cómo esta falta de información afecta la gestión del riesgo sísmico.

- Recolectar y digitalizar información clave del edificio objeto de estudio a través de visitas técnicas y herramientas geoespaciales, con el fin de construir una base confiable para el análisis.
- Analizar la vulnerabilidad sísmica del edificio, aplicando métodos validados que permitan visualizar sus debilidades estructurales y entender cómo podría responder ante un evento sísmico.
- Conectar el análisis estructural con un modelo BIM, integrando la información técnica en una plataforma visual e interactiva que facilite la comprensión del riesgo y la toma de decisiones.
- Diseñar una propuesta práctica de uso de BIM en edificaciones existentes, que ayude a superar los retos que implica trabajar con información incompleta y mejore la gestión del riesgo en contextos reales

4. ANTECEDENTES

El edificio administrativo está ubicado en la localidad de Teusaquillo y de acuerdo con el Decreto 419 de 2018, se establece como terreno que se encuentra de Servicios Distritales y Unidad de Planeamiento Zonal – UPZ No. 101 Teusaquillo, y presenta la siguiente zonificación:

Tabla 1 Tabla de condiciones generales.

CONDICIONES GENERALES	
Unidad de Planeamiento Zonal	UPZ No. 101 Teusaquillo, Localidad Teusaquillo
Sector	10
Subsector de Edificabilidad.	Único
Área de Actividad Zona / Sector	Central POZ Centro, Sector D: Centro Administrativo Distrital
Tratamiento	Renovación: Reactivación, Redesarrollo.
Sector de Demanda Estacionamientos	Zona B.

Recuperado de Anexo técnico

Este edificio posee un área bruta aproximada de 27.174.08 m2 y tiene linderos por el costado norte con la Avenida Jorge Eliecer Gaitán (Avenida Calle 26); por el suroriente con la Avenida Teusaquillo (Avenida Calle 25) y finalmente por el occidente con la Avenida Ciudad de Quito (Avenida Carrera 30). Por otro lado, el edificio administrativo mediante el decreto distrital 190 de 2004 POT tiene concepto de uso dotacional, equipamiento servicio urbano básico, tipo servicios de la Administración Pública de Escala Metropolitana como se muestra a continuación.

Tabla 2 concepto de uso dotacional.

DOTACIONALES				
4. SERVICIOS URBANOS BÁSICOS				
TIPO	DESCRIPCIÓN UNIDADES DE SERVICIO	ESCALA	LOCALIZACIÓN LIENAMIENTOS GENERALES	CONDICIONES
4,6). SERVICIOS DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA	Sedes principales de entidades públicas y sedes administrativas de servicios públicos, centros Administrativos Nacionales, Departamentales y Distritales (...)	Metropolitana	Centro Metropolitano en: Zonas de Comercio Cualificado. Zonas de comercio Aglomerado Zonas Especiales de Servicios Básicos Urbanos Zona de Servicios Básicos Urbanos Áreas de Actividad Central en: Sector H, I, U (6) Sector L, M, N, (6,9) Zona de Servicios Básicos Urbanos.	(2) Puede permitirse bajo condiciones específicas señaladas mediante plan parcial, plan de implantación o plan de regulación y manejo.

Recuperado del Anexo técnico

De acuerdo con la clasificación establecida, el inmueble se encuentra categorizado como Actividad Dotacional según lo dispuesto en el numeral 1 del artículo 344 del Decreto 190 de 2004 (POT), el cual establece que sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo anterior, los inmuebles de escala metropolitana, urbana y zonal con uso dotacional existentes, los señalados como institucionales por normas anteriores, los que se destinen en el futuro a este uso, o mediante la destinación del suelo hecha en este Plan, en sus fichas normativas, o sean incluidos mediante Planes de Regulación y Manejo, deben mantener el uso dotacional y quedan comprendidos por las normas del tratamiento de Consolidación para Sectores Urbanos Especiales (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004, art. 344).

Por otro lado, y de acuerdo con la resolución 1550 del 22 de octubre de 2018 establece lo siguiente. “Por lo cual se adopta el Plan de Regulación y Manejo del centro administrativo, ubicado en la localidad de Teusaquillo” establece que dentro del área de intervención del Plan de Regulación y Manejo. El inmueble cuenta con declaratoria como Bien de Interés Cultural – BIC del ámbito Distrital y según el Decreto 419 de 2018 de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.



Ilustración 2 línea del tiempo análisis estructural edificio administrativo

El edificio administrativo fue construido por la empresa Cuellar Serrano Gómez desde el año 1968 al 1975 bajo la licencia No. 6315 de 22 de octubre de 1968 O.N. No. 46342 de 1968, esta sede fue reforzada en el año 2004 y desde entonces no se tienen registros de análisis de vulnerabilidad sísmica de este edificio. Este cuenta con cimentación de zapata aislada vinculadas con vigas de amarre: estructura en vigas de concreto, entrepisos de concreto; fachada en prefabricados de concretos sobrepuestos a los ventanales; mampostería en bloque ladrillo;

ventanas con marcos en perfiles de acero y vidrios; cubierta en concreto impermeabilizada. En el siguiente cuadro se mostrarán los espacios destinados de acuerdo con lo existente.

Tabla 3 Destinación de espacios.

TORRE B			
Piso	espacio o entidad	Dependencia	Características de acabados
sótano	zona común	Cafetería, vestieres, duchas, baños, sala de conductores, almacén de bienes, cuarto de mantenimiento, cuartos de subestaciones eléctricas, plantas de respaldo eléctricas, cuarto de residuos peligrosos y parqueaderos.	Muros estucados y pintados, ladrillo a la vista, concreto a la vista, cielo raso en fibra mineral, piso en porcelanato, piso en baldosa y en concreto, ventanas en lamina de acero, aluminio y vidrio
1 piso	Supercade	Radicación de entidades, módulos de atención al ciudadano de las diferentes entidades, áreas fotocopiado, oficina de atención de planeación distrital, sala de lactancia para usuarios y oficinas	Pisos en mármol, pvc, piso laminado, muros en concreto a la vista, estucados y pintados, muros en drywall, cielo raso en lamina mineral, ventanería en lámina de acero, aluminio y vidrio, puertas en vidrio templado, oficinas de supercade, cafeterías y baños de supercade.
2 piso	Oficinas de catastro, planeación distrital y secretaria de hacienda,	Oficinas abiertas y cerradas en módulos de vidrio y paño, auditorios, baños, cocinas y datacenter,	Pisos en cerámica, y en concreto, muros estucados y pintados, puertas en video y metálicas, cielo raso en fibra mineral,

Recuperado del anexo técnico

Adicional el edificio, cuenta con un ascensor con capacidad para 10 personas / 750 kg con 3 paradas cuenta con subestación y planta eléctricas de respaldo, tanque de almacenamiento de agua potable y sistema de bombeo de agua potable. También cuenta con sistema de detección de incendios, gabinete contraincendios, sistema de cableado estructurado y red de vos y datos con UPS y Sistema de administración del edificio (BMS).

En la actualidad diariamente se atienden aproximadamente 2540 personas y 1469 funcionarios; con un total de 4000 personas aproximadamente de lunes a sábado. Por otro lado, y realizando inspección de la estructura se tiene que el edificio muestra signos evidentes de deterioro estructural que comprometen su integridad y seguridad. Las fotografías revelan múltiples fisuras y grietas en diferentes elementos constructivos, desde fachadas hasta puntos de conexión entre estructuras, lo que sugiere un proceso de degradación significativo.

La evaluación visual detallada muestra una compleja red de afectaciones que van más allá de simples imperfecciones superficiales. Las grietas horizontales y verticales en el concreto, junto con las irregularidades en los puentes de conexión, indican posibles problemas estructurales más profundos que podrían comprometer la estabilidad del edificio. Los elementos de concreto muestran signos de fatiga, con superficies irregulares y evidentes señales de estrés que requieren una intervención.

Considerando que el edificio alberga diariamente alrededor de 4000 personas, entre visitantes y funcionarios, la necesidad de una evaluación y rehabilitación estructural se vuelve algo necesaria. La ausencia de registros recientes de análisis de vulnerabilidad sísmica añade un interés adicional de preocupación, especialmente en un contexto urbano donde la seguridad estructural es fundamental para la protección de la comunidad, los usuarios y la continuidad de los servicios administrativos.

4.1 INTERNOS

4.1.1 Historia y función del edificio administrativo distrital

Este complejo de edificios, que alberga múltiples dependencias de la administración distrital, fue objeto de un exhaustivo estudio de vulnerabilidad que reveló deficiencias en la capacidad de disipación de energía de sus estructuras originales. La rehabilitación incluyó la adición estratégica de muros estructurales y el reforzamiento de columnas existentes con técnicas de encamisado en concreto, logrando reducir significativamente su vulnerabilidad (Instituto de Desarrollo Urbano [IDU], 2019).

Según Quintero y Rodríguez (2020), "la intervención en el edificio administrativo logró incrementar la capacidad de disipación de energía en un 60% y reducir las derivas máximas en un

40%, cumpliendo los requisitos de la NSR-10 sin afectar significativamente la funcionalidad del complejo" (p. 211).

El edificio administrativo fue construido a finales de la década de 1960 e inaugurado a principios de los años 70 como parte de un esfuerzo por centralizar las operaciones administrativas del Distrito Capital (Departamento Administrativo de Planeación Distrital [DAPD], 2003). Según Vargas y Ramírez (2018), "el edificio administrativo representó un hito en la planificación urbana bogotana, estableciendo un modelo de concentración administrativa que buscaba mejorar la eficiencia gubernamental y facilitar el acceso ciudadano a los servicios distritales" (p. 45).

El complejo fue diseñado para albergar múltiples secretarías y entidades distritales en un solo lugar, siguiendo tendencias internacionales de la época que promovían la centralización administrativa como estrategia de modernización del Estado (Mejía, 2019).

4.1.2 Ubicación y características arquitectónicas

El edificio administrativo está ubicado en la Avenida Carrera 30 (NQS) con Calle 26, en un punto estratégico de Bogotá que lo hace accesible desde diferentes zonas de la ciudad. "La ubicación del edificio administrativo no fue casualidad sino producto de un cuidadoso análisis urbano que buscaba situar la administración distrital en un punto equidistante a los principales sectores poblados de la Bogotá de los años 60" (Cortés, 2017, p. 112).

El complejo está conformado por varios edificios interconectados, destacándose el edificio principal de 4 pisos de altura. Arquitectónicamente, representa un ejemplo del modernismo en la arquitectura pública colombiana, con fachadas sobrias y funcionales, ventanales y una distribución que buscaba maximizar la eficiencia administrativa (Salazar & Ortiz, 2020).

Rodríguez (2021) describe el edificio administrativo como "uno de los ejemplos más representativos de la arquitectura institucional del movimiento moderno en Colombia, donde la forma sigue estrictamente a la función, evidenciando los principios racionalistas que dominaban el diseño de edificios gubernamentales de la época" (p. 76).

Proceso de rehabilitación estructural

Dada la importancia estratégica del edificio para la administración distrital, se realizó un proceso de rehabilitación estructural integral que incluyó:

1. Diagnóstico detallado:

Se realizaron ensayos no destructivos (esclerómetro, ultrasonido, extracción de núcleos) para caracterizar la calidad del concreto existente y la disposición del refuerzo (Peña et al., 2015).

2. Modelación computacional:

Se desarrollaron modelos estructurales detallados para simular el comportamiento de la estructura ante diferentes escenarios sísmicos y evaluar diversas alternativas de reforzamiento. El análisis mediante simulación computacional demostró que la estructura en su estado original experimentaría desplazamientos relativos de hasta 1.8% ante un evento sísmico con período de retorno de 475 años, excediendo notablemente el umbral máximo permitido de 1% que establece la normativa vigente para construcciones clasificadas como indispensables. (Sánchez & Torres, 2017, p. 134).

3. Intervenciones estructurales:

- Adición estratégica de muros estructurales en concreto reforzado en ubicaciones clave para reducir derivas y efectos torsionales
- Encamisado de columnas existentes para aumentar su capacidad de carga y ductilidad
- Reforzamiento de conexiones viga-columna
- Rehabilitación y reforzamiento de la cimentación en zonas críticas
- Mejoramiento de la integración entre elementos estructurales y no estructurales (Instituto de Desarrollo Urbano [IDU], 2019)

4. Implementación por fases:

La rehabilitación se realizó por sectores para mantener la operatividad del complejo durante las intervenciones, minimizando la interrupción de servicios públicos. Según Quintero y Rodríguez (2020), "el plan de intervención se estructuró en cinco fases secuenciales que permitieron mantener operativo aproximadamente el 75% del complejo en todo momento, representando un caso ejemplar de rehabilitación con mínima interrupción" (p. 203).

Resultados y beneficios

Los resultados de la rehabilitación fueron significativos:

- Reducción de aproximadamente 40% en las derivas máximas esperadas
- Aumento del 60% en la capacidad de disipación de energía del sistema estructural
- Mejora en el comportamiento global de la estructura, con respuesta más uniforme ante cargas sísmicas

- Cumplimiento de los estándares de la NSR-10 para edificaciones indispensables (Quintero & Rodríguez, 2020)

4.1.3 Metodología de los Estudios de Vulnerabilidad

Fases de Evaluación

Los estudios de vulnerabilidad estructural en edificios gubernamentales de Bogotá típicamente siguen un proceso sistemático que incluye:

1. Evaluación preliminar: Revisión documental, identificación de sistemas estructurales y verificación visual del estado de conservación (Maldonado et al., 2019).
2. Caracterización estructural detallada: Incluye ensayos no destructivos y destructivos para determinar propiedades de los materiales, levantamiento geométrico preciso y modelación estructural (Yamin et al., 2017).
3. Análisis de comportamiento sísmico: Mediante métodos estáticos y dinámicos que simulan la respuesta de la estructura ante diferentes escenarios sísmicos (Bonett, 2022).
4. Evaluación del índice de vulnerabilidad: Determinación cuantitativa del nivel de vulnerabilidad según metodologías reconocidas como FEMA P-154, ATC-40 o adaptaciones locales (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias [FEMA], 2015).

Cardona (2019) destaca que "la selección de metodologías de evaluación debe considerar las particularidades constructivas locales y las limitaciones en disponibilidad de información histórica en muchos edificios gubernamentales bogotanos" (p. 78).

Técnicas de Evaluación No Destructiva

Los estudios modernos emplean diversas técnicas no destructivas para caracterizar las estructuras sin afectar su integridad:

- Esclerómetro para estimación de resistencia del concreto
- Ultrasonido para detección de discontinuidades
- Termografía infrarroja para identificación de humedad y deterioro
- Georradar para localización de refuerzo y elementos embebidos
- Medición de vibraciones ambientales para determinación de parámetros dinámicos

Según Prada et al. (2020), "las técnicas no destructivas avanzadas han revolucionado la precisión de las evaluaciones de vulnerabilidad en edificios históricos gubernamentales de Bogotá, reduciendo la incertidumbre en la caracterización de materiales y sistemas estructurales" (p. 128).

Modelación Computacional

La modelación estructural mediante software especializado como ETABS, SAP2000 o similares permite:

- Simular el comportamiento estructural ante diferentes intensidades sísmicas
- Identificar zonas críticas con potenciales concentraciones de esfuerzos

- Evaluar el desempeño estructural según diferentes criterios (deformaciones, derivas, capacidad)
 - Analizar la efectividad de diferentes estrategias de reforzamiento

Prieto y Gómez (2021) encontraron que "la calibración de modelos computacionales con mediciones de vibraciones ambientales mejora significativamente la precisión en la predicción del comportamiento sísmico de edificios gubernamentales en Bogotá" (p. 217).

4.1.4 Hallazgos Comunes en Edificios Gubernamentales de Bogotá

Tipologías Estructurales Predominantes

Los edificios gubernamentales de Bogotá presentan diversas tipologías estructurales según su época de construcción:

1. Edificios históricos (pre-1960): Predominantemente mampostería no reforzada, muros de carga en adobe o ladrillo, y en algunos casos estructuras híbridas con elementos de concreto (Ramírez & Casas, 2018).
2. Edificios de mediados del siglo XX (1960-1984): Estructuras porticadas de concreto reforzado con deficiencias en ductilidad y detallado sísmico (López et al., 2020).
3. Edificios contemporáneos (post-1984): Sistemas duales, muros estructurales o pórticos especiales con mayor consideración sísmica, aunque no siempre cumpliendo con los estándares actuales (Torres & Martínez, 2022)

Deficiencias Estructurales Frecuentes

Los estudios han identificado patrones recurrentes de vulnerabilidad:

- Irregularidades en planta y elevación que generan torsión y concentración de esfuerzos
- Columnas cortas producidas por disposición inadecuada de muros divisorios
- Deficiencias en el confinamiento de elementos estructurales
- Ausencia de redundancia estructural
- Cimentaciones inadecuadas para las condiciones locales del suelo
- Deterioro de materiales por factores ambientales y falta de mantenimiento
- Intervenciones inadecuadas que han debilitado elementos estructurales originales

Según Bernal et al. (2018), "aproximadamente el 65% de los edificios gubernamentales evaluados en Bogotá presentan algún grado de vulnerabilidad estructural que requeriría intervención para cumplir con los estándares actuales de la NSR-10" (p. 192).

4.1.5 Estrategias de Rehabilitación Estructural

La selección de métodos de rehabilitación considera múltiples factores:

- Nivel de desempeño requerido según la importancia de la edificación
- Restricciones arquitectónicas y patrimoniales

- Limitaciones presupuestales
- Posibilidad de mantener el funcionamiento durante la intervención
- Disponibilidad de tecnologías y mano de obra calificada

Uribe y Sánchez (2019) afirman que la selección de estrategias para rehabilitar estructuras debe fundamentarse en análisis costo-beneficio que evalúen, además del costo directo de la intervención, los costos asociados a la interrupción de servicios y el valor del patrimonio cultural implicado. (p. 156).

Técnicas de Reforzamiento Implementadas

Entre las técnicas más utilizadas en edificios gubernamentales de Bogotá se encuentran:

1. Adición de elementos estructurales:
 - Muros de cortante en concreto reforzado
 - Arriostramientos metálicos
 - Marcos de momento
2. Reforzamiento de elementos existentes:
 - Encamisado de columnas con concreto o acero
 - Reforzamiento con fibras de carbono (CFRP) o vidrio (GFRP)
 - Postensado externo
3. Mejoramiento del comportamiento global:

- Implementación de sistemas de aislamiento sísmico
- Instalación de disipadores de energía
- Reducción de masa en niveles superiores

4. Intervenciones en cimentaciones:

- Ampliación de elementos de cimentación existentes
- Micropilotes para transferencia de cargas a estratos más competentes
- Mejoramiento del suelo mediante inyecciones

En Bogotá, los materiales compuestos como el CFRP han adquirido creciente aceptación gracias a su carácter poco invasivo y su alta eficiencia, especialmente en edificios gubernamentales sujetos a limitaciones por su valor patrimonial. (Moreno & Ruiz, 2021, p. 89).

4.2 EXTERNOS

4.2.1 Edificios institucionales

Edificio Liévano (Alcaldía Mayor)

La estructura original no cumplía con los requisitos de la normativa sísmica colombiana NSR-98 (vigente durante la época del reforzamiento). Presentaba grietas y fisuras en varios muros portantes. Los entrepisos de madera mostraban deflexiones excesivas y deterioro por humedad. La cimentación original era insuficiente según los estándares de la época.

Las intervenciones realizadas durante los años 2007-2008 consistieron en: El Reforzamiento de cimentación donde se implementó un sistema de micropilotes para mejorar la capacidad portante de la cimentación existente, se reemplazaron los entrepisos de madera por losas

de concreto para mejorar el comportamiento ante cargas sísmicas, se introdujeron columnas y vigas de concreto reforzado, cuidadosamente integradas con la estructura existente, se realizó la rehabilitación de la cubierta conservando la estructura metálica original de la cubierta, pero se reforzó con elementos adicionales. Teniendo en cuenta que estos procesos se ejecutaron bajo un cuidadoso trabajo de restauración de la fachada histórica, manteniendo sus características estéticas.

Basílica Menor del Sagrado Corazón de Jesús (Voto Nacional):

La estructura sufrió un notable deterioro en su fachada, techo y cúpula, con riesgo de colapso. Además, la fachada principal presentaba un desplome de 60 cm en su eje vertical, y las esculturas estaban desmoronándose, representando un peligro para los transeúntes. Las intervenciones se realizaron en dos etapas:

- Primera etapa (2016-2017): Reforzamiento estructural de la fachada principal, restauración del coro, el sotacoro y la torre del reloj. Se consolidaron las esculturas y se realizaron trabajos para mitigar humedades.
- Segunda etapa (2018-2020): Reforzamiento y rigidización estructural del presbiterio, transepto y cúpula. Se restauraron vitrales, yeserías y molduras, y se abordaron problemas de filtraciones de agua en las criptas.

Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria:

La estructura presentó deterioro debido al desgaste natural y al sismo de 1968, causando humedades, filtraciones, daños en el techo y agrietamientos. La torre occidental mostró inclinación, y las cúpulas de las torres estaban en mal estado. Desde entonces se le ha realizado diferentes intervenciones las cuales fueron:

- Década de los 90s: Estabilización de la torre occidental mediante el retiro de pañetes, aplicación de resinas y colocación de amarres.
- 1998: Instalación de una estructura metálica externa para apuntalar el muro hastial y las torres, previniendo colapsos.
- 2003-2004: Restauración integral que incluyó la detención de la inclinación del muro occidental, refuerzo estructural de las torres, intervención total de la cubierta, recuperación de hornacinas en la fachada y reconstrucción de las cúpulas de las torres.

Biblioteca Nacional de Colombia

La estructura contaba con diversas grietas estructurales en muros portantes, un deterioro avanzado de cubiertas con filtraciones que afectaban las colecciones, insuficiente capacidad estructural para resistir sismos de gran magnitud, problemas de estabilidad en elementos ornamentales de fachada y carbonatación del concreto en columnas principales.

Como intervención durante los años 2008-2010 se ejecutó un reforzamiento estructural mediante pantallas de concreto en puntos estratégicos, la instalación de disipadores sísmicos para absorber energía durante terremotos, mejoramiento de cimentación con inyecciones de concreto, reemplazo completo del sistema de cubiertas manteniendo diseño original, restauración completa de fachadas y elementos decorativos exteriores y la implementación de sistemas de monitoreo estructural permanente.

Hospital San Juan de Dios

Deterioro severo por abandono prolongado pues dejó su funcionalidad y se cerró en el año 2001, presentó un colapso parcial de cubiertas en varios pabellones, grietas estructurales graves en

muros de carga, daños por humedad en cimientos y primeros niveles, corrosión avanzada en elementos metálicos estructurales

Se realizó el reforzamiento estructural integral en edificios principales, construcción de nuevos sistemas de cimentación, recuperación y reforzamiento de muros portantes con técnicas compatibles con materiales originales, instalación de tensores y tirantes para estabilizar estructuras y la sustitución completa de cubiertas manteniendo diseños originales, su intervención fue iniciada en 2016 finalizando en 2019 su primera fase sigue en espera de la continuidad de las siguientes fases.

Palacio de San Francisco (Gobernación de Cundinamarca)

El palacio contaba con grietas significativas en muros de carga y elementos estructurales, problemas de asentamiento diferencial que afectaban estabilidad, deterioro de entresijos de madera, baja capacidad de resistencia a cargas sísmicas y problemas de humedad ascendente que debilitaban cimientos.

Como intervenciones se optó por realizar el reforzamiento estructural con sistemas de fibras de carbono en elementos críticos, construcción de pantallas de concreto estratégicamente ubicadas, mejoramiento de cimentación mediante micropilotes, restitución de entresijos con sistemas mixtos madera-acero, instalación de diafragmas rígidos para mejorar comportamiento sísmico y la impermeabilización de cimientos para controlar humedad realizando todos los trabajos mencionados durante los años 2007-2009.

Edificio Avianca

El edificio sufrió daños estructurales significativos tras el atentado del carro bomba en el año 1973 además de contar con, deficiencias en diseño antisísmico según normativas actuales,

deterioro de fachada flotante original, problemas en conexiones estructurales y la carbonatación del concreto en elementos estructurales.

Las intervenciones fueron el reforzamiento de núcleo central de concreto, la adición de elementos estructurales para mejorar comportamiento ante cargas laterales, reemplazo completo del sistema de fachada, reforzamiento de conexiones viga-columna, mejoramiento de cimentación mediante micropilotes adicionales, modernización completa de sistemas técnicos, instalación de amortiguadores sísmicos en puntos estratégicos. Las intervenciones mencionadas hicieron parte del reforzamiento estructural más significativo que tuvo el edificio el cual fue ejecutado entre 1997-1999.

5. JUSTIFICACIÓN

La aplicación de tecnologías digitales como BIM en edificaciones existentes ofrece una oportunidad valiosa para entender mejor cómo responden estas estructuras ante un evento sísmico. Aunque BIM ha sido ampliamente adoptado en construcciones nuevas, su integración en edificaciones ya construidas sigue siendo un reto. Este proyecto busca cerrar esa brecha, proporcionando una herramienta visual y analítica que permita apoyar la toma de decisiones en entornos urbanos complejos, donde los riesgos sísmicos y la falta de información técnica aún son frecuentes.

Desde una perspectiva metodológica, el trabajo propone una integración sistemática entre tecnología BIM y análisis de vulnerabilidad sísmica, un prototipo de desarrollo propio. Esta innovación no solo mejora los procesos de gestión, sino que también establece un marco referencial para futuros estudios de riesgo estructural.

En el ámbito técnico, el proyecto introduce herramientas digitales actualizadas que transforman los métodos convencionales de evaluación. La implementación tecnológica permite

realizar análisis más precisos, reduciendo márgenes de error y optimizando la toma de decisiones en la gestión de riesgos.

Adicionalmente, el desarrollo de una tabla de recomendaciones representa un aporte fundamental para la estandarización de procesos de coordinación. Este documento para desarrollar no solo mejora la eficiencia organizacional, sino que también facilita el intercambio de conocimiento entre profesionales y proyectos.

Este trabajo representa una propuesta que busca desarrollar y evaluar los proyectos de infraestructura en un contexto de complejidad de riesgo.

6. MARCO REFERENCIAL

METODOLOGÍA BIM Y VULNERABILIDAD SÍSMICA

La adopción de BIM en Colombia ha experimentado un desarrollo significativo en la última década. La implementación de metodologías BIM ha sido fundamental para transformar los procesos de diseño y construcción en el país. Bogotá se ha convertido en el epicentro de esta transformación tecnológica, con instituciones como la Secretaría Distrital de Planeación liderando iniciativas de estandarización BIM (Castañeda y Ramírez, 2020)

Se realizó un estudio comparativo que reveló que Colombia está en una fase de transición tecnológica, con un avance significativo en la adopción de metodologías BIM, especialmente en ciudades como Bogotá, Medellín y Barranquilla. La investigación evidenció que el panorama de implementación BIM en Bogotá evidencia una transformación significativa, donde aproximadamente el 65% de las grandes constructoras ya han incorporado alguna metodología BIM. Este proceso no ha sido lineal, sino que implica una curva de aprendizaje tecnológico

compleja, en la que las universidades desempeñan un rol fundamental como formadoras de profesionales especializados capaces de liderar esta transición metodológica en el sector de la construcción (Morales-Típan y González-MAppeals 2019)

Ahora bien, Bogotá, situada en una zona de alta complejidad sísmica, demanda una evaluación estructural rigurosa debido a su vulnerabilidad geológica inherente. González et al. (2017) del Centro de Investigaciones de la Universidad de los Andes revelaron la significativa heterogeneidad estructural de las edificaciones construidas antes de 1998, exponiendo la fragilidad del parque inmobiliario capitalino. La investigación subrayó la imperativa necesidad de implementar metodologías avanzadas para la evaluación de riesgos sísmicos, destacando particularmente la importancia de integrar tecnologías digitales en los procesos de análisis estructural. Este enfoque permite una comprensión más precisa y predictiva de las potenciales vulnerabilidades de las construcciones bogotanas.

Es evidente que, para el desarrollo del proyecto se utilizará normativa NSR-10, donde representa un punto de inflexión crucial en la ingeniería estructural colombiana, estableciendo criterios técnicos específicos para construcciones sismorresistentes. Esta reglamentación ha sido fundamental para definir parámetros de diseño estructural más rigurosos y precisos, contribuyendo significativamente al mejoramiento de la resiliencia urbana. La norma no solo establece lineamientos técnicos, sino que también transforma la manera en que se conceptualizan y ejecutan los proyectos de construcción, promoviendo una cultura de seguridad estructural más sólida y adaptativa, que será necesaria para recrear una guía de desarrollo. (Murcia-Delgado,2016)

Para el desarrollo de un nuevo manual de análisis de vulnerabilidad sísmica, la implementación de softwares BIM y herramientas tecnológicas se configura como un elemento fundamental que integra la evolución metodológica, el contexto nacional e internacional y las

exigencias normativas contemporáneas. La convergencia entre la metodología Building Information Modeling, las tecnologías de Autodesk y los requerimientos de la normativa NSR-10 permite una evaluación estructural más precisa, dinámica y comprehensiva, trascendiendo los límites de los análisis tradicionales. Esta integración tecnológica no solo responde a las necesidades de evaluación de vulnerabilidad sísmica en contextos urbanos complejos como Bogotá, sino que también establece un nuevo paradigma en la gestión de proyectos de infraestructura, donde la digitalización y el análisis predictivo se convierten en herramientas estratégicas para garantizar la seguridad y resiliencia estructural.

Las herramientas tecnológicas de Autodesk representan la vanguardia en modelado BIM para análisis estructural y sísmico, ofreciendo soluciones integrales que permiten una transformación digital completa de los procesos de diseño y evaluación. Los softwares de esta plataforma facilitan la generación de modelos paramétricos, simulaciones estructurales, análisis de cargas sísmicas y verificación normativa, integrando capacidades avanzadas que revolucionan la metodología tradicional de proyectos de construcción e infraestructura.

6.1 MARCO TEÓRICO

6.1.1 Metodología BIM

La metodología BIM es una revolución tecnológica que está permitiendo la eficiencia de los procesos reales de construcción, así como lo plantea Fernando Valero director de consultoría tecnológica e innovación: BIM representa un cambio fundamental de paradigma que incorpora las tácticas de la Industria 4.0 para digitalizar procesos industriales. Su impacto es particularmente

significativo en la construcción, donde las tecnologías digitales aún no se han adoptado de manera generalizada, constituyendo por sí mismas una innovación en el sector. (Valero & Pastor, s. f.).

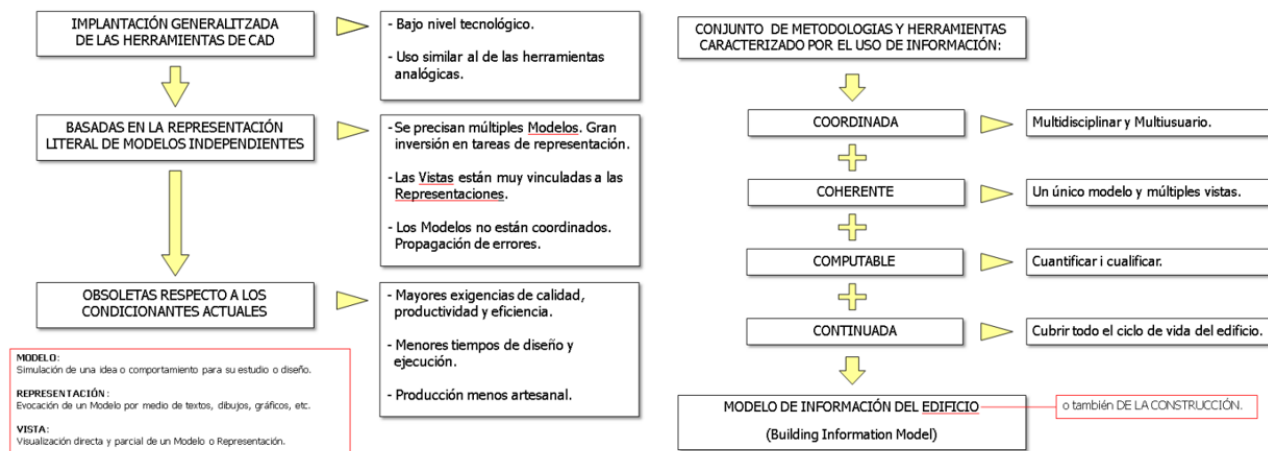


Ilustración 3 Comparación herramientas CAD y tecnología BIM. Recuperado de: practica integrada, 2025

Resulta evidente que el sector de la construcción ha mantenido durante muchos años métodos tradicionales de trabajo, y aunque la implementación de softwares para la modelación digital ha revolucionado, aún para muchos resulta poco útil la propagación de tantos cambios que resultan en diversas interpretaciones, siendo uno de los más conservadores en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías. Sin embargo, BIM no representa simplemente una herramienta adicional en el campo de la ingeniería, es más una transformación en la conceptualización, planificación y ejecución de proyectos constructivos.

Ahora bien, el término BIM corresponde a "Building Information Modeling" en inglés, y se define como la metodología que abarca cualquier construcción posible durante todo su ciclo vital mediante modelado tridimensional. Esta herramienta permite gestionar toda la información de un proyecto en un único modelo virtual donde todos los participantes colaboran conjuntamente. es así como se define en la revista informativa. (Valero & Pastor, s. f.)

La digitalización que propone BIM se adentra más allá de la modernización de procesos existentes. Permite una reingeniería del flujo de trabajo en la construcción, facilitando la detección

temprana de conflictos entre diferentes disciplinas (estructural, mecánica, eléctrica, etc.) posibilitando una coordinación en tiempo real que era impensable hace unos años atrás. Esto se traduce en una reducción significativa de errores en obra, minimización de retrabajos y optimización de tiempo y recursos.

El BIM se puede asumir como un concepto de personas que trabajan entre sí, procesos que marchan a la vez y herramientas que resultan coordinadas, criterio en el que no se presenta un versionado de los archivos. La colaboración en BIM es un sistema central en el que se comienza creando las bases del diseño arquitectónico y generando el acceso a la base de datos para que cada uno de los especialistas vaya alimentando el modelo y sistematizando la información que estará al alcance de todos garantizando la actualización en tiempo real, no solo en las fases iniciales, o de operación sino también, en el mantenimiento, la remodelación, y en la terminación de la vida útil del proyecto en dado caso que sea necesaria.

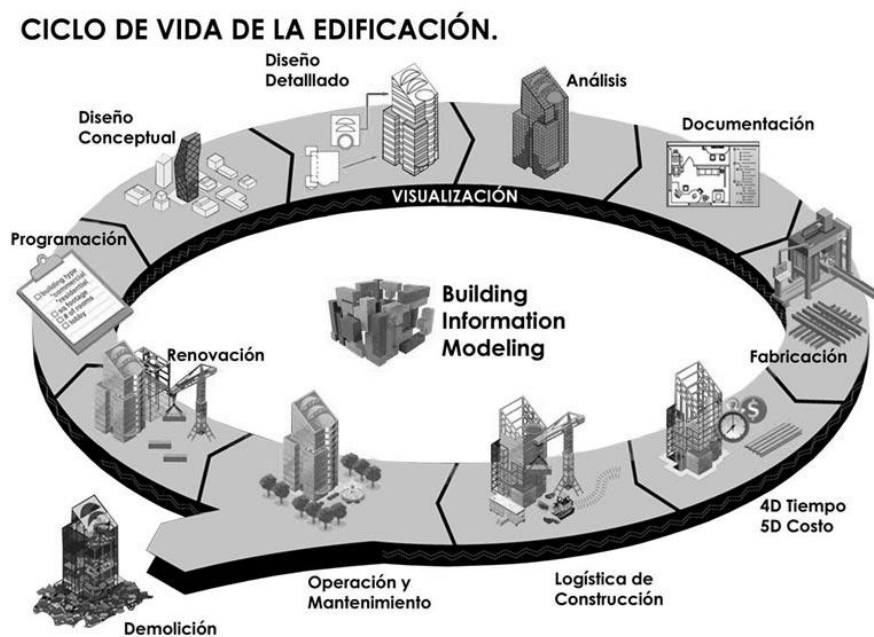


Ilustración 4 Ciclo de vida de la edificación. Recuperado de: espaciobim, 2025

BIM ofrece a los representantes encargados de alguna construcción la opción de elaborar el proyecto desde un inicio de manera colaborativa, para así minimizar el riesgo de fallar por falta de coordinación. Así pues, fomentar nuevas iniciativas para pensar y actuar, promueve la visión a futuro de proyectos que abarcan diversas disciplinas. (Valero & Pastor, s. f.). Esto conlleva el cambio de sistemas tradicionales basados en un plano, pues innova con herramientas como lo es la información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D). (BIM FORUM Colombia S.F). Apuntando a lo anterior cabe resaltar que hacen falta la 1D y 2D a las cuales corresponde la idea y los bocetos para darle el inicio y orden al proyecto.

Normalmente en los proyectos de construcción es evidente la participación de varios especialistas dependiendo el fin al que se quiera llegar, es por esto, que se presenta información cruzada y en algún punto se llegan a presentar inconsistencias, esto se debe a que en este método con solo un integrante del equipo que cambie su diseño, se deberán cambiar los diseños de las otras disciplinas y esto generará múltiples versiones de los documentos. Por ende, muchas veces y más cuando el proyecto es demasiado grande no se tendrán las versiones actualizadas del documento.

Se entiende entonces que Building information modeling (BIM) es una metodología de trabajo en conjunto para el desarrollo dinámico y efectivo de un proyecto; se interpreta, además, que no es ningún software, ni tampoco se trata de un modelo de 3 dimensiones como tal sino más bien de los procesos que se llevan a cabo para la obtención de ese producto. Esta metodología tiene el fin de disminuir el tiempo y los costos en la ejecución del proyecto, claro está sin dejar de lado la calidad. Su función se podría manejar desde 2 enfoques primordiales, que son la información y la colaboración, automatizando la agrupación de datos de distintos modelos durante el proceso de

diseño, construcción y operaciones para generar una base de datos que corresponde a planos, tablas de cuantificación, y análisis de estos.

Los programas más empleados dentro de la implementación de la metodología BIM en proyectos de construcción, ingeniería y entre otros, dependen de la dimensión en la que se quiera enfatizar, por ejemplo, el instituto de arquitectura e ingeniería Econova nos plantea que dentro del ecosistema BIM actual, cada software cumple un rol específico en las diferentes dimensiones del modelado y gestión de construcción. En el ámbito del modelado 3D, encontramos tres protagonistas: Revit, que domina el mercado gracias a su compatibilidad con productos Autodesk y su extenso soporte técnico; ArchiCAD, que a pesar de ser pionero en BIM tuvo inicialmente un alcance limitado por su exclusividad en sistemas MAC; y Allplan, que, aunque tiene mayor presencia en Alemania, se destaca por su facilidad para trabajar entre 2D y 3D. En el análisis de costos, Microsoft Excel mantiene su liderazgo indiscutible como base para las bases de datos BIM, mientras que Vico Office se posiciona como una solución integral para mediciones, costos y planificación, ofreciendo compatibilidad con los principales programas de modelado.

En la vanguardia de la visualización mediante realidad aumentada y virtual, dos aplicaciones destacan en el mercado actual. SmartReality lidera este segmento al ofrecer tanto funcionalidades de realidad aumentada como virtual, permitiendo visualizar modelos BIM, capturar imágenes y realizar recorridos desde cualquier dispositivo (móvil, tablet o computadora). Por su parte, Arki se establece como una aplicación versátil para sistemas iOS y Android, que permite no solo visualizar proyectos en realidad aumentada, sino también realizar modificaciones en tiempo real y grabar recorridos, enriqueciendo la experiencia de visualización de proyectos BIM. (Econova , s. f.)

La metodología BIM, cuenta un enfoque en la digitalización y colaboración en todas las fases de un proyecto, se alinea con los principios de la gestión de proyectos, que buscan alcanzar resultados concretos.

6.1.2 Gestión de Proyectos

En el ámbito del desarrollo, los proyectos persiguen como meta final obtener resultados específicos que contribuyan al avance socioeconómico de un territorio determinado, ya sea un país o una región. (Rodolfo Siles & Ernesto Mondelo, 2018). Al poner en práctica estos proyectos para incitar el avance se basa en opciones que cumplan con lo que se quiere llegar a lograr dentro de lo que se conoce como alcance, tiempo y presupuesto.

En consecuencia, la gestión de proyectos se ha consolidado como una disciplina fundamental que no solo facilita el aprendizaje y la implementación de iniciativas, sino que también proporciona un marco metodológico robusto para abordar desafíos complejos en cualquier ámbito profesional. El creciente interés por esta disciplina refleja su capacidad para proporcionar métodos estructurados y herramientas efectivas que facilitan la planificación, ejecución y control de iniciativas en cualquier campo profesional, además, la adaptabilidad de sus principios permite que profesionales de distintas áreas puedan implementar metodologías de gestión para optimizar sus procesos y alcanzar objetivos de manera más eficiente.

Este fenómeno ha generado una tendencia donde cada vez más personas reconocen la importancia de incorporar competencias en gestión de proyectos como parte fundamental de su desarrollo profesional, independientemente de su campo de especialización. La versatilidad de

estas habilidades las convierte en un activo valioso para enfrentar los desafíos del mundo profesional contemporáneo.

La gestión de proyectos ha adquirido una relevancia significativa en el mundo contemporáneo, abarcando diversos campos del conocimiento. Como se señala en la Introducción a la Gerencia de Proyectos, Los proyectos han adquirido considerable importancia mundial principalmente debido a su versatilidad y aplicabilidad en diversas áreas del conocimiento. (Moreno Monsalve, 2016). Es decir, se ha desarrollado la gestión de proyectos, ya que tienen diferentes funciones que facilita el aprendizaje y la disciplina que muchas personas hoy en día necesitan al tomar la decisión o la iniciativa de dirigir proyectos. Ahora bien, en el año 2012 se establece que un proyecto se define como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para generar un producto, servicio o resultado, como propuesta del Project Management Institute. Esta temporalidad implica un inicio y un fin definidos, con actividades enmarcadas en un tiempo de ejecución específico.

De acuerdo con esto los proyectos representan el núcleo fundamental del ejercicio profesional, manifestándose en cada obra de infraestructura, construcción o desarrollo que se emprende. Se entiende que cada proyecto posee una naturaleza temporal y única, características que se evidencian en la planificación y ejecución de obras como edificaciones, puentes, carreteras y sistemas de agua, donde cada iniciativa responde a condiciones, requisitos y desafíos específicos del entorno y las necesidades del cliente. La gestión efectiva de proyectos se convierte en una competencia esencial, pues requiere la coordinación precisa de elementos técnicos, recursos humanos, materiales y financieros, todos enmarcados en cronogramas y presupuestos definidos.

El proyecto se usa en determinado tiempo con el fin de llegar a un beneficio, esto demuestra que tiene un principio y final. La ejecución de estos proyectos se realiza bajo condiciones

socioeconómicas específicas que siguen una progresión de cambio gradual, donde los beneficios a largo plazo solo pueden alcanzarse mediante la obtención de resultados intermedios consecutivos. (Rodolfo Siles & Ernesto Mondelo, 2018). Todo proyecto que se lleve a cabo debe estar bajo esta lógica, que tenga como finalización un resultado que se pueda mantener a largo plazo, sin embargo, teniendo en cuenta que también se tiene que evidenciar un cambio con el objetivo ya nombrado. Se puede decir que un proyecto está terminado cuando logra el objetivo para el que fue diseñado, o cuando es difícil de lograr y se decide dejarlo en suspenso. Cada proyecto tiene su propia personalidad, un conjunto de objetivos, y como resultado es único.

La teoría contemporánea de administración de proyectos se fundamenta en tres pilares clave: los sistemas, las limitaciones y la teoría emergente. Estas visiones teóricas ofrecen un esquema conceptual para entender la interacción de los proyectos con su ambiente y su adaptación a diversos contextos organizativos.

En los programas de capacitación de Santiago de Chile se ha venido abordando el tema para la ampliación del entendimiento del espectador y el creador, teniendo en cuenta su criterio y lo que dan a conocer, se puede contemplar que existen fases del ciclo de la gestión de proyectos como se representa en los gráficos que se han venido publicando a partir del año 2000 estos son: en primer lugar, la identificación de ideas de proyecto que constituye un momento crucial donde se exploran soluciones innovadoras que puedan generar beneficios significativos para la sociedad, considerando su viabilidad económica y su potencial transformador. Es notorio que hay muchas ideas de proyectos en los que evidentemente se busca la forma de tener orden cuando se trata de escoger la continuación de ideas que tienen en cuenta la prioridad dentro de las actividades a realizar.

Los objetivos representan el núcleo fundamental de cualquier iniciativa, proporcionando una guía clara que orienta cada acción y decisión dentro del proyecto, funcionando como brújula que marca el rumbo estratégico. Para esto se necesita saber la información precisa que requiere la situación en la que se quiere terminar el proyecto.

Análisis y aprobación: Previo a comprometer recursos sustanciales, es fundamental someter el proyecto a un riguroso proceso de evaluación que garantice su viabilidad técnica, económica y social, minimizando riesgos y maximizando probabilidades de éxito. Esto con el fin de determinar que en todas las pautas a desarrollar en el proyecto todo esté preparado para darle una razón a cada recurso que se utilice, a este punto ya se llega a confirmar la realización del proyecto, teniendo en cuenta la economía y herramientas que se necesiten.

La fase de ejecución implica la materialización práctica de todas las actividades planificadas, donde los equipos de trabajo despliegan los recursos asignados para convertir la planificación en resultados concretos. En este escenario es necesario un seguimiento y control, una evaluación y adaptaciones continuas que se requieran.

Después de llevar a cabo todas las fases, igual es importante tener reuniones de gestión con el equipo de trabajo, quien este al mando necesita organizar este tipo de encuentros para garantizar el avance que se tenga en el proyecto, teniendo una supervisión de riesgos, control de plazos estipulados, avances que debe tener el proyecto, y pendientes o nuevos ajustes si es que llega a ser requerido.

Algo importante en el ciclo de proyectos es prevenir cualquier clase de riesgo, la gestión de riesgos involucra un conjunto de metodologías que integran herramientas analíticas tanto

cualitativas como cuantitativas, permitiendo una comprensión integral de los posibles escenarios y sus potenciales impactos. (group, 2023)

Algunas de estas técnicas pueden ser:

- Análisis de probabilidad e impacto
- Matrices de riesgo
- Árboles de decisión
- Análisis de sensibilidad
- Juicio de expertos estructurado
- Los proyectos deben abordarse mediante un enfoque que considere tanto los

factores internos como externos que pueden afectar la finalización del proyecto.

La gestión de proyectos, estructurado en la planificación, ejecución y control de iniciativas, se complementa con la eficiencia energética en la construcción, al incorporar criterios que optimizan recursos y reducen costos a lo largo de la ejecución de un proyecto.

6.1.3 Eficiencia Energética en la Construcción

La eficiencia energética en la construcción ha tomado un papel protagonista en el ámbito de la sostenibilidad, impulsada por la conciencia ambiental y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este enfoque busca optimizar el uso de recursos energéticos a lo largo del ciclo de vida de una edificación, desde su diseño inicial hasta su operación y eventual demolición o reciclaje. La implementación de estrategias efectivas no solo contribuye a la

reducción de costos operativos, sino que también juega un papel crucial en la lucha contra el cambio climático (Hernández & Gómez, 2022).

Una de las estrategias más destacadas para lograr una mayor eficiencia energética es el diseño bioclimático. Este enfoque se centra en aprovechar las condiciones climáticas y ambientales del entorno para reducir la demanda de energía. Aspectos como la correcta orientación del edificio, el uso de materiales aislantes y la incorporación de sistemas de ventilación natural son fundamentales en este proceso. Por ejemplo, edificios diseñados con una adecuada orientación solar pueden minimizar la necesidad de calefacción en invierno y refrigeración en verano, lo que resulta en un menor consumo energético (Ramírez & Sánchez, 2023).

La selección de sistemas constructivos eficientes es otro aspecto crucial. La elección de muros, techos y ventanas adecuados puede mejorar significativamente el desempeño energético. La utilización de materiales de alta inercia térmica, que ayudan a regular la temperatura interior, y sistemas de acristalamiento de alto rendimiento son prácticas ampliamente recomendadas. Así mismo, la gestión inteligente de la energía ha cobrado relevancia en la construcción moderna. La implementación de sistemas de automatización y control, como sensores y medidores inteligentes, permite monitorear y optimizar el consumo energético, garantizando una eficiencia operativa a nivel superior (Gómez & Martínez, 2023).

La integración de energías renovables también es una estrategia clave en la búsqueda de la sostenibilidad. La incorporación de tecnologías como paneles solares fotovoltaicos, sistemas de calefacción solar y turbinas eólicas en proyectos de construcción contribuye a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, mejorando así la sostenibilidad de los edificios (Rojas & Sánchez, 2022). Además, fomentar la economía circular a través del reciclaje y la reutilización de

materiales de construcción al final de su vida útil se ha convertido en una estrategia esencial. Esta práctica no solo ayuda a cerrar el ciclo de recursos, sino que también minimiza el impacto ambiental asociado a la construcción (Pérez & Torres, 2023).

La evaluación de la calidad del diseño de la construcción en términos de eficiencia energética y sostenibilidad se basa en criterios específicos que permiten medir el desempeño de un edificio. Estos criterios incluyen el desempeño energético, que evalúa el consumo de energía primaria, la demanda de calefacción y refrigeración, y la generación de energía renovable in situ (Fernández & Gómez, 2024). El confort térmico y la calidad ambiental son igualmente importantes. Parámetros como la temperatura, la humedad, la ventilación y la iluminación son fundamentales para el bienestar de los ocupantes y deben ser considerados en el diseño (Martínez & Sánchez, 2022). La evaluación del impacto ambiental mediante un análisis del ciclo de vida permite considerar las emisiones de gases de efecto invernadero y la gestión de residuos, siendo crucial para una evaluación integral del desempeño del edificio (Rojas & Castillo, 2023).

La economía y viabilidad del proyecto también son aspectos por considerar, incluyendo los costos de construcción, operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida. La integración con el entorno, que toma en cuenta la movilidad sostenible y la adaptación al cambio climático, es otro factor que no debe pasarse por alto (Pérez & Gómez, 2024). Las políticas públicas y regulaciones que fomentan la eficiencia energética en la construcción son esenciales para incentivar la adopción de prácticas sostenibles. Normativas como la Ley de Eficiencia Energética en diversos países establecen requisitos y objetivos claros para la reducción del consumo energético en nuevos edificios y en la rehabilitación de los existentes (Gómez & Martínez, 2023).

El Modelado de Información de Construcción (BIM) ha demostrado ser una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad en el diseño y la construcción

de edificios. El uso de BIM permite una integración más efectiva de la información y un análisis más detallado del desempeño energético a lo largo del ciclo de vida del edificio (Sánchez & Martínez, 2023). Diversos ejemplos y casos de estudio ilustran cómo los modelos BIM han sido utilizados para optimizar el diseño y la ejecución de proyectos sostenibles. Por ejemplo, un edificio de oficinas en Alemania implementó BIM para optimizar su envolvente y los sistemas de climatización, logrando una reducción del 40% en el consumo de energía (Gómez & Rojas, 2022). Otro ejemplo es un centro comercial en Singapur que utilizó BIM para simular el desempeño energético y la iluminación natural, resultando en la obtención de una certificación de sostenibilidad (Fernández & Castillo, 2023).

La implementación de BIM también ha sido crucial en el diseño de vivienda social en Brasil, donde se analizó la orientación solar y la ventilación natural, logrando una reducción del 30% en el consumo energético y mejorando la habitabilidad (Ramírez & Pérez, 2024). Asimismo, un proyecto de rehabilitación de un edificio histórico en España utilizó BIM para evaluar el comportamiento estructural y la eficiencia energética, permitiendo preservar el patrimonio arquitectónico mientras se lograba un alto desempeño sostenible (Martínez & Gómez, 2023). Estos casos demuestran cómo la aplicación de BIM en el diseño y análisis de edificios puede contribuir significativamente a la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad, optimizando el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental.

La adopción de un enfoque integral de eficiencia energética en la construcción requiere la colaboración y el compromiso de diversos actores, como arquitectos, ingenieros, desarrolladores y autoridades reguladoras. Esto implica la creación de políticas y normativas que incentiven y respalden la implementación de soluciones sostenibles, al tiempo que se fomenta la educación y la concienciación de los profesionales y la sociedad en general (Gómez & Martínez, 2023). Solo a

través de este esfuerzo conjunto podremos lograr una transformación significativa en el sector de la construcción, contribuyendo a la construcción de un futuro más sostenible y resiliente.

La eficiencia energética en la construcción, orientada a optimizar recursos y minimizar impactos ambientales, se potencia con el uso de tecnologías avanzadas como los drones, que facilitan la inspección, monitoreo y análisis detallado de edificaciones, contribuyendo así a un diseño más eficiente.

6.1.4 Drones y usos dentro de la ingeniería

Los drones, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), son aeronaves que pueden volar sin tripulación a bordo y ser controladas de manera remota o volar de forma autónoma mediante planes de vuelo programados. Estos dispositivos han revolucionado diversos campos profesionales, incluyendo significativamente la ingeniería civil. (Greenwood, Lynch, & Zekkos, 2019)

En el contexto de la ingeniería civil, los drones han transformado la manera en que se realizan las inspecciones, el monitoreo y la documentación de proyectos de construcción. Estos dispositivos permiten realizar levantamientos topográficos con una precisión excepcional, generando modelos digitales del terreno (MDT) y mapas tridimensionales que facilitan la planificación y el diseño de obras civiles. (Zhang & Singh, 2021)

Los drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores especializados permiten realizar inspecciones detalladas de estructuras de difícil acceso, como puentes, torres y edificios altos. Esto no solo mejora la seguridad del personal al reducir la necesidad de accesos físicos peligrosos, sino que también permite una documentación más completa y precisa del estado de las estructuras. (Wang, Chen, & Yin, 2022)

En el ámbito de la supervisión de obras, los drones facilitan el seguimiento del avance de los proyectos de construcción en tiempo real. Pueden capturar imágenes y videos que permiten documentar el progreso, identificar posibles problemas o desviaciones del plan original, y mantener un registro visual detallado de todo el proceso constructivo. Además, mediante el uso de software especializado, las imágenes captadas por drones pueden procesarse para generar mediciones volumétricas precisas de materiales y movimientos de tierra.

La tecnología de los drones también ha demostrado ser invaluable en la gestión de desastres y evaluación de daños estructurales. Permiten realizar evaluaciones rápidas y seguras de áreas afectadas por desastres naturales, identificar daños estructurales en edificaciones y planificar trabajos de reparación o reconstrucción de manera más eficiente.

Un aspecto particularmente innovador es el uso de drones en combinación con tecnologías como la fotogrametría y el escaneo láser. Esto permite crear modelos 3D altamente precisos que pueden integrarse con metodologías BIM (Building Information Modeling), facilitando la planificación, diseño y gestión de proyectos de construcción de manera más eficiente y precisa.

El uso de drones en la ingeniería civil en Colombia ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, transformando la forma en que se realizan varias tareas dentro del sector. En particular, los drones son utilizados principalmente para levantamientos topográficos, inspección de infraestructuras y monitoreo de obras, lo cual mejora la precisión y eficiencia de los procesos. Los drones ofrecen datos geoespaciales precisos, lo cual agiliza tanto el diseño y la planificación de proyectos civiles como el monitoreo continuo del progreso de las obras. Este avance tecnológico ha logrado reducir considerablemente los costos y tiempos en la recopilación de información crucial, lo que es especialmente relevante en grandes proyectos de infraestructura. (República., 2023)

Además de su utilidad en la recolección de datos, los drones también se han convertido en una herramienta clave para la inspección de infraestructuras difíciles de alcanzar o peligrosas. Inspeccionar puentes, torres y otras estructuras altas con drones permite evaluaciones más rápidas y seguras, reduciendo riesgos para los trabajadores y el entorno. Esta capacidad de inspección remota se complementa con el uso de cámaras de alta resolución y sensores especializados, que proporcionan imágenes detalladas y datos precisos para la toma de decisiones en tiempo real. (Ingeniería, 2022)

Sin embargo, uno de los desafíos principales en el uso de drones en la ingeniería civil colombiana es la falta de capacitación especializada. Aunque la tecnología ha avanzado considerablemente, es necesario contar con operadores capacitados que no solo entiendan el funcionamiento de los equipos, sino también las normativas de seguridad y regulación aérea. En una entrevista con José Antonio Salazar, experto en tecnología aplicada a la construcción, se destacó que, en Colombia, la falta de profesionales capacitados en el uso adecuado de drones para proyectos de ingeniería impide aprovechar al máximo esta tecnología. (Salazar, 2024). Por lo tanto, la capacitación es un aspecto esencial para maximizar la efectividad de los drones en el campo de la ingeniería civil.

El uso de drones en la ingeniería civil no solo facilita la inspección y monitoreo de infraestructuras, sino que también juega un papel crucial en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, al permitir la recopilación rápida y precisa de datos estructurales antes y después de un evento sísmico.

Dron DJI Air 3S

El DJI Air 3S es un avanzado sistema de aeronave no tripulada (dron) diseñado para la captura profesional de imágenes aéreas. Este dispositivo destaca por su completo conjunto de

tecnologías de detección y navegación, incluyendo un sistema LiDAR orientado hacia adelante, visión omnidireccional para detección de obstáculos en múltiples direcciones, y un sistema de detección por infrarrojos tridimensional. Su estructura incorpora una tele cámara media y una cámara gran angular como parte del estabilizador, además de un sistema de visión inferior, lo que le permite capturar imágenes de alta calidad desde diversas perspectivas y mantener una estabilidad excepcional durante el vuelo. (DJI, 2024)

El control del DJI Air 3S se realiza mediante el control remoto DJI RC 2, que cuenta con palancas ergonómicas para maniobrar el dron, una pantalla táctil integrada y diales dedicados para ajustar parámetros como el estabilizador y los controles de cámara. Este control remoto incluye características avanzadas como un botón de enfoque/obturador, botones personalizables (C1 y C2), y un botón RTH (Return to Home) que permite al dron regresar automáticamente a su punto de origen, incrementando así la seguridad durante las operaciones de vuelo. Además, el control cuenta con ranuras para tarjetas microSD tanto en el dron como en el propio control, facilitando el almacenamiento de imágenes y videos capturados. (DJI, 2024)

La versatilidad del DJI Air 3S se evidencia en sus múltiples componentes orientados a la fotografía y videografía profesional, como sus motores potentes, hélices optimizadas para un vuelo estable y silencioso, y una batería de vuelo inteligente que proporciona información sobre su estado de carga mediante Leds indicadores. El dron también incorpora puertos USB-C para transferencia de datos y carga, y un compartimento para el adaptador celular que permite la conectividad con dispositivos móviles. Estas características, junto con su sistema de tren de aterrizaje con antenas integradas y luces auxiliares, hacen del DJI Air 3S una herramienta ideal para aplicaciones

profesionales como mapeo topográfico, inspección estructural y creación de modelos tridimensionales para análisis arquitectónicos y de ingeniería.

6.1.5 Revit

Conceptualización Revit

La modelación de información para la construcción (BIM) ha revolucionado la industria de la arquitectura e ingeniería. Revit, como herramienta fundamental en este campo, presenta una estructura organizativa particular que requiere comprensión para su eficaz utilización. A continuación, se presentan los conceptos fundamentales que todo usuario de Revit debe dominar.

Elementos

Los elementos constituyen las unidades básicas de cualquier proyecto en Revit. Estos pueden clasificarse principalmente en tres categorías según su naturaleza y función dentro del entorno de trabajo (Autodesk, 2023). Los elementos de modelo representan componentes físicos reales que formarán parte de la construcción, como muros, ventanas, puertas o mobiliario. Estos elementos poseen propiedades físicas y paramétricas que permiten su correcta representación en el modelo tridimensional.

Por otra parte, los elementos de anotación tienen como finalidad complementar la documentación del proyecto sin formar parte del edificio físico. Entre estos se encuentran las cotas, textos, etiquetas y símbolos que ayudan a comunicar información relevante en los planos y documentos técnicos. Su comportamiento difiere de los elementos de modelo, ya que no participan en cálculos estructurales ni análisis energéticos (Vandezande & Krygiel, 2021)

El tercer grupo fundamental lo conforman los elementos de vista, que determinan cómo se visualiza el proyecto. Estos incluyen las plantas arquitectónicas, alzados, secciones y vistas 3D. Las vistas no solo muestran el modelo, sino que también controlan parámetros de visualización

como la escala, nivel de detalle y estilos de representación. Cada vista puede configurarse independientemente para mostrar la información pertinente según las necesidades del proyecto en curso.

Familias en Revit

Las familias constituyen el sistema de organización de componentes en Revit. Representan grupos de elementos con características comunes y comportamientos paramétricos similares. El programa distingue varios tipos fundamentales de familias que responden a necesidades específicas del modelado arquitectónico.

Las familias de sistema son aquellas predefinidas por el programa y no pueden crearse ni modificarse fuera del entorno de proyecto. Entre estas encontramos muros, suelos, techos y escaleras. Aunque no pueden diseñarse desde cero, permiten extensas personalizaciones mediante parámetros y tipos (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2022)

Las familias cargables son creadas externamente al proyecto en archivos específicos y posteriormente importadas según las necesidades. Ejemplos comunes incluyen puertas, ventanas, mobiliario y componentes MEP. (Autodesk, 2023) Su principal ventaja radica en la posibilidad de reutilización entre distintos proyectos, facilitando la estandarización de componentes habituales.

Por último, las familias in situ representan elementos únicos diseñados específicamente para situaciones particulares dentro del proyecto. Resultan ideales para componentes arquitectónicos especiales que no se repetirán en otras construcciones o situaciones (Stine, 2021). A diferencia de las anteriores, estas familias presentan limitaciones en cuanto a parametrización y reutilización.

Parametrización

La parametrización constituye uno de los pilares fundamentales del trabajo en Revit. Mediante esta, los elementos adquieren inteligencia y capacidad de adaptación según valores establecidos (Autodesk, 2023). Los parámetros pueden clasificarse como de tipo, afectando a todos los elementos de esa categoría, o de instancia, modificando únicamente el elemento seleccionado. Esta dualidad permite un control preciso tanto de componentes individuales como de grupos relacionados.

Fases

El concepto de fases resulta esencial para proyectos de rehabilitación o ampliación, permitiendo visualizar y gestionar distintos estados temporales de la edificación. Mediante las fases, es posible representar elementos existentes, a demoler o de nueva construcción, facilitando la planificación de intervenciones complejas.

Coordinación interdisciplinar

La coordinación interdisciplinar representa otra ventaja fundamental del entorno Revit. La posibilidad de vincular modelos de distintas especialidades (arquitectura, estructura, instalaciones) permite detectar interferencias y resolver conflictos antes de la construcción. Este trabajo colaborativo resulta especialmente valioso en proyectos de gran escala con múltiples equipos involucrados (Wing, 2023).

6.1.6 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica se refiere a la susceptibilidad de una estructura o sistema a sufrir daños durante un evento sísmico. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica es fundamental para la prevención y mitigación de desastres naturales. Este marco teórico presenta los modelos más comunes utilizados para evaluar la vulnerabilidad sísmica, proporcionando un análisis crítico de cada uno.

La vulnerabilidad sísmica puede definirse como la probabilidad de que una estructura sufra daños durante un sismo, considerando tanto la intensidad del movimiento sísmico como las características de la edificación. Se clasifica generalmente en dos tipos: vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad no estructural, cada una abarcando diferentes aspectos del diseño y la construcción (Chai & Zhang, 2012).

Existen diversos modelos para evaluar la vulnerabilidad sísmica, que pueden agruparse en varias categorías. Los modelos de evaluación cualitativa se basan en la observación visual y la experiencia de los evaluadores. Se utilizan listas de verificación y cuestionarios para evaluar el estado de las estructuras. Entre sus ventajas se encuentran la sencillez y rapidez en la aplicación, mientras que sus desventajas son la subjetividad y falta de precisión en comparación con métodos cuantitativos (FEMA, 2010).

Por otro lado, los modelos de evaluación cuantitativa utilizan datos numéricos para evaluar la vulnerabilidad. Estos modelos se dividen en varias subcategorías. En primer lugar, los modelos de análisis estático consideran las fuerzas sísmicas aplicadas a las estructuras en condiciones estáticas. Un ejemplo común es el Método de Análisis de Pushover, que permite evaluar el comportamiento de la estructura hasta el colapso. Este método ofrece estimaciones más precisas del comportamiento estructural, aunque requiere un modelo detallado de la estructura y puede ser laborioso (ATC, 2009).

Los modelos de análisis dinámico, por su parte, consideran el comportamiento estructural bajo cargas sísmicas variables. Un enfoque común es el Análisis Modal Espectral, que evalúa la respuesta de la estructura a diferentes modos de vibración. Estos modelos tienen la ventaja de capturar interacciones complejas y efectos dinámicos, pero su complejidad en la implementación y la necesidad de datos precisos pueden ser desventajas significativas (Chai & Zhang, 2012).

Adicionalmente, los modelos basados en datos utilizan bases de datos históricas y algoritmos para predecir la vulnerabilidad sísmica. Un enfoque prominente en esta categoría es el uso de redes neuronales para clasificar y predecir daños en función de datos históricos de terremotos. Las ventajas de estos modelos incluyen su adaptabilidad y capacidad para aprender de datos nuevos; sin embargo, dependen en gran medida de la calidad y cantidad de datos disponibles (FEMA, 2010).

Cada modelo presenta sus propias ventajas y desventajas. Los modelos cualitativos son ideales para evaluaciones rápidas, mientras que los modelos cuantitativos ofrecen información más precisa, pero requieren más tiempo y recursos. Por otro lado, los modelos basados en datos son prometedores para futuras investigaciones, aunque su efectividad depende de la calidad de los datos.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica es esencial para garantizar la seguridad de las estructuras en áreas propensas a sismos. La selección del modelo adecuado depende de los objetivos específicos de la evaluación, los recursos disponibles y la complejidad de las estructuras a analizar. Un enfoque integrado que combine diferentes modelos podría ofrecer una evaluación más robusta y precisa.

Los terremotos son fenómenos naturales que generan movimientos sísmicos en la corteza terrestre, provocando una serie de efectos que pueden ser devastadores. Los principales efectos de los terremotos incluyen el desplazamiento del terreno, que se produce cuando los movimientos de las placas tectónicas generan fallas que pueden causar desplazamientos significativos, afectando la estabilidad de las edificaciones (USGS, 2021). Además, las vibraciones del suelo resultantes de la energía liberada durante un terremoto pueden ser de corta o larga duración, dependiendo de la magnitud del sismo, y su intensidad puede variar significativamente en diferentes áreas (Chai &

Zhang, 2012). Los terremotos también pueden desencadenar deslizamientos de tierra y, en casos de actividad sísmica submarina, tsunamis, que representan un riesgo adicional para las comunidades costeras (FEMA, 2010).

La teoría de la tectónica de placas explica que la superficie de la Tierra está compuesta por grandes placas que flotan sobre el manto terrestre. El choque de placas tectónicas es una de las principales causas de los terremotos y se clasifica en tres tipos fundamentales. En los límites de placas convergentes, las placas se mueven una hacia la otra, lo que puede causar la subducción de una placa bajo otra, liberando una gran cantidad de energía y resultando en terremotos de alta magnitud (USGS, 2021). Los límites divergentes, donde las placas se separan, crean nuevos materiales de corteza terrestre y, aunque generalmente producen terremotos menos intensos, también contribuyen a la liberación de energía (Chai & Zhang, 2012). Por último, en los límites transformantes, las placas se deslizan lateralmente entre sí, lo que puede generar terremotos significativos, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas (FEMA, 2010).

La liberación de energía durante un terremoto es un proceso complejo que se produce a medida que las tensiones acumuladas en las placas tectónicas superan la resistencia del material. Este fenómeno se puede entender a través de varios conceptos. Primero, el ciclo de acumulación de tensiones se refiere a cómo, a medida que las placas tectónicas se mueven, las tensiones se acumulan en las fallas geológicas. Una vez que la tensión excede el límite del material, se produce un deslizamiento que libera energía en forma de ondas sísmicas (USGS, 2021). Además, la magnitud de un terremoto, medida en la escala de Richter o en la escala de magnitud de momento, refleja la cantidad de energía liberada. Terremotos de mayor magnitud tienden a causar más daños a las estructuras, aumentando así la vulnerabilidad sísmica (Chai & Zhang, 2012). Finalmente, la forma en que la energía se distribuye a través del terreno influye en la intensidad de las vibraciones

en diferentes localidades, siendo crucial considerar factores como la geología del suelo, la profundidad del hipocentro y la distancia al epicentro para entender la vulnerabilidad de las edificaciones (FEMA, 2010).

El análisis dinámico elástico espectral es un método utilizado para evaluar la respuesta de estructuras frente a cargas sísmicas. Este enfoque se basa en la teoría de que cualquier estructura puede ser considerada como un sistema de múltiples grados de libertad que responde de manera diferente a diferentes frecuencias de excitación sísmica. El análisis espectral considera las propiedades dinámicas de la estructura, incluyendo su masa, rigidez y amortiguamiento (Chai & Zhang, 2012).

Este tipo de análisis se realiza generalmente utilizando un espectro de respuesta, que es una representación gráfica de la respuesta máxima esperada de un sistema oscilante idealizado a diferentes períodos de vibración, bajo un conjunto de cargas sísmicas. Los espectros de respuesta son esenciales para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, ya que permiten identificar las frecuencias naturales de las estructuras y compararlas con las frecuencias de excitación relacionadas con la amenaza sísmica (FEMA, 2010).

El análisis dinámico elástico espectral tiene varias ventajas. Permite a los ingenieros evaluar estructuras complejas y obtener información detallada sobre su comportamiento durante un evento sísmico. Sin embargo, también presenta desventajas, como la necesidad de datos precisos sobre las propiedades de la estructura y la limitación a un comportamiento elástico, lo que significa que no se tienen en cuenta los efectos de plastificación que pueden ocurrir en estructuras muy solicitadas (Chai & Zhang, 2012).

La amenaza sísmica se refiere a la probabilidad de que un evento sísmico ocurra en una región específica durante un período determinado. La evaluación de la amenaza sísmica implica

el análisis de la actividad sísmica histórica, la identificación de fuentes sísmicas y la caracterización de las propiedades del suelo. El objetivo es proporcionar un marco para la estimación de la magnitud y frecuencia de los sismos que pueden afectar a una región (USGS, 2021).

La amenaza sísmica se evalúa a través de estudios de sismología que incluyen la recopilación de datos sobre terremotos pasados y la modelización de la actividad tectónica de una región. Estos estudios son críticos para el desarrollo de mapas de peligrosidad sísmica, que identifican las áreas con mayor probabilidad de experimentar terremotos significativos (FEMA, 2010).

La conexión entre la amenaza y la vulnerabilidad sísmicas es evidente: a mayor amenaza sísmica, mayor es la necesidad de evaluar y mitigar la vulnerabilidad de las estructuras. Por lo tanto, la integración de la amenaza sísmica en el análisis de la vulnerabilidad es esencial para la planificación de la infraestructura y la gestión de riesgos en áreas propensas a sismos (Chai & Zhang, 2012).

Colombia se encuentra situada en una de las zonas de mayor actividad sísmica del planeta, ubicada en el denominado "Anillo de Fuego del Pacífico", donde convergen múltiples placas tectónicas. Según el Servicio Geológico Colombiano (2019), aproximadamente el 87% del territorio nacional está expuesto a amenazas sísmicas de intensidad intermedia a alta, lo que configura un escenario de riesgo permanente para sus habitantes y su infraestructura.

La vulnerabilidad sísmica en el país trasciende lo geológico, constituyéndose como un problema multidimensional que involucra factores sociales, económicos y de ordenamiento territorial. De acuerdo con estudios de la Universidad de los Andes (Cardona, 2020), las principales ciudades colombianas dentro de ellas claramente Bogotá, presentan significativas deficiencias en

sus sistemas constructivos y de planificación urbana, lo que aumenta exponencialmente el riesgo ante potenciales eventos sísmicos de gran magnitud.

El impacto de un terremoto de considerable intensidad podría ser catastrófico, como lo advierte la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2021), comprometiendo no solo la infraestructura física sino también los sistemas estratégicos de comunicación, servicios públicos y respuesta ante emergencias. Esta realidad demanda un enfoque integral que combine investigación científica, normativas de construcción rigurosas y estrategias de mitigación y respuesta efectivas.

El reforzamiento estructural es esencial para adaptarse a cambios en el uso de las edificaciones y también para mitigar su vulnerabilidad sísmica, especialmente en regiones propensas a terremotos donde el riesgo de daños estructurales es significativo

6.1.7 El reforzamiento estructural

El reforzamiento estructural se vuelve una obligación cuando una edificación experimenta modificaciones en su uso original o cuando se somete a cargas diferentes a las contempladas en su diseño inicial, esta necesidad surge principalmente porque las estructuras están diseñadas y calculadas para soportar cargas específicas asociadas a un uso determinado.

Cuando se cambia la finalidad o función de una estructura ya construida, es necesario llevar a cabo un análisis para establecer si dicha estructura tiene la capacidad de resistir con seguridad todas las cargas que se le aplicarán. (562-19)., 2019). Esta disposición fundamenta la necesidad de realizar evaluaciones estructurales ante cambios de uso.

Las normativas de construcción actual establecen claramente que cualquier modificación sustancial en el uso de una estructura debe ir acompañada de un análisis estructural exhaustivo.

Esto se debe a que los cambios en el patrón de cargas pueden afectar significativamente el comportamiento de elementos estructurales como columnas, vigas, losas y cimentaciones.

El proceso de un reforzamiento estructural debe comenzar con una evaluación detallada de la capacidad actual de la estructura y una comparación con las nuevas demandas de carga. Esta evaluación incluye estudios de la resistencia del concreto existente, análisis del estado de los elementos estructurales y verificación de la configuración, y estado del acero de refuerzo. Los cambios de uso pueden implicar no solo mayores cargas sino también requerimientos sísmicos más exigentes.

Todo cambio que suponga un aumento superior al 5% en las cargas vivas con respecto al diseño inicial hace necesaria una evaluación estructural exhaustiva y la aplicación de las correspondientes medidas de refuerzo. (Estructural, 2021).

El deterioro natural de las estructuras es un proceso inevitable, que requiere atención y seguimiento constante. La degradación natural de las estructuras de concreto es un proceso complejo que involucra factores químicos, físicos y mecánicos que actúan de manera sinérgica. Este deterioro progresivo puede comprometer significativamente la capacidad estructural y la durabilidad de las edificaciones. (Mehta & Monteiro, 2021)

La carbonatación del concreto representa uno de los mecanismos más comunes de deterioro natural. Según los estudios de Parrott la carbonatación puede penetrar hasta 20 mm en 10 años en concretos de calidad media expuestos a ambientes urbanos, lo que eventualmente conduce a la corrosión del acero de refuerzo (Parrott, 2018). Esta situación se agrava en ambientes agresivos, donde se ha documentado que la velocidad de carbonatación puede incrementarse hasta en un 40% en presencia de altos niveles de contaminación atmosférica (Bertolini, Elsener, Pedferri, & Polder, 2020).

Los ciclos de congelamiento y deshielo también contribuyen significativamente al deterioro natural. Los daños por ciclos de hielo-deshielo pueden manifestarse en menos de 5 años en estructuras expuestas a climas severos, especialmente cuando el concreto no cuenta con aire incorporado adecuadamente. Este fenómeno, combinado con otros factores de deterioro, puede acelerar significativamente la degradación estructural. (Powers & Helmuth, 2019).

Las deformaciones excesivas en elementos estructurales son indicadores críticos que frecuentemente señalan la necesidad de reforzamiento. Las deflexiones que exceden $L/240$ en elementos sometidos a cargas de servicio no solo comprometen la funcionalidad de la estructura, sino que también pueden indicar problemas más serios en la capacidad portante del elemento. Estas deformaciones pueden manifestarse como flechas en vigas, hundimientos diferenciales en la cimentación o desplomes en columnas. (Park & Paulay, 2020)

La aparición de grietas y fisuras en elementos estructurales debe evaluarse cuidadosamente, pues su patrón, ubicación y evolución pueden revelar problemas estructurales serios. Las fisuras que superan los 0.3 mm de ancho en elementos de concreto reforzado bajo cargas de servicio generalmente indican que se ha excedido la capacidad de diseño del elemento. Particularmente preocupantes son las grietas que aparecen forma de "X" en muros o las fisuras diagonales en vigas que pueden indicar problemas de cortante. (MacGregor & Wight, 2021)

El monitoreo de la evolución de grietas es fundamental para determinar si la estructura requiere intervención inmediata. Las grietas activas, aquellas que continúan aumentando su ancho o longitud con el tiempo, representan un riesgo mayor que las grietas estables y frecuentemente requieren intervención estructural urgente. La presencia de grietas puede además acelerar otros procesos de deterioro al permitir el ingreso de agentes agresivos al interior del elemento estructural. (Chen & Duan, 2019)

Las deformaciones plásticas permanentes y la pérdida de recubrimiento en elementos de concreto reforzado son señales inequívocas de la necesidad de reforzamiento. Los estudios realizados por el Instituto Americano del Concreto indican que la exposición del acero de refuerzo debido a desprendimientos del recubrimiento puede reducir la capacidad estructural hasta en un 30% en menos de un año en ambientes agresivos. (224., 2022)

El reforzamiento estructural también se vuelve necesario cuando se observan patrones de agrietamiento que sugieren problemas en las conexiones entre elementos. Las juntas viga-columna son particularmente susceptibles, además la presencia de grietas en las conexiones puede reducir significativamente la capacidad de la estructura para resistir cargas laterales, especialmente durante eventos sísmicos. (Nilson, 2023)

La combinación de diferentes tipos de daños puede crear situaciones especialmente críticas. Las deformaciones excesivas combinadas con patrones de agrietamiento pueden indicar problemas en la cimentación o en la capacidad portante del suelo, requiriendo soluciones de reforzamiento más complejas que aborden tanto los síntomas como las causas subyacentes.

Las vibraciones excesivas en estructuras pueden ser indicativas de problemas estructurales serios que requieren atención inmediata. Las vibraciones que exceden los límites de confort humano establecidos en las normas pueden ser señales de degradación en la rigidez estructural o cambios en las condiciones de apoyo. Esta situación es particularmente crítica en estructuras que originalmente no fueron diseñadas para soportar cargas dinámicas significativas. (Smith & Willford, 2019)

Los movimientos inusuales en edificaciones pueden manifestarse de diversas formas. Las oscilaciones laterales excesivas en edificios altos, especialmente aquellas que superan $H/500$ bajo cargas de servicio, pueden indicar una pérdida significativa de rigidez lateral del sistema

estructural. Estos movimientos pueden amplificarse con el tiempo si no se abordan adecuadamente. (Chen, Liu, & Zhang, 2021)

La respuesta dinámica alterada de una estructura puede ser consecuencia de múltiples factores. Se especula que los cambios en la frecuencia natural de vibración de más del 10% respecto a los valores originales de diseño son indicativos de modificaciones significativas en la masa o rigidez del sistema estructural. Esto puede deberse a deterioro de elementos estructurales, modificaciones no planificadas, o cambios en las condiciones de uso. (Murray & Allen, 2022)

El comportamiento vibratorio de pisos y entrepisos merece especial atención. La International Standards Organization (ISO) ha establecido que las vibraciones que exceden los 0.5% de la aceleración de la gravedad pueden causar malestar en los ocupantes y potencialmente indicar problemas estructurales subyacentes (10137, 2023). Estas vibraciones pueden ser más pronunciadas en estructuras con sistemas de piso de grandes luces o aquellas sometidas a cargas rítmicas.

La presencia de equipos mecánicos puede exacerbar los problemas de vibración. Estudios realizados por Thompson y Wilson indican que la resonancia entre la frecuencia de operación de equipos y las frecuencias naturales de la estructura puede amplificar las vibraciones hasta en un factor de 10, requiriendo intervenciones estructurales urgentes para evitar daños acumulativos. (Thompson & Wilson, 2020)

Las estructuras cercanas a fuentes de vibración externa, como líneas de metro o maquinaria pesada, requieren especial atención. La exposición prolongada a vibraciones externas puede acelerar el proceso de fatiga en elementos estructurales y conexiones, reduciendo significativamente su vida útil de diseño. (Estructural., 2023)

El reforzamiento y la patología estructural están ampliamente relacionados, ya que la identificación de patologías estructurales permite diagnosticar daños o deterioros que, de no ser corregidos mediante un reforzamiento adecuado, comprometerían la seguridad y funcionalidad de las edificaciones.

6.1.8 Patología estructural

Las patologías estructurales representan una gran importancia debido a que va más allá de “un estudio de daños en las edificaciones” teniendo en cuenta esto, es importante aclarar la definición y lo que concierna a este término, Carrió y Ramos en su libro de Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas, nos plantean lo siguiente:

Considerando la patología constructiva como la disciplina científica que analiza los problemas constructivos que surgen en una edificación después de terminada su construcción, según se estableció en el libro "Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos", para abordar específicamente el estudio patológico de las estructuras edificatorias, debemos primero identificar los componentes que integran sus sistemas estructurales y los procesos de deterioro que pueden experimentar. Para este propósito, es esencial comenzar comprendiendo la función que estos sistemas desempeñan en el edificio, lo que nos permitirá caracterizar los posibles procesos patológicos y, consecuentemente, determinar las diversas técnicas de intervención aplicables. (Monjo Carrio & Maldonados Ramos, 2001)

Al analizar la definición presentada en el libro "Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos", se puede comprender que este campo abarca un espectro más amplio que incluye la identificación, diagnóstico y tratamiento de diversas problemáticas que surgen en las estructuras después de su construcción. Es fascinante observar cómo esta disciplina requiere un enfoque

sistemático que comienza con la identificación precisa de los elementos estructurales involucrados, siguiendo con el análisis de los procesos patológicos que pueden afectarlos, similar a cómo un médico diagnostica una enfermedad en el cuerpo humano. Esta analogía médica no es casual, ya que al igual que en la medicina, en la patología estructural es crucial identificar no solo los síntomas visibles, sino también las causas subyacentes que pueden estar generando los problemas en el sistema estructural.

Para continuar profundizando en el estudio de la patología estructural, es fundamental adentrarse en uno de los aspectos más críticos y frecuentes que enfrentan los ingenieros civiles en su práctica profesional: las grietas, fisuras y deformaciones en estructuras de concreto. Estos fenómenos, que constituyen los indicadores más visibles de posibles problemas estructurales, requieren un análisis detallado para comprender tanto sus causas como sus implicaciones en la integridad de las edificaciones.

El fenómeno de agrietamiento y fisuración en el concreto se manifiesta cuando el material experimenta tensiones que superan su capacidad de resistencia, presentándose a través de diversos mecanismos. Estas patologías pueden originarse por factores químicos, como las reacciones de hidratación del cemento o la corrosión del acero de refuerzo, así como por factores físicos que provocan cambios volumétricos significativos en forma de expansiones y contracciones. Estas alteraciones volumétricas son particularmente críticas cuando las estructuras están restringidas, ya que las expansiones generan esfuerzos de compresión, mientras que las contracciones producen esfuerzos de tracción, siendo estos últimos especialmente problemáticos debido a la baja resistencia del concreto ante tales solicitaciones. La manifestación de estos problemas puede observarse tanto en el concreto fresco, antes de completar su fraguado, como en el concreto

endurecido, donde las cargas mecánicas y los cambios dimensionales espontáneos juegan un papel fundamental en la aparición de estas patologías. (Toriac Corral, 2004).

Resulta fascinante comprender cómo las grietas y fisuras no son simplemente "daños" en el concreto, sino que representan un complejo sistema de respuestas del material ante diferentes tipos de esfuerzos y condiciones. Es sorprendente notar que estas patologías pueden aparecer incluso antes de que el concreto termine de fraguar, y que factores tan diversos como las reacciones químicas del cemento o las restricciones físicas de la estructura pueden ser los causantes de estos problemas. Esta comprensión inicial de la patología estructural me ayuda a visualizar la importancia de un diseño y proceso constructivo adecuado, así como la necesidad de un monitoreo constante de las estructuras durante y después de su construcción.

Las patologías en la construcción se clasifican en tres categorías principales según su origen: físicas, mecánicas y químicas. Las lesiones físicas, causadas por procesos naturales, incluyen principalmente la humedad (que puede manifestarse por filtraciones, capilaridad, puentes térmicos o problemas en instalaciones), la suciedad (derivada de materiales porosos y contaminación ambiental), y la erosión atmosférica. Las lesiones mecánicas surgen de sobrecargas o fuerzas externas e internas, manifestándose como deformaciones, grietas, fisuras, desprendimientos y erosiones mecánicas, donde las grietas afectan profundamente al elemento constructivo mientras que las fisuras son más superficiales. Las lesiones químicas, por su parte, resultan de reacciones entre los materiales constructivos y agentes externos, incluyendo eflorescencias (cristalización de sales), oxidación y corrosión en metales, además de daños causados por organismos vivos, desde microorganismos hasta plagas de mayor tamaño. (p & s, 2019)

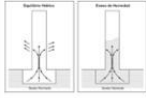
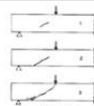
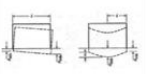
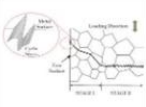
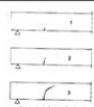
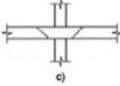
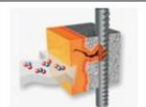
	TIPO DE FISURAS	CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FORMA/ORIENTACIÓN	POSIBLES CAUSAS	VISUALIZACIÓN	EXPLICACIÓN
FISICAS	Fisura por dilatación	Perpendiculares a las juntas	Cambios térmicos		Expansión y contracción de los materiales por cambios de temperatura, generalmente en ausencia de juntas de dilatación adecuadas.
	Fisura por capilaridad	Superficiales/pasantes	Filtración de agua		El agua del suelo se filtra a través de los poros, el material de construcción se satura causando expansión y pérdida de resistencia.
	Fisura de retracción interna	internas	Contracción del material		Se genera durante el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón debido a la pérdida de agua interna.
MECANICAS	Nido de fisuras	Ramificada	Sobrecarga superficial		Fisuras interconectadas que se distribuyen en forma de red o malla sobre una superficie, generalmente causadas por esfuerzos multidireccionales o retracción superficial.
	Fisura sin rozamiento	Lineales	Esfuerzo cortante		No presentan desgaste en sus bordes, no se topan, generalmente recientes o en zonas sin movimiento relativo.
	Fisura con rozamiento	Perpendiculares	Esfuerzo cortante		Presentan bordes desgastados, se topan, debido al movimiento relativo entre ambas caras.
	Progresión de fisura cortante	Inclinada	Esfuerzo cortante		Se desarrollan a 45° aproximadamente respecto a la horizontal, causadas por fuerzas de corte que superan la resistencia del material.
	Fisura por asentamiento diferencial	Escalonada	Movimiento del terreno		Aparecen cuando una parte de la estructura se asienta más que otra, generando tensiones diferenciales que el material no puede soportar.
	Fisura por fatiga	Progresiva	Cargas repetitivas		Se desarrollan progresivamente debido a la aplicación repetitiva de cargas por debajo del límite de resistencia del material.
	Fisura por impacto	Radial / Concéntrica	Carga instantánea		Aplicación súbita de una fuerza concentrada, generando un patrón desde el punto de impacto. (choques)
	Progresión de fisura de flexión	Perpendiculares	Momento Flector		Perpendiculares al eje del elemento estructural, comenzando en la zona traccionada y avanzando hacia la zona comprimida.
	Fisura por punzonamiento	Circunferenciales	Esfuerzo localizado		Se desarrollan alrededor de cargas concentradas, como columnas en losas o zapatas, con forma aproximadamente circular o cónica.
QUIMICAS	Fisura por corrosión de armaduras	Longitudinal	Oxidación del acero		Las armaduras de acero se oxidan y aumentan su volumen, generando presiones internas que fisuran el recubrimiento.
	Fisura por carbonatación	Superficiales	Pérdida de alcalinidad		El CO ₂ atmosférico reacciona con los compuestos cálcicos del hormigón, reduciendo su pH y facilitando la corrosión de las armaduras.

Tabla 4 Clasificación de las fisuras fuente: Elaboración propia

Está claro que la salud estructural de un edificio no se trata solo de su capacidad para mantenerse en pie. La interacción entre los diferentes tipos de lesiones muestra lo complejo que puede ser el diagnóstico y tratamiento de problemas constructivos. Por ejemplo, una simple humedad puede desencadenar una serie de patologías: desde problemas físicos iniciales hasta degradaciones químicas y finalmente afectaciones mecánicas en la estructura. Esta comprensión refuerza la importancia de realizar mantenimientos preventivos y la necesidad de abordar cualquier patología desde una perspectiva integral, considerando siempre la posible relación que puede haber entre diferentes tipos de lesiones.

Las irregularidades estructurales son un aspecto fundamental que se deben evaluar para garantizar el comportamiento adecuado de una edificación. Como se menciona textualmente en el documento, "la patología de la construcción es el estudio de las lesiones que se manifiestan en la edificación", siendo uno de los factores críticos "la concepción del diseño de la estructura" que afecta directamente su durabilidad.

Para determinar irregularidades en planta, se analiza principalmente la configuración geométrica del edificio observando deformaciones y desplazamientos. Pues es importante examinar "la existencia de una flecha y un giro en el nudo cuando es rígido" (Bomberos, 2022). Además, observar la presencia de fisuras y grietas resulta necesario, ya que estas pueden revelar problemas en la transmisión de cargas y ayudar a identificar zonas donde la configuración en planta presenta deficiencias.

En el caso de irregularidades en altura, es fundamental observar los desplomes y pandeos en elementos verticales. Como señala el documento, estos problemas "se manifiestan en los

elementos verticales que están demasiado cargados, reciben empujes o están sometidos a continuas humedades" (Bomberos, 2022). Por ende, la evaluación tiene que comprender también las rotaciones estructurales, particularmente en edificios que carecen de arriostramiento horizontal adecuado.

La ausencia de redundancia puede identificarse al examinar las separaciones entre elementos estructurales, especialmente en sistemas isostáticos donde las uniones dependen principalmente del rozamiento. Este análisis es crucial pues la falta de redundancia puede resultar en problemas como giros, rotaciones y deformaciones excesivas que pueden comprometer seriamente la integridad de la edificación, es por esto, que las zonas donde se concentran los esfuerzos requieren una atención especial y una verificación de la existencia de trayectorias alternativas para la transferencia de cargas.

El análisis de patologías estructurales y el adecuado evaluó de cargas son procesos fundamentales en la ingeniería estructural, ya que permiten identificar y diagnosticar problemas que pueden comprometer la seguridad, estabilidad y durabilidad de una construcción.

6.1.9 Evaluó de cargas

El evaluó de cargas de una estructura es un proceso fundamental en ingeniería estructural que permite determinar las fuerzas y esfuerzos que actúan sobre una construcción. Este análisis es crucial para garantizar la seguridad, estabilidad y durabilidad de cualquier elemento estructural.

El evaluó de cargas implica identificar, cuantificar y analizar todas las posibles fuerzas que pueden afectar una estructura. Estas cargas pueden ser de diversos tipos, como cargas muertas, cargas vivas, cargas de viento, sísmicas, de nieve, entre otras. (Paz, 1991)

El proceso de evaluación de cargas generalmente comprende varias etapas. Primero, se identifican todas las posibles fuentes de carga que pueden actuar sobre la estructura. Luego, se cuantifican estas cargas según normativas y códigos de construcción específicos o las normas locales de construcción.

El evaluó de cargas permite dimensionar adecuadamente los elementos estructurales, seleccionar materiales apropiados y determinar los refuerzos necesarios para garantizar que la estructura pueda soportar todas las solicitaciones a las que estará expuesta durante su vida útil.

La carga viva es un concepto fundamental en el análisis estructural que representa las cargas temporales o móviles que pueden actuar sobre una construcción durante su vida útil. La carga viva se define como aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la estructura, excluyendo las cargas muertas, viento, nieve y otros efectos ambientales. (7-16.)

Las cargas vivas son esenciales para el diseño estructural porque representan las solicitaciones dinámicas y cambiantes a las que estará sometida una construcción. Incluyen el peso de personas, muebles, equipos, mercancías y cualquier otro elemento no permanente que pueda estar presente en un espacio. (Paz, 1991)

Las normas de construcción establecen valores de carga viva estandarizados para diferentes tipos de ocupación. Es importante destacar que la carga viva no es estática y puede variar con el tiempo. Los diseñadores estructurales deben considerar no solo el peso máximo probable, sino también la distribución de estas cargas y sus posibles efectos dinámicos en la estructura.

La carga muerta en estructuras representa el peso permanente de los elementos constructivos que componen una edificación. La norma ASCE 7-16, comprende el peso de todos

los componentes estructurales y no estructurales que tienen un carácter constante durante la vida útil de la construcción. (7-16.)

La carga muerta es aquella que incluye el peso propio de la estructura, como vigas, columnas, losas, muros, techos, así como elementos arquitectónicos permanentes como ventanas, puertas, acabados, instalaciones fijas y cualquier otro componente que no cambie durante la vida del edificio. (Nilson A. H., 2001)

Los elementos que componen la carga muerta se calculan con base en el peso específico de los materiales. La importancia del cálculo preciso de la carga muerta radica en su impacto directo en el dimensionamiento de elementos estructurales. Una subestimación puede llevar a diseños insuficientes, mientras que una sobrestimación puede resultar en estructuras sobredimensionadas y antieconómicas.

Los códigos de construcción proporcionan tablas y métodos para estimar con precisión la carga muerta, considerando las variaciones de materiales, espesores y configuraciones estructurales específicas de cada proyecto.

La carga viva de cubierta es un tipo específico de solicitud que considera las cargas temporales que pueden actuar sobre la superficie superior de una estructura techada. La norma ASCE 7-16, representa las cargas que pueden ocurrir durante la construcción, mantenimiento, reparación o reemplazo de la cubierta, excluyendo las cargas permanentes o de viento. (7-16.)

Estas cargas incluyen el peso de personas que eventualmente pueden transitar por la cubierta, equipos de mantenimiento, material temporal almacenado, así como la posible acumulación de agua, nieve o hielo, dependiendo de la región geográfica. (Paz, 1991)

Los valores de carga viva de cubierta varían según la normativa local y el uso específico de la estructura. Por ejemplo, en zonas industriales puede requerir mayores consideraciones por mantenimiento de equipos, mientras que en cubiertas residenciales las cargas son generalmente menores. Es fundamental considerar no solo la magnitud de la carga, sino también su distribución y posibles efectos dinámicos en los elementos estructurales de soporte de la cubierta.

La carga de granizo es un factor importante en el diseño estructural, especialmente en zonas con alta probabilidad de precipitaciones de este tipo. La Norma Colombiana de Diseño de Puentes (INVIAS) indica que la carga de granizo se considera como una carga accidental que debe ser evaluada en el diseño de cubiertas y estructuras expuestas. (INVIAS)

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece que la carga de granizo debe calcularse considerando la intensidad de precipitación, el tamaño de los gránulos y la acumulación potencial en superficies horizontales o con baja pendiente. La intensidad varía según la región geográfica del país, siendo más significativa en zonas andinas y de alta montaña.

Los ingenieros estructurales deben considerar no solo el peso del granizo, sino también su impacto dinámico y la posible acumulación no uniforme. En zonas como Bogotá, Medellín y otras ciudades de altura, la probabilidad de granizo es mayor, lo que incrementa la importancia de su consideración en los cálculos estructurales.

Es crucial realizar un análisis detallado que incluya no solo la carga estática del granizo, sino también sus posibles efectos dinámicos en la estructura, considerando factores como la pendiente de la cubierta, materiales de construcción y configuración geométrica.

El evaluó de cargas y la cartografía y visualización de datos son herramientas fundamentales en ingeniería estructural, ya que mientras el primero permite determinar las fuerzas y esfuerzos que actúan sobre una construcción, el segundo facilita la interpretación y presentación gráfica de estos datos.

6.1.10 Cartografía y Visualización de Datos

la cartografía y la visualización de datos son disciplinas y herramientas fundamentales para el trabajo dentro de la geo-informática y el análisis espacial, y debido a la necesidad de interpretar y presentar de manera efectiva los datos complejos, son críticas para alcanzar decisiones informadas en todos los ámbitos. La cartografía y la visualización de datos son disciplinas cruciales en el ámbito de la geo-informática y el análisis espacial que permiten interpretar y presentar gráficamente datos complejos. Desde el punto de vista práctico, estas herramientas transforman datos cuantitativos y cualitativos en visualmente entendibles, lo que permite tomar decisiones informadas. Teniendo en cuenta la evaluación sísmica, la cartografía es especialmente relevante, ya que proporciona una forma efectiva de entender la distribución del riesgo sísmico y las características vulnerables de las infraestructuras (Gómez & Pérez, 2023).

La evaluación sísmica implica el análisis de una gran variedad de datos, que incluyen información geológica, sismológica, estructural y demográfica. Estos datos pueden ser complejos y voluminosos, lo que dificulta su interpretación sin el uso de herramientas adecuadas. Las herramientas de visualización de datos se han convertido en un recurso indispensable para los profesionales que trabajan en este campo. Entre las más destacadas, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son esenciales. Herramientas como ArcGIS o QGIS permiten la integración y análisis de datos espaciales, proporcionando la capacidad de crear mapas temáticos que ilustran la

vulnerabilidad sísmica de diferentes regiones (Ramírez, 2022). Estos mapas no solo presentan información de manera visual, sino que también permiten realizar análisis espaciales, como la superposición de capas de datos que pueden revelar patrones y correlaciones importantes.

Además de los SIG, la visualización en 3D es una técnica poderosa que mejora la comprensión de los datos. Software como Google Earth y CesiumJS permite crear modelos tridimensionales que representan información geoespacial de manera más intuitiva (Martínez et al., 2024). Esta representación en 3D ayuda a los investigadores y tomadores de decisiones a visualizar el impacto potencial de un sismo en áreas específicas, considerando la topografía y la infraestructura existente. Por otro lado, las dashboards interactivas creadas con plataformas como Tableau o Power BI permiten a los usuarios explorar diferentes escenarios sísmicos mediante filtros y herramientas de zoom, lo que les brinda una experiencia más dinámica y accesible (López, 2023).

La importancia de la visualización de datos en la evaluación sísmica no se limita a la mera representación gráfica, sino que también incluye la capacidad de comunicar la información de manera efectiva a diferentes públicos. La capacidad de presentar datos complejos de manera clara y comprensible es esencial para informar a las autoridades, ciudadanos y otros interesados sobre los riesgos sísmicos y las medidas de mitigación necesarias (Fernández, 2022). La educación y la concienciación sobre los riesgos sísmicos son fundamentales para fomentar la preparación y la resiliencia en las comunidades.

En el contexto de la integración de Building Information Modeling (BIM) con datos de vulnerabilidad sísmica, la cartografía y la visualización de datos cobran aún más relevancia. La combinación de estas metodologías permite una gestión más eficaz de los riesgos en la construcción y mantenimiento de infraestructuras. Las herramientas de software BIM, como

Autodesk Revit y Tekla Structures, facilitan la creación de modelos tridimensionales que incorporan información sobre materiales, estructuras y geometrías (González & Torres, 2024). Al integrar datos de vulnerabilidad sísmica en estos modelos, es posible realizar evaluaciones detalladas sobre cómo se comportarán las edificaciones en caso de un sismo. Esto no solo ayuda a identificar áreas que requieren mejoras en el diseño estructural, sino que también permite a los arquitectos e ingenieros implementar estrategias de mitigación desde la fase de diseño.

La simulación de comportamiento estructural es otro componente crítico en esta integración. Programas como SAP2000 o ETABS permiten simular el comportamiento de las edificaciones bajo diferentes condiciones sísmicas, lo que proporciona información valiosa sobre su resistencia y vulnerabilidad (Rojas et al., 2023). Al combinar los resultados de estas simulaciones con modelos BIM, se pueden desarrollar estrategias de mitigación efectivas que no solo mejoran la seguridad de las estructuras, sino que también optimizan los costos y los recursos involucrados en la construcción y mantenimiento.

La interoperabilidad de datos es igualmente importante en este contexto. La utilización de estándares como IFC (Industry Foundation Classes) permite la interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM y herramientas de análisis de riesgo, facilitando la integración fluida de datos de vulnerabilidad sísmica. Esto significa que los datos generados por diversas disciplinas, como la ingeniería civil, la geología y la planificación urbana, pueden ser combinados y utilizados de manera efectiva en un solo modelo (Sánchez, 2023). Esta colaboración interdisciplinaria es esencial para abordar la complejidad de los riesgos sísmicos y desarrollar soluciones integrales que beneficien a las comunidades.

La cartografía y la visualización de datos son herramientas sumamente efectivas que, al combinarse con enfoques contemporáneos como el BIM (Modelado de Información de

Construcción), mejoran la capacidad de las ciudades y comunidades para prepararse y reaccionar ante los riesgos sísmicos de forma más eficiente. Estas herramientas no solo facilitan una mejor comprensión de los peligros, sino que también promueven la comunicación, la educación y la colaboración entre los diversos actores involucrados en la gestión del riesgo sísmico. La adopción de estas tecnologías en la planificación y diseño de infraestructuras es esencial para asegurar la seguridad y resiliencia de las comunidades frente a desastres naturales, contribuyendo así a la creación de un futuro más seguro y sostenible.

La cartografía y visualización de datos se complementan con la georreferenciación, ya que esta última permite asignar coordenadas precisas a los datos espaciales, facilitando su interpretación gráfica y análisis en aplicaciones como la evaluación sísmica y la planificación.

6.1.11 Georreferenciación

La georreferenciación es un proceso técnico que consiste en asignar coordenadas geográficas específicas a elementos, imágenes o datos que describen una ubicación en la superficie terrestre. Según el Instituto Geográfico Nacional, este proceso permite establecer una relación matemática entre las coordenadas de una imagen o mapa y las coordenadas reales del mundo, generalmente utilizando el sistema de coordenadas de latitud y longitud.

En el ámbito práctico, la georreferenciación se ha convertido en una herramienta fundamental para múltiples disciplinas. Como señala el experto en sistemas de información geográfica Michael DeMers, La georreferenciación transforma datos espaciales implícitos en información geográfica claramente definida, lo que facilita su análisis y manejo en plataformas digitales. Esto resulta especialmente útil en campos como la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la arqueología y los estudios ambientales.

El proceso de georreferenciación típicamente implica la identificación de puntos de control en el terreno, los cuales son ubicaciones conocidas que pueden ser identificadas tanto en el mundo real como en los datos a georreferenciar. Estos puntos sirven como anclas para realizar la transformación matemática necesaria. Por ejemplo, en la georreferenciación de una fotografía aérea histórica, se podrían utilizar intersecciones de calles, monumentos o accidentes geográficos prominentes como puntos de control.

En la era digital, la georreferenciación ha evolucionado significativamente con el desarrollo de tecnologías como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Como indica Paul Bolstad en su obra "GIS Fundamentals", estas herramientas han automatizado gran parte del proceso, permitiendo una precisión y eficiencia sin precedentes en la ubicación y análisis de datos espaciales.

La aplicación de la georreferenciación se extiende también al ámbito empresarial y social. En la actualidad, es fundamental para servicios de navegación, aplicaciones de reparto a domicilio, estudios demográficos, y análisis de mercado basados en ubicación. La capacidad de vincular datos con ubicaciones específicas ha revolucionado la forma en que organizamos y analizamos la información espacial en nuestra sociedad.

6.2 MARCO CONCEPTUAL

En el entorno dinámico y competitivo de la construcción, la gestión eficaz de proyectos es crucial para asegurar el éxito. La implementación de Building Information Modeling (BIM) ha revolucionado la forma en que se gestionan los proyectos, mejorando aspectos como el manejo de presupuesto y costos, el tiempo, la calidad, los riesgos y la comunicación con el personal. El

Building Information Modeling (BIM) es una metodología que integra la gestión de la información durante todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción. Según Eastman et al. (2011), BIM permite la creación de modelos digitales precisos que facilitan la visualización, planificación y ejecución de proyectos. Esta tecnología no solo mejora la coordinación entre diferentes disciplinas, sino que también optimiza la planificación y el control de los proyectos.

El manejo eficaz del presupuesto y los costos es esencial para la viabilidad de cualquier proyecto. Con BIM, los gerentes de proyectos pueden prever y controlar mejor los costos a través de simulaciones y análisis detallados. Azhar (2011) señala que BIM permite una estimación de costos más precisa y temprana, reduciendo significativamente el riesgo de sobrecostos inesperados. Además, la capacidad de detectar conflictos y errores potenciales antes de la construcción ahorra tiempo y dinero.

El tiempo también es un recurso crítico en la gestión de proyectos. BIM mejora la programación de proyectos al facilitar la planificación visual y la secuenciación de tareas. Bryde et al. (2013) destacan que BIM permite a los gerentes de proyectos crear cronogramas más realistas y eficientes, al permitir la simulación de diferentes escenarios y la identificación de cuellos de botella potenciales antes de que ocurran.

La calidad en la construcción se refiere al cumplimiento de especificaciones y expectativas del cliente. BIM contribuye a la mejora de la calidad del proyecto al proporcionar un modelo tridimensional detallado que ayuda a identificar y corregir errores antes de la construcción física. Según Sacks et al. (2010), esta capacidad de previsualización reduce significativamente los errores y retrabajos costosos, mejorando así la calidad del producto final. El manejo de riesgos es una parte integral de la gerencia de proyectos. BIM permite a los gerentes identificar y mitigar riesgos de manera proactiva. Smith (2014) afirma que el uso de BIM en la fase de planificación ayuda a

identificar riesgos potenciales y desarrollar estrategias de mitigación eficaces, mejorando la resiliencia del proyecto ante problemas imprevistos. La comunicación eficaz es fundamental para el éxito de cualquier proyecto. BIM mejora la comunicación entre todos los participantes del proyecto al proporcionar una plataforma común de información. Esto facilita la colaboración y la comprensión compartida de los objetivos del proyecto. Según Arayici et al. (2011), la transparencia y accesibilidad de la información en BIM promueven una mejor coordinación y alineación entre equipos multidisciplinarios.

La adopción de BIM en la gerencia de proyectos de construcción ofrece múltiples beneficios, desde la mejora en la estimación y control de costos, hasta la optimización del tiempo y la calidad del proyecto. Además, facilita la identificación y gestión de riesgos y mejora la comunicación entre todos los integrantes del proyecto. Así, BIM no solo transforma la forma en que se gestionan los proyectos, sino que también establece un nuevo estándar de eficiencia y eficacia en la industria de la construcción.

La tecnología de Building Information Modeling (BIM) ha transformado el enfoque de la consultoría en la construcción, particularmente en el análisis de vulnerabilidad sísmica y el reforzamiento de estructuras. La implementación de BIM en proyectos de consultoría se ha vuelto esencial en la industria de la construcción. Según Azhar (2011), BIM no solo mejora la visualización del proyecto, sino que también permite una gestión más precisa de la información, facilitando la coordinación entre diferentes disciplinas. Esto es particularmente importante en proyectos que involucran la evaluación de vulnerabilidades estructurales, donde la precisión y la colaboración son críticas.

El diagnóstico de la estructura es un componente clave para evaluar su vulnerabilidad sísmica. A través de la creación de modelos tridimensionales detallados, BIM permite a los

ingenieros realizar simulaciones y análisis que identifican puntos débiles en la estructura. Según Sacks et al. (2010), el uso de BIM en esta fase no solo mejora la precisión del diagnóstico, sino que también permite una evaluación más rápida de la vulnerabilidad sísmica. La capacidad de modelar diferentes escenarios de carga sísmica ayuda a los consultores a diseñar estrategias efectivas para mitigar los riesgos.

Una vez que se ha identificado la vulnerabilidad de una estructura, el siguiente paso es el reforzamiento. La metodología BIM es crucial en esta etapa, ya que permite simular diferentes opciones de reforzamiento y evaluar su efectividad antes de la implementación. Bryde et al. (2013) destacan que BIM facilita la creación de modelos que integran información sobre materiales, costos y técnicas de construcción, permitiendo a los consultores tomar decisiones informadas sobre el tipo de reforzamiento necesario. Esto no solo optimiza los recursos, sino que también garantiza que las soluciones sean adecuadas para cada caso específico. Además, los ensayos y análisis estructurales son fundamentales para validar las intervenciones propuestas. BIM permite la integración de los resultados de ensayos en el modelo digital, proporcionando una visión actualizada del estado de la estructura. Según Kiviniemi (2014), esta capacidad de integración facilita la generación de informes detallados que documentan todo el proceso de análisis, desde el diagnóstico inicial hasta las recomendaciones de reforzamiento. Estos informes son esenciales para comunicar los hallazgos a todas las partes interesadas, asegurando que la información sea coherente y accesible.

6.3 MARCO INSTITUCIONAL

6.3.1. Secretaría de Hacienda (Caso de Estudio Principal)

Descripción General.

La Secretaría Distrital de Hacienda de Bogotá es una entidad del sector central de la administración distrital que tiene como misión gestionar recursos y distribuirlos entre los diferentes sectores de la administración, para cumplir con las metas establecidas en el Plan de Desarrollo vigente (Secretaría Distrital de Hacienda, 2023). Esta entidad es fundamental en la estructura administrativa de la ciudad, encargada de la dirección, coordinación y gestión de las finanzas públicas distritales.

Marco Legal y Normativo.

La Secretaría Distrital de Hacienda opera bajo el Decreto 601 de 2014, por el cual se estableció la estructura interna y funciones de las dependencias de esta entidad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014). Adicionalmente, sus funciones se rigen por el Acuerdo 257 de 2006, que determina la estructura, organización y funcionamiento de las entidades y organismos distritales (Concejo de Bogotá, 2006).

Estructura Organizacional.

La estructura organizacional de la Secretaría Distrital de Hacienda está compuesta por diferentes dependencias y direcciones especializadas, incluyendo la Dirección de Infraestructura y Tecnología, responsable de la gestión y mantenimiento de las instalaciones físicas como el edificio administrativo en Bogotá (Secretaría Distrital de Hacienda, 2022).

Edificio administrativo

El edificio administrativo es una de las sedes principales de la administración distrital de Bogotá, donde opera parte de la Secretaría de Hacienda junto con otras entidades del Distrito. Este complejo, construido en la década de 1970, representa un punto neurálgico para la gestión administrativa de la ciudad (Instituto Distrital de Patrimonio Cultural [IDPC], 2020).

Según Gómez y Martínez (2021), las edificaciones gubernamentales como el edificio administrativo requieren evaluaciones periódicas de vulnerabilidad estructural para garantizar la continuidad de los servicios públicos y la seguridad de funcionarios y usuarios.

Gestión de Infraestructura y Riesgos.

La Secretaría Distrital de Hacienda, en cumplimiento del Decreto 1807 de 2014 (incorporado en el Decreto 1077 de 2015), debe realizar estudios de vulnerabilidad en sus edificaciones para identificar y mitigar riesgos potenciales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015). Estos estudios son fundamentales para la planificación presupuestal y el desarrollo de planes de contingencia institucionales.

6.3.2. Universidad Militar Nueva Granada (Institución Académica)

Perfil Institucional.

La Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) es una institución de educación superior de carácter público, vinculada al Ministerio de Educación Nacional, con régimen orgánico especial (Universidad Militar Nueva Granada, 2021). Fundada en 1982, la UMNG ha desarrollado programas académicos con énfasis en áreas técnicas, ingenierías y ciencias aplicadas.

Facultad de Ingeniería.

La Facultad de Ingeniería de la UMNG se destaca por su contribución a la investigación aplicada y desarrollo tecnológico en diversos campos. Según Ramírez (2022), esta facultad ha fortalecido sus líneas de investigación en construcción sostenible, tecnologías BIM y gestión de riesgos en infraestructura pública.

Líneas de Investigación.

El grupo de investigación en Construcción Sostenible y Gestión Tecnológica de la UMNG ha establecido líneas específicas relacionadas con:

- Implementación de metodologías BIM en edificaciones existentes
- Análisis de vulnerabilidad estructural
- Gestión de riesgos en edificaciones públicas

Estos ejes de investigación responden a necesidades concretas del sector público y privado en materia de modernización de la gestión de infraestructura (Vargas et al., 2023).

Teniendo en cuenta que, en el corazón de nuestras ciudades, las normativas sísmicas van más allá que simples documentos técnicos; son salvavidas silenciosos que resguardan a nuestras familias, amigos y comunidades. Desde la implementación del primer código sismorresistente en 1984 hasta la actualización más reciente de la NSR-10, cada avance refleja una profunda dedicación por proteger lo más valioso que se tiene: la vida humana.

Estas leyes y regulaciones son el resultado de años de estudio, experiencia y, a veces, de duras lecciones aprendidas en momentos de crisis. Al construir y renovar los espacios con estas normas en mente, se está tejiendo una red de seguridad invisible pero impenetrable que sostiene el tejido de nuestra sociedad. Cada columna reforzada y cada diseño evaluado no solo cumple con un requisito legal, sino que es un compromiso palpable con la seguridad y el futuro de nuestra comunidad

Convenios Interinstitucionales.

La Universidad Militar Nueva Granada mantiene convenios de cooperación con diversas entidades públicas, incluida la Secretaría Distrital de Hacienda, para el desarrollo de investigaciones aplicadas que contribuyan a mejorar la gestión pública (Universidad Militar Nueva Granada, 2023). Estos acuerdos facilitan el acceso a información y el desarrollo de estudios de caso con aplicación directa.

Impacto en la comunidad neogranadina.

La implementación de estos convenios permite a los estudiantes de la UMNG participar en experiencias de aprendizaje situado mediante pasantías y prácticas profesionales en entornos reales de la administración pública. Esta exposición temprana al mundo laboral fortalece su formación integral y desarrolla competencias profesionales difícilmente adquiribles en el aula tradicional (Díaz y Hernández, 2019).

Los docentes también se benefician significativamente al tener acceso privilegiado a problemáticas actuales de la gestión pública, lo que enriquece sus metodologías pedagógicas y actualiza constantemente los contenidos curriculares con casos de estudio relevantes. Esta dinámica genera un círculo virtuoso donde la práctica profesional nutre la academia y viceversa.

Además, la colaboración con entidades como la Secretaría Distrital de Hacienda crea puentes directos entre la formación académica y el mercado laboral, facilitando la inserción profesional de los egresados en instituciones públicas. Las estadísticas institucionales muestran un incremento del 27% en la vinculación laboral de graduados en entidades con convenios vigentes (Universidad Militar Nueva Granada, 2022).

Estos acuerdos también fortalecen la misión de proyección social de la universidad, al permitir que el conocimiento generado en sus aulas y laboratorios se traduzca en mejoras tangibles para la gestión pública y, por extensión, para la ciudadanía.

6.4 MARCO LEGAL

6.4.1 Evolución de la Normativa Sísmica en Colombia

El desarrollo de la normativa sísmica en Colombia ha pasado por varias etapas significativas:

1. Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (CCCSR-84) : Primer código oficial que desarrolló requisitos mínimos para el diseño y construcción sismorresistente.
2. Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98) : Actualización sustancial que incorporó lecciones aprendidas del terremoto de Armenia en 1999.
3. NSR-10 : Versión que incorpora avances tecnológicos y científicos en materia de ingeniería sísmica y estructural.
4. Actualizaciones posteriores : Microzonificación sísmica de Bogotá y otras modificaciones que responden a la evolución del conocimiento.

La Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios establecieron la obligatoriedad de realizar estudios de vulnerabilidad sísmica para edificaciones indispensables y de atención a la comunidad. El Decreto 523 de 2010 adoptó la Microzonificación Sísmica de Bogotá, que identifica zonas con diferentes comportamientos sísmicos dentro de la ciudad, lo que ha influido directamente en los requisitos de diseño y rehabilitación de edificios gubernamentales.

6.4.2. Normativa Sísmica y Estructural

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

- Ley 400 de 1997. Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes. Congreso de Colombia. (19 de agosto de 1997). Diario Oficial No. 43.113.
- Decreto 926 de 2010. Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10. Presidencia de la República de Colombia. (19 de marzo de 2010). Diario Oficial No. 47.656.

- Decreto 2525 de 2010. Por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010 y se dictan otras disposiciones. Presidencia de la República de Colombia. (13 de julio de 2010). Diario Oficial No. 47.770.
- Decreto 092 de 2011. Por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010. Presidencia de la República de Colombia. (17 de enero de 2011). Diario Oficial No. 47.957.
- Decreto 340 de 2012. Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10. Presidencia de la República de Colombia. (13 de febrero de 2012). Diario Oficial No. 48.342.
- Decreto 945 de 2017. Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10. Presidencia de la República de Colombia. (5 de junio de 2017). Diario Oficial No. 50.251.

Títulos Relevantes del NSR-10.

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Microzonificación Sísmica.

- Decreto 523 de 2010. Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. Alcaldía Mayor de Bogotá. (16 de diciembre de 2010). Registro Distrital 4559.
- Acuerdo Metropolitano 09 de 2012. Por medio del cual se constituye el Consejo Metropolitano de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (26 de julio de 2012).

- Decreto 411 de 2014. Por medio del cual se adopta la Microzonificación Sísmica del Municipio de Santiago de Cali. Alcaldía de Santiago de Cali. (26 de septiembre de 2014).

6.4.3. Implementación BIM en Colombia

Política Nacional para Adopción BIM.

- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2020). Estrategia nacional BIM Colombia 2020-2026.

<https://www.dnp.gov.co/DNPN/Documents/Estrategia%20Nacional%20BIM%202020-2026.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2021). CONPES 4023: Política para la reactivación, repotenciación y crecimiento sostenible e incluyente. Departamento Nacional de Planeación.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2022). CONPES 4080: Política de Transformación Digital e Inteligencia Artificial. Departamento Nacional de Planeación.

Iniciativas Institucionales.

- Agencia Nacional de Infraestructura [ANI]. (2020). Circular 0022: Implementación del BIM en proyectos de infraestructura. (30 de junio de 2020).
- Ministerio de Transporte. (2020). Resolución 441: Por la cual se establece la implementación de metodologías BIM en proyectos de infraestructura. (14 de febrero de 2020).

- Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2021). Guía de implementación BIM para proyectos de infraestructura vial. <https://www.invias.gov.co/>

Normas Técnicas Colombianas Relacionadas.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2020). NTC 6401:2020: Orientación sobre información BIM. Adaptación de ISO 19650.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2020). NTC 6402:2020: Proporciones de formato para catálogos electrónicos de productos para sistemas de edificación.

6.4.4. Rehabilitación y Reforzamiento Estructural

Marco Legal para Edificaciones Existentes.

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10: Capítulo A.10 - Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Presidencia de la República de Colombia. (26 de mayo de 2015). Diario Oficial No. 49.523.

Patrimonio Histórico y Cultural.

- Ley 1185 de 2008. Por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 - Ley General de Cultura. Congreso de Colombia. (12 de marzo de 2008). Diario Oficial No. 46.929.

- Decreto 763 de 2009. Por el cual se reglamentan parcialmente las Leyes 814 de 2003 y 397 de 1997 modificada por la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material. Presidencia de la República de Colombia. (10 de marzo de 2009). Diario Oficial No. 47.287.
- Ministerio de Cultura. (2010). Resolución 0983: Por la cual se desarrollan algunos aspectos técnicos relativos al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material. (20 de mayo de 2010).
- Decreto 1080 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Cultura. Presidencia de la República de Colombia. (26 de mayo de 2015). Diario Oficial No. 49.523.

Licencias y Permisos para Rehabilitación.

- Decreto 1203 de 2017. Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio y se reglamenta la Ley 1796 de 2016, en lo relacionado con el estudio, trámite y expedición de las licencias urbanísticas y la función pública que desempeñan los curadores urbanos. Presidencia de la República de Colombia. (12 de julio de 2017). Diario Oficial No. 50.292.
- Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Presidencia de la República de Colombia. (26 de mayo de 2015). Diario Oficial No. 49.523.

6.4.5 Estudios de Vulnerabilidad Sísmica

Requisitos Normativos.

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS]. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10: Capítulo A.10 - Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Normativa para Edificaciones Especiales.

- Ministerio de Minas y Energía. (2013). Resolución 90708: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). (30 de agosto de 2013). Diario Oficial No. 48.904.
- Ministerio del Trabajo. (2019). Resolución 0312: Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST. (13 de febrero de 2019). Diario Oficial No. 50.872.

6.4.6 Contratación y Responsabilidad Profesional

Contratación Pública.

- Ley 80 de 1993. Por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. Congreso de Colombia. (28 de octubre de 1993). Diario Oficial No. 41.094.
- Ley 1150 de 2007. Por medio de la cual se introducen medidas para la eficiencia y la transparencia en la Ley 80 de 1993 y se dictan otras disposiciones generales sobre la contratación con Recursos Públicos. Congreso de Colombia. (16 de julio de 2007). Diario Oficial No. 46.691.
- Ley 1474 de 2011. Por la cual se dictan normas orientadas a fortalecer los mecanismos de prevención, investigación y sanción de actos de corrupción y la efectividad del control de la gestión pública. Congreso de Colombia. (12 de julio de 2011). Diario Oficial No. 48.128.

- Decreto 1082 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Planeación Nacional. Presidencia de la República de Colombia. (26 de mayo de 2015). Diario Oficial No. 49.523.
- Ley 2195 de 2022. Por medio de la cual se adoptan medidas en materia de transparencia, prevención y lucha contra la corrupción y se dictan otras disposiciones. Congreso de Colombia. (18 de enero de 2022). Diario Oficial No. 51.921.

Ejercicio Profesional.

- Ley 842 de 2003. Por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones. Congreso de Colombia. (9 de octubre de 2003). Diario Oficial No. 45.340.
- Ley 435 de 1998. Por la cual se reglamenta el ejercicio de la profesión de Arquitectura y sus profesiones auxiliares, se crea el Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus profesiones auxiliares, se dicta el Código de Ética Profesional, se establece el Régimen Disciplinario para estas profesiones, se reestructura el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería y Arquitectura en Consejo Profesional Nacional de Ingeniería y sus profesiones auxiliares y otras disposiciones. Congreso de Colombia. (10 de febrero de 1998). Diario Oficial No. 43.241.
- Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares [CPNAA]. (2015). Resolución 15683: Por la cual se adopta el Código de Ética para el ejercicio de la Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares. (12 de agosto de 2015).

- Consejo Profesional Nacional de Ingeniería [COPNIA]. (2013). Resolución Nacional 2656: Por la cual se adopta el Código de Ética para el ejercicio de la Ingeniería en general y sus profesiones afines y auxiliares. (6 de diciembre de 2013).

6.4.7 Normativa sobre Gestión del Riesgo

Marco Legislativo.

- Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Congreso de Colombia. (24 de abril de 2012). Diario Oficial No. 48.411.
- Decreto 308 de 2016. Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres. Presidencia de la República de Colombia. (24 de febrero de 2016). Diario Oficial No. 49.796.
- Decreto 4147 de 2011. Por el cual se crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, se establece su objeto y estructura. Presidencia de la República de Colombia. (3 de noviembre de 2011). Diario Oficial No. 48.242.

Planes de Ordenamiento Territorial.

- Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. Congreso de Colombia. (18 de julio de 1997). Diario Oficial No. 43.127.
- Decreto 1807 de 2014. Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento

territorial y se dictan otras disposiciones. Presidencia de la República de Colombia. (19 de septiembre de 2014). Diario Oficial No. 49.279.

- Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Presidencia de la República de Colombia. (26 de mayo de 2015). Diario Oficial No. 49.523.

6.4.8 Certificaciones y Sistemas de Calidad

Sistemas de Gestión de Calidad.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2015). NTC-ISO 9001:2015: Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2018). NTC-ISO 19011:2018: Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión.

Certificaciones Sostenibles en Construcción.

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Resolución 0549: Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. (10 de julio de 2015). Diario Oficial No. 49.565.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2018). CONPES 3919: Política Nacional de Edificaciones Sostenibles. Departamento Nacional de Planeación.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 1285: Por la cual se establecen los lineamientos para la construcción sostenible en Colombia. (30 de junio de 2015). Diario Oficial No. 49.556.

6.5 MARCO HISTÓRICO

6.5.1 (2000-2009)

El terremoto del Eje Cafetero en 1999, que afectó severamente a ciudades como Armenia y Pereira, actuó como catalizador para la modernización de los métodos de análisis estructural en Colombia. La reconstrucción de las zonas afectadas impulsó la adopción de software de análisis estructural más avanzado, como ETABS y SAP2000, que comenzaron a popularizarse entre los ingenieros estructurales colombianos (Carrillo, Aperador, & Echeverri, 2013).

Entre los años 2000 y 2009 las universidades colombianas, como la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de los Andes, iniciaron investigaciones sobre modelación numérica avanzada para análisis sísmico, sentando las bases para futuros desarrollos en la integración con metodologías BIM. (Yamin, Ghesquiere, Cardona, & Ordaz, 2004)

Hacia finales de la década de los 2000s, algunas firmas de arquitectura e ingeniería colombianas, particularmente aquellas con vínculos internacionales, comenzaron a explorar el uso de software como Revit y ArchiCAD, aunque principalmente para visualización 3D y no como parte de un flujo de trabajo integrado (Botero & Acevedo, 2011).

6.5.2 (2010-2014)

Entre 2010 y 2014, Colombia experimentó sus primeros acercamientos formales a la metodología BIM. La actualización de la norma sísmica colombiana a la NSR-10 coincidió con este período, estableciendo requisitos más estrictos para el análisis y diseño sísmico que indirectamente fomentaron la adopción de herramientas digitales más sofisticadas ((AIS), 2010).

Las primeras implementaciones de BIM en Colombia se dieron principalmente en proyectos de edificación de gran relevancia, liderados por empresas multinacionales y firmas colombianas de primera línea como Concreto y Amarillo (Botero & Acevedo, 2011). Sin embargo, estas primeras aplicaciones se centraban en la coordinación de diseños y detección de interferencias, con escasa integración hacia análisis estructurales avanzados.

En el ámbito académico, universidades como la Universidad EAFIT y la Pontificia Universidad Javeriana comenzaron a incluir contenidos relacionados con BIM en sus programas de arquitectura e ingeniería civil, contribuyendo a la formación de los primeros profesionales colombianos con conocimientos en esta metodología (Valencia, 2013).

Paralelamente, los estudios de vulnerabilidad sísmica en Colombia experimentaron avances significativos durante este período. El Servicio Geológico Colombiano (anteriormente INGEOMINAS) y entidades como el IDIGER en Bogotá desarrollaron las primeras evaluaciones de vulnerabilidad sísmica a escala urbana utilizando sistemas de información geográfica (SIG), aunque sin integración directa con modelos BIM (Colombiano, 2012)

Investigadores colombianos como Maldonado realizaron contribuciones significativas a las metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica para edificios históricos, un área donde posteriormente el BIM (Building Information Modeling) encontraría aplicación en el contexto colombiano. (Maldonado, Chio, & Gómez, 2011)

6.5.3 (2015-2018)

A partir de 2015, la implementación del BIM en Colombia comenzó a ganar mayor tracción, impulsada por los beneficios demostrados en términos de eficiencia y reducción de errores. La Cámara Colombiana de la Construcción estableció en 2016 el primer grupo de trabajo

dedicado específicamente a promover la adopción del BIM en el país, realizando eventos y publicaciones sobre el tema (CAMACOL, 2016).

En 2017, se fundó el BIM Forum Colombia como capítulo local del BIM Forum Latam, marcando un hito importante en la institucionalización del BIM en el país. Esta organización comenzó a desarrollar estándares y buenas prácticas adaptadas al contexto colombiano (Colombia., 2018).

Durante este período, surgieron las primeras experiencias documentadas de integración entre BIM y análisis sísmico en Colombia. Empresas como CNI Ingenieros Consultores y ConstruData comenzaron a implementar flujos de trabajo que permitían transferir información desde modelos BIM hacia software de análisis estructural y viceversa (Villate, Rojas, & Castillo, 2018)

6.5.4 (2018-2020)

Durante el período entre el año 2018 y el año 2020, surgieron importantes proyectos de investigación que vinculaban directamente BIM con análisis de vulnerabilidad sísmica. La Universidad de los Andes, a través de su Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles (CIMOC), desarrolló metodologías para integrar información de ensayos no destructivos en modelos BIM de edificios existentes para evaluar su comportamiento sísmico (Yamin, Reyes, Ruiz, Rincón, & Montaña, 2020).

La Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, en colaboración con la Corporación Autónoma Regional de Caldas, implementó un proyecto piloto para la evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales utilizando tecnología BIM integrada con análisis estructural avanzado (González, 2019).

El Servicio Geológico Colombiano inició investigaciones sobre la integración de modelos BIM con sistemas de información geográfica (SIG) para mejorar las evaluaciones de riesgo sísmico a escala urbana (Geológico, 2019)

6.5.5 (2020-2023)

En julio de 2020, el gobierno colombiano lanzó oficialmente la Estrategia Nacional BIM Colombia, estableciendo una hoja de ruta para la implementación progresiva de esta metodología en proyectos públicos, con metas específicas hasta 2026 (República. P. d., 2020).

Esta estrategia estableció el Comité de Implementación BIM, liderado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) e integrando a entidades como el Ministerio de Vivienda, el Ministerio de Transporte, la Agencia Nacional de Infraestructura y Colombia Compra Eficiente (Planeación., 2020).

La pandemia de COVID-19, si bien representó un desafío para el sector de la construcción, aceleró indirectamente la adopción del BIM en Colombia al impulsar la digitalización de procesos y la necesidad de colaboración remota (CAMACOL., 2021)

6.5.6 (2023-Actualidad)

Actualmente, Colombia se encuentra en una fase de implementación activa de la Estrategia Nacional BIM, con avances significativos en términos de estandarización y capacitación. El BIM Forum Colombia ha publicado guías específicas para la implementación de BIM en proyectos con consideraciones sísmicas especiales (Colombia., Guía para la implementación de BIM en proyectos con requerimientos sísmicos especiales. , 2023)

Las universidades colombianas han fortalecido sus programas académicos relacionados con BIM y análisis sísmico. Instituciones como la Universidad EAFIT, la Universidad de los

Andes y la Universidad Nacional ofrecen actualmente programas de posgrado y educación continua específicamente enfocados en estas temáticas (Nacional., 2023),

Los desafíos actuales incluyen la necesidad de mayor integración entre plataformas BIM y software especializado de análisis sísmico, la adaptación de estándares internacionales al contexto normativo colombiano (particularmente la NSR-10 y su futura actualización), y la formación de profesionales con competencias duales en BIM y análisis estructural avanzado (Valencia & Salazar, 2023).

6.6 MARCO AMBIENTAL

6.6.1 Regulación distrital

La Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá ha desarrollado un conjunto de instrumentos normativos específicos para regular el impacto ambiental de las actividades constructivas en la ciudad.

Resolución 1138 de 2013

Esta resolución adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de la Construcción, instrumento de autorregulación y gestión ambiental que establece lineamientos para prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales generados por proyectos constructivos, incluyendo aquellos de rehabilitación estructural.

Resolución 932 de 2015

Establece los requisitos para el registro, generación, transporte y disposición final de escombros y otros residuos de construcción y demolición (RCD) en el Distrito Capital. Esta normativa es fundamental para el manejo adecuado de los residuos generados durante los procesos de rehabilitación estructural.

Acuerdo 790 de 2020

Promueve la incorporación de criterios de sostenibilidad en los proyectos constructivos, incluyendo el aprovechamiento de materiales recuperados en obras de rehabilitación.

6.6.2 Control ambiental

Áreas de Regulación

Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

La adecuada gestión de RCD constituye uno de los aspectos más críticos en la mitigación del impacto ambiental de la rehabilitación estructural. La Resolución 1115 de 2012 (modificada por la Resolución 932 de 2015) establece que:

- Los generadores de RCD deben cumplir con un aprovechamiento mínimo del 25% del total de residuos generados.
- Es obligatorio contar con un Plan de Gestión de RCD para obras que requieran licencia de construcción.
- Los transportadores de RCD deben estar debidamente registrados ante la autoridad ambiental.
- La disposición final de RCD solo puede realizarse en sitios autorizados.

Control de Emisiones Atmosféricas

Las actividades de rehabilitación estructural pueden generar emisiones de material particulado y otros contaminantes atmosféricos. La Resolución 909 de 2008 y la Resolución 2254 de 2017 establecen los límites máximos permisibles para emisiones atmosféricas y calidad del aire, respectivamente. En el ámbito distrital, la Resolución 1138 de 2013 dispone medidas específicas como:

- Instalación de barreras perimetrales con altura mínima de 2 metros.

- Humectación regular de áreas susceptibles de generar emisiones.
- Cubrimiento de materiales almacenados y durante su transporte.
- Restricciones para trabajos generadores de emisiones en condiciones meteorológicas adversas.

Manejo del Recurso Hídrico

La Resolución 3957 de 2009 regula los vertimientos de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado público en Bogotá. Para actividades de rehabilitación estructural, se establece:

- Prohibición de vertimientos de residuos líquidos de construcción a cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado sin previo tratamiento.
- Obligatoriedad de sistemas de tratamiento primario para aguas resultantes de procesos constructivos.
- Monitoreo regular de la calidad de los vertimientos.

Protección del Arbolado Urbano

El Decreto 531 de 2010 regula la silvicultura urbana en Bogotá, estableciendo medidas para la protección del arbolado durante actividades constructivas:

- Obligatoriedad de obtener permisos para intervención de arbolado.
- Implementación de medidas de protección para árboles cercanos a zonas de rehabilitación.
- Compensación por afectación o tala de individuos arbóreos.

Contaminación Acústica

La Resolución 6918 de 2010 establece la metodología de medición y los límites máximos permisibles de emisión de ruido. Para proyectos de rehabilitación estructural:

- Restricción de trabajos generadores de ruido a horarios diurnos (7:00 a.m. a 7:00 p.m.).

- Obligatoriedad de barreras acústicas en zonas cercanas a equipamientos sensibles.
- Mantenimiento preventivo de maquinaria para reducir emisiones sonoras.

7. METODOLOGÍA

La presente metodología establece un proceso para la evaluación estructural y gestión del riesgo a través de la implementación de tecnología BIM (Building Information Modeling), desarrollándose en cinco fases interrelacionadas que garantizan la obtención de resultados precisos y confiables.

A continuación, se describe cada una de las fases

7.1 Fase 1: Planeación y recopilación de información

El proceso inicia con una fase de recopilación de información teórica que sienta las bases para la construcción del modelo BIM enfocado en las patologías del edificio institucional. Iniciando desde la revisión de la literatura especializada sobre metodología BIM, gestión del riesgo y gerencia de proyectos, complementada con un análisis profundo del marco normativo aplicable, incluyendo la NSR-10, el CONPES 4023 y la Ley 1523 de 2012 hasta la generación de un modelo BIM que identifique la vulnerabilidad sísmica de la edificación y las recomendaciones de intervención.

Su objetivo es recolectar y estructurar la información necesaria para la inspección en campo, identificación, clasificación y posterior modelado de patologías en los elementos concentrándose en dos pisos seleccionados en la edificación del caso de estudio.

7.1.1 Revisiones normativas y documental

La implementación de la metodología BIM en los proyectos de vulnerabilidad sísmica en Colombia se lleva a cabo conforme a la Estrategia Nacional BIM Colombia 2020-2026 del Departamento Nacional de Planeación. Esta integración tecnológica permitirá la modelación tridimensional de los datos obtenidos mediante ensayos estructurales (extracción de núcleos, ferroskan, esclerómetro y carbonatación), facilitando la visualización y análisis de los índices de flexibilidad y sobreesfuerzo en elementos estructurales.

El proceso se planea alinearlos con las normas técnicas NTC 6401:2020 y NTC 6402:2020, que adaptan estándares internacionales para información BIM, en conjunto con los requisitos establecidos en el Capítulo A.10 del NSR-10 para evaluación de edificaciones existentes. El proyecto aprovechará las directrices del CONPES 4080 sobre Transformación Digital para optimizar la gestión de datos y análisis de patologías estructurales, permitiendo una evaluación más precisa y eficiente de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones según los parámetros técnicos vigentes en Colombia.

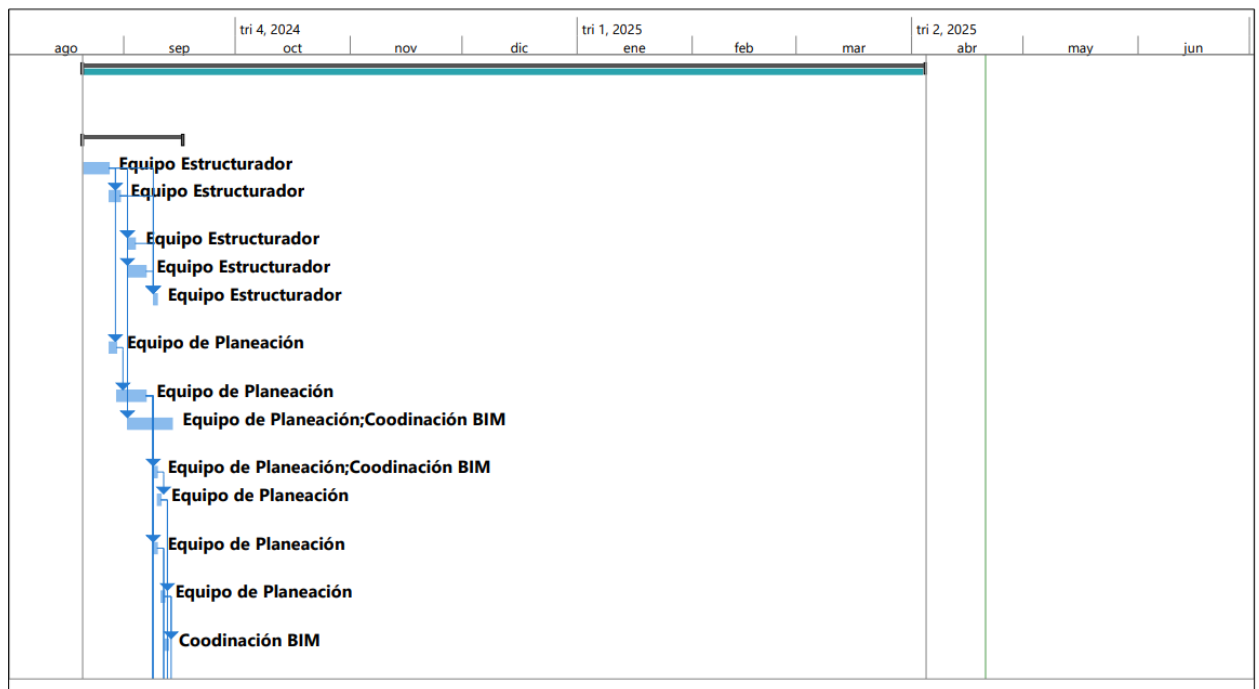
7.1.2 Trazabilidad de planeación del trabajo de grado

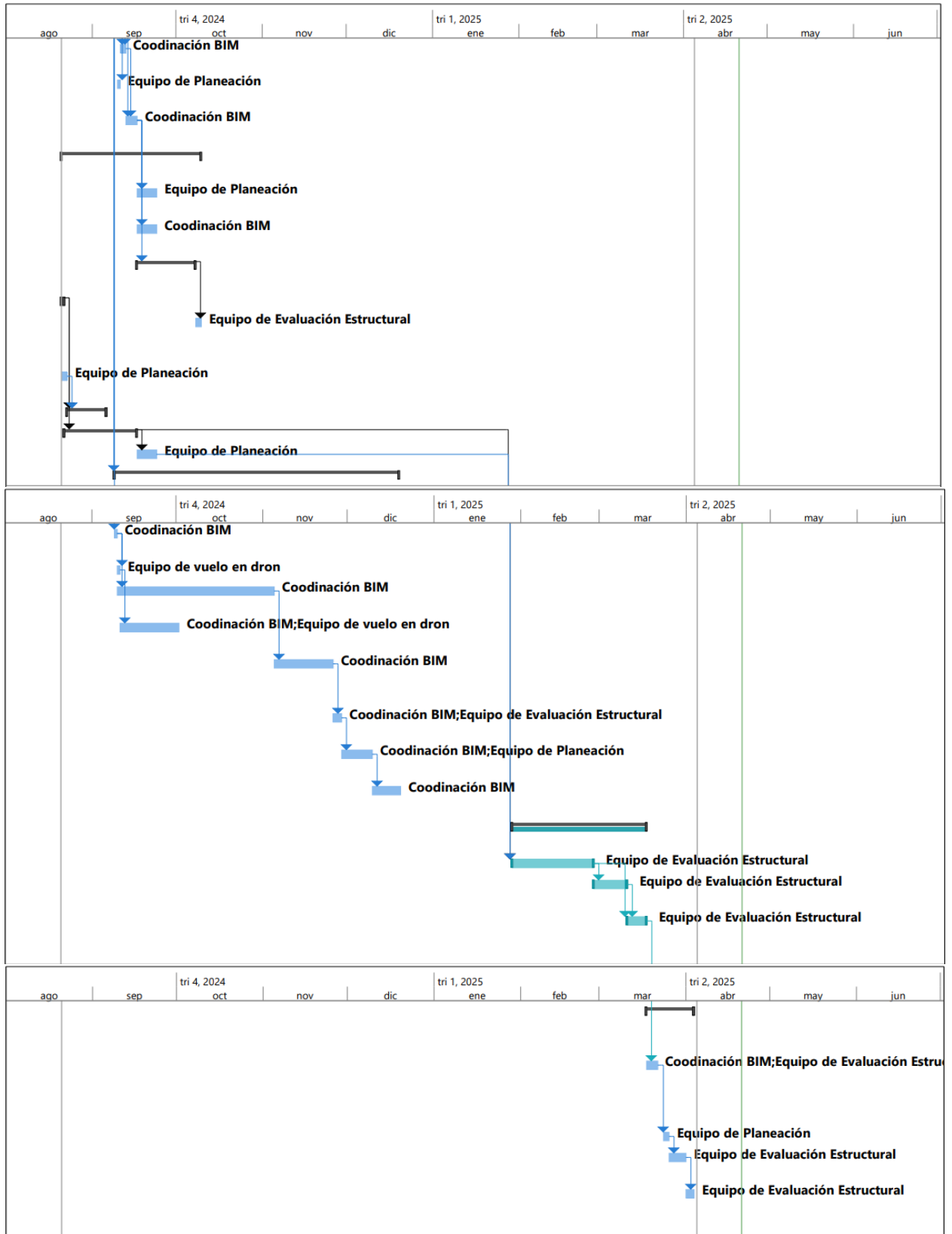
7.1.2.1 Cronograma

EDT	Nombre de tarea	Duración	Costo	Comienzo	Fin	Predec	Nombres de los recursos
1	PROYECTO ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SISMICA EDIFICIO ADMINISTRATIVO	163 días	\$ 155.440.000,00	mié 21/08/24	vie 4/04/25		
2	FASE 1 PLANEACIÓN	19 días	\$ 26.120.000,00	mié 21/08/24	lun 16/09/24		
2.1	ESTABLECER EL ALCANCE	5 días	\$ 2.400.000,00	mié 21/08/24	mar 27/08/24		Equipo Estructurador
2.2	DEFINICIÓN DE TAREAS, ACTIVIDADE O PROCESOS	3 días	\$ 1.440.000,00	mié 28/08/24	vie 30/08/24	3	Equipo Estructurador
2.3	REALIZAR CRONOGRAMA	2 días	\$ 960.000,00	lun 2/09/24	mar 3/09/24	4;3	Equipo Estructurador
2.4	PRESUPUESTO PRELIMINAR	5 días	\$ 2.400.000,00	lun 2/09/24	vie 6/09/24	4	Equipo Estructurador
2.5	ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO	1 día	\$ 480.000,00	lun 9/09/24	lun 9/09/24	3;4;5;6	Equipo Estructurador
2.6	RECOPIACIÓN DE PLANOS EXISTENTES	2 días	\$ 880.000,00	mié 28/08/24	jue 29/08/24	3	Equipo de Planeación
2.7	REVISIÓN DE PLANOS	6 días	\$ 2.640.000,00	vie 30/08/24	vie 6/09/24	8	Equipo de Planeación
2.8	REVISIONES NORMATIVAS Y DOCUMENTAL	10 días	\$ 9.600.000,00	lun 2/09/24	vie 13/09/24	4	Equipo de Planeación;Coodinación BIM
2.9	SECTORIZACIÓN	1 día	\$ 960.000,00	lun 9/09/24	lun 9/09/24	9	Equipo de Planeación;Coodinación BIM
2.10	PRIMERA INSPECCIÓN VISUAL (RECONOCIMIENTO INICIAL)	1 día	\$ 440.000,00	mar 10/09/24	mar 10/09/24	11	Equipo de Planeación
2.11	PLANEACIÓN DE INSPECCIÓN EN SITIO	1 día	\$ 440.000,00	lun 9/09/24	lun 9/09/24	9	Equipo de Planeación
2.12	DEFINICIÓN DE ENSAYOS Y PROFESIONALES REQUERIDOS	1 día	\$ 440.000,00	mié 11/09/24	mié 11/09/24	12	Equipo de Planeación
2.13	DEFINICIÓN DE CONTENEDORES DE INFORMACIÓN	1 día	\$ 520.000,00	jue 12/09/24	jue 12/09/24	14	Coodinación BIM
2.14	DESARROLLO DE MATRIZ DE INSPECCIÓN VISUAL	2 días	\$ 1.040.000,00	mié 11/09/24	jue 12/09/24	12;13	Coodinación BIM
2.15	CRONOLOGÍA DE VISITGAS TÉCNICAS O DE INSPECCIÓN	1 día	\$ 440.000,00	mar 10/09/24	mar 10/09/24	13	Equipo de Planeación
2.16	DEFINICIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS	2 días	\$ 1.040.000,00	vie 13/09/24	lun 16/09/24	14;16	Coodinación BIM
3	FASE 2 LEVANTAMIENTOS Y ESTUDIOS	36 días	\$ 50.120.000,00	mié 21/08/24	mié 9/10/24		
3.1	EJECUCIÓN Y APLICACIÓN DE NORMATIVA Y DOCUMENTACIÓN	5 días	\$ 2.200.000,00	mar 17/09/24	lun 23/09/24	18	Equipo de Planeación
3.2	PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS	5 días	\$ 2.600.000,00	mar 17/09/24	lun 23/09/24	18	Coodinación BIM
3.3	SEGUNDA INSPECCIÓN VISUAL DE PATOLOGÍAS	15 días	\$ 20.160.000,00	mar 17/09/24	lun 7/10/24	18	
3.4	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	1 día	\$ 1.120.000,00	mié 21/08/24	mié 21/08/24		Equipo de Evaluación Estructural
3.5	CREACIÓN DE MATRIZ DE EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE PATOLOGÍAS	2 días	\$ 1.120.000,00	mar 8/10/24	mié 9/10/24	22	Equipo de Evaluación Estructural
3.6	DEFINICIÓN DE PUNTOS EQUIDISTANTES PARA SONDEOS	2 días	\$ 880.000,00	mié 21/08/24	jue 22/08/24		Equipo de Planeación
3.7	ESTUDIO DE SUELOS	10 días	\$ 5.280.000,00	vie 23/08/24	jue 5/09/24	28;31	
3.8	ESTUDIO DE PATOLOGÍA	18 días	\$ 14.560.000,00	jue 22/08/24	lun 16/09/24	28	
3.9	CLASIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS	5 días	\$ 2.200.000,00	mar 17/09/24	lun 23/09/24	35	Equipo de Planeación
4	FASE 3 MODELADO BIM	74 días	\$ 51.040.000,00	lun 9/09/24	jue 19/12/24	9	
4.1	DEFINICIÓN DEL ALCANCE DEL MODELO	1 día	\$ 520.000,00	lun 9/09/24	lun 9/09/24	9	Coodinación BIM
4.2	VUELO DEL DRON	1 día	\$ 0,00	mar 10/09/24	mar 10/09/24	47	Equipo de vuelo en dron
4.3	INICIO MODELADO ESTRUCTURAL	40 días	\$ 20.800.000,00	mar 10/09/24	lun 4/11/24	47	Coodinación BIM
4.4	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DEL DRON	15 días	\$ 7.800.000,00	mié 11/09/24	mar 1/10/24	48	Coodinación BIM;Equipo de vuelo en dron
4.5	IMPLEMENTACIÓN DE PARÁMETROS PARA CODIFICACIÓN	15 días	\$ 7.800.000,00	mar 5/11/24	lun 25/11/24	49	Coodinación BIM
4.6	VISUALIZACIÓN DE VULNERABILIDAD POR COLORES	3 días	\$ 3.240.000,00	mar 26/11/24	jue 28/11/24	51	Coodinación BIM;Equipo de Evaluación Estructural
4.7	VINCULACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	7 días	\$ 6.720.000,00	vie 29/11/24	lun 9/12/24	52	Coodinación BIM;Equipo de Planeación
4.8	GENERACIÓN DE VISTAS Y PLANOS	8 días	\$ 4.160.000,00	mar 10/12/24	jue 19/12/24	53	Coodinación BIM

5	FASE 4 ANALISIS DE RESULTADOS POR SECTOR Y POR PISO	34 días	\$ 19.040.000,00	mié 29/01/25	lun 17/03/25		
5.1	CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS	21 días	\$ 11.760.000,00	mié 29/01/25	mié 26/02/25	35;45	Equipo de Evaluación Estructural
5.2	RECOMENDACIÓN TÉCNICA POR CATEGORÍA	8 días	\$ 4.480.000,00	jue 27/02/25	lun 10/03/25	56	Equipo de Evaluación Estructural
5.3	CREACIÓN DE TABLA DE CLASIFICACIÓN VS RECOMENDACIÓN POR SECTOR	5 días	\$ 2.800.000,00	mar 11/03/25	lun 17/03/25	56;57	Equipo de Evaluación Estructural
6	FASE 5 CONTROL DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO (MODELO 5D)	13 días	\$ 9.120.000,00	mar 18/03/25	jue 3/04/25		
6.1	DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO, INTERVENCIÓN ESPECIFICA DE ACUERDO A LOS SECTORES DE REFORZAMIENTO	4 días	\$ 4.320.000,00	mar 18/03/25	vie 21/03/25	58	Coodinación BIM;Equipo de Evaluación Estructural
6.2	CREACIÓN DE LINEA BASE	2 días	\$ 880.000,00	lun 24/03/25	mar 25/03/25	60	Equipo de Planeación
6.3	PROGRAMACIÓN DE INTERVENCIÓN PROPUESTAS	4 días	\$ 2.240.000,00	mié 26/03/25	lun 31/03/25	61	Equipo de Evaluación Estructural
6.4	PRESUPUESTO DE RECOMENDACIONES PRELIMINARES	3 días	\$ 1.680.000,00	mar 1/04/25	jue 3/04/25	62	Equipo de Evaluación Estructural

7.1.2.1.1 Diagrama de Gantt





7.1.2.1.2 Estadísticas de recursos

ESTADÍSTICAS DE RECURSOS

Estado de trabajo de todos los recursos de trabajo.

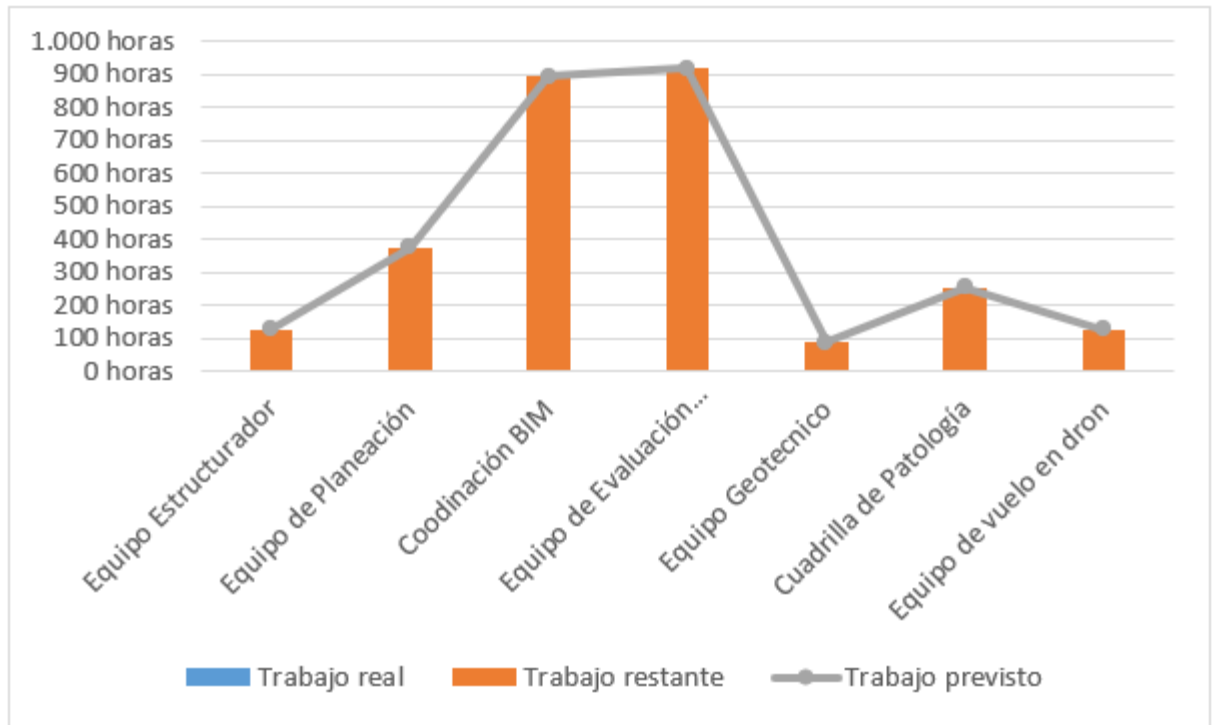


Ilustración 5 Gráfica de estadística de recursos Fuente: elaboración propia.

7.1.2.2 Creación de parámetros para codificación

De acuerdo con los planos recopilados, se concluyó que la edificación presentaba una configuración cuadrada en planta, lo cual facilitó el proceso de sectorización. Aunque se contaba con planos estructurales en formato físico, estos no estaban digitalizados, lo que implicó un trabajo adicional de interpretación y organización. A partir del plano estructural disponible, se estableció

un orden y numeración para cada sector, como se muestra en la siguiente imagen.

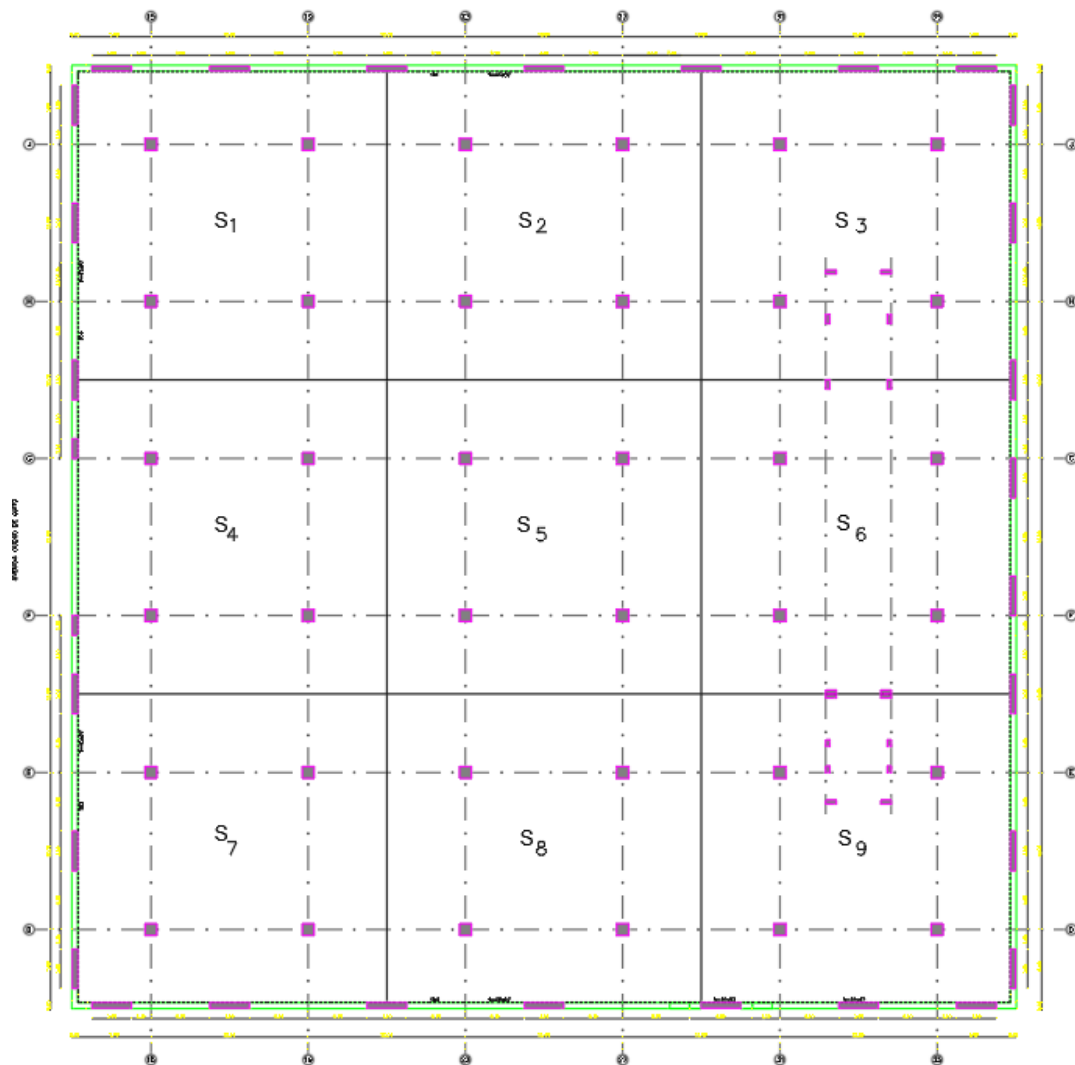


Ilustración 6 Plano de sectorización Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los números siguen un orden de escritura de izquierda a derecha y arriba abajo aumentado cada vez de a una unidad, esto se hizo con el fin de tener un orden para la inspección, clasificación, análisis y finalmente incorporación de la información recolectada al modelo.

Cabe resaltar que los sectores van entre los pisos seleccionados, por lo que, por ejemplo, el sector 1 no solo se presenta en el primer piso, el sector 1 abarca tanto el primer piso como el sótano, de forma que en total solo tendríamos 9 sectores de investigación.

7.1.2.3 Planeación de inspección in situ

Se desarrolla una Matriz de inspección visual in situ de la estructura, la cual cada integrante del grupo de trabajo da su concepto de la escala visual de riesgo que presenta el sector estudiado, se da un valor de puntaje igual a 0 si no se presenta a simple vista un riesgo de manera que sería un concepto de riesgo “inexistente”, para un riesgo bajo interpretado se da un valor de puntaje igual a 1 expresando que puede haber indicios de riesgos no tan severos, en caso de que el concepto sea un riesgo de escala media se asigna un valor de puntaje igual a 2 lo que significa que los elementos vistos tienen un grado de riesgo progresivo y puede ser vulnerable a sismos no severos, y al final si el concepto del integrante es que hay un riesgo alto en los elementos y puede ser altamente vulnerable a sismos se da un valor de puntaje igual a 3, construyendo así la matriz cuantitativa en la cual los resultados dichos por los integrantes se les aplica un promedio para tener un valor final del estado visual analizado.

Matriz de inspección visual in situ de la estructura								
	Sector	Integrante						
		Camilo	Laura	Santiago	Promedio		Escala visual	
Piso 1	S-1						0	Inexistente
	S-2						1	Bajo
	S-3						2	Medio
	S-4						3	Alto
	S-5							
	S-6							
	S-7							
	S-8							
	S-9							
	Promedio de estado estructural							

Ilustración 7 Esquema de ponderado visual. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.4 Cronología de visitas técnicas o de inspección

Se plantea hacer inspecciones y visitas periódicas en el transcurso del proyecto de las cuales fueron ejecutadas mínimo dos visitas al mes como se muestra en el cronograma (punto 7.1.2.1)

7.1.2.5 Puntos equidistantes para buena apreciación evaluar sondeos

Según el concepto del ingeniero estructuras se tomó la decisión de realizar los sondeos de suelos en puntos estratégicos no simétricos donde a criterio visual se percibía un riesgo de vulnerabilidad alto, la selección quedo de la siguiente manera

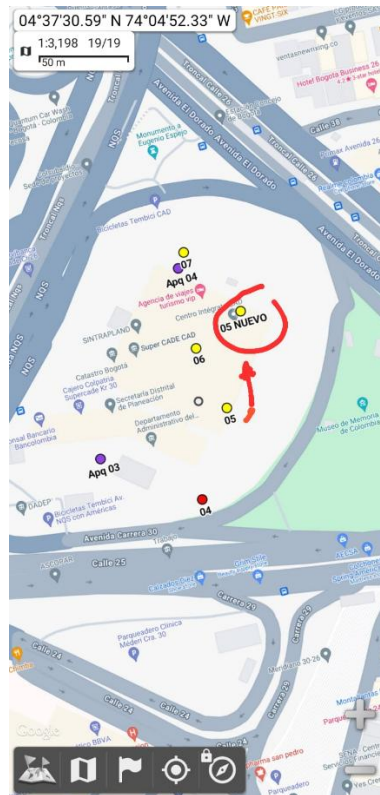


Ilustración 8 Puntos de sondeos. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la imagen cada punto está representado con un punto y un código numérico para identificarlo

7.1.2.6 Ensayos

Los ensayos propuestos para el análisis de vulnerabilidad sísmica, seleccionados con base en los requisitos establecidos por la NSR-10 y considerando las restricciones presupuestales del proyecto, son los siguientes:

- Ensayo extracción de núcleos
- Ensayo de ferroskan
- Ensayo de regatas
- Ensayo de esclerómetro
- Ensayo carbonatación
- De los cuales, sus resultados contemplan los siguientes índices:
- Índices de flexibilidad
- índices de sobreesfuerzo columnas flexocompresión
- índices de sobreesfuerzo columnas cortante
- índices de sobreesfuerzo muros cortante
- índices de sobreesfuerzo vigas flexión
- índices de sobreesfuerzo vigas cortante

Para información detallada de cada uno de los ensayos e índices diríjase al apartado de este mismo documento en el 8.1 8.8 y 8.9 en la sección de CAPITULOS.

7.1.3 Herramientas e instrumentos que se utilizaron planearon implementar en el transcurso del proyecto

- Información preliminar, documentación adquirida e investigadora en sus respectivos contenedores basados en la metodología BIM
- Software Revit

- Fichas técnicas de inspección visual y técnica
- Equipo fotográfico y GPS
- Dron marca DJI referencia AIR 3S
- Software Agisoft Metashape
- Contenedores

7.1.4 Contenedores y organización de la información

Para la sección de contenedores planteamos una estructura digital de almacenamiento y organización de información que contiene modelos, datos, resultados e información general con elementos específicos del proyecto según el LOD 300. Estos contenedores almacenan información lo suficientemente detallada para generar mediante la metodología BIM documentos solicitados como en este caso es el estudio de vulnerabilidad de una edificación institucional.

1. Documentación General

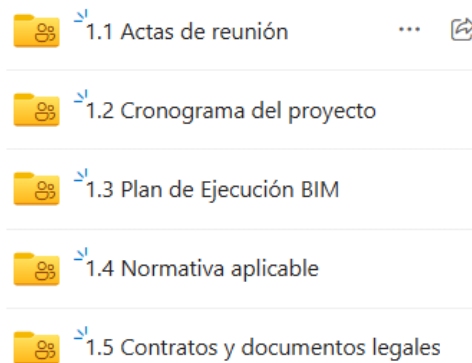


Ilustración 9 Contenedor organización de documentación general

2. Información de Entrada



Ilustración 10 Contenedor organización de información de entrada

3. Modelado BIM

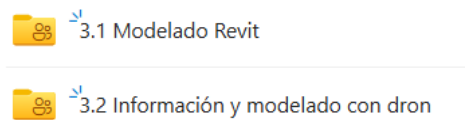


Ilustración 11 Contenedor organización información modelo BIM

4. Análisis Sísmico

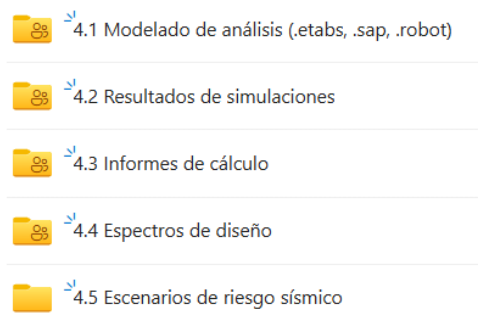


Ilustración 12 Contenedor organización información de análisis sísmico

5. Evaluación de Vulnerabilidad

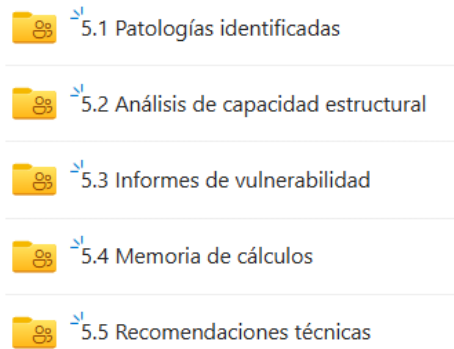


Ilustración 13 Contenedor organización evaluaciones de vulnerabilidad

6. Propuesta de Intervención

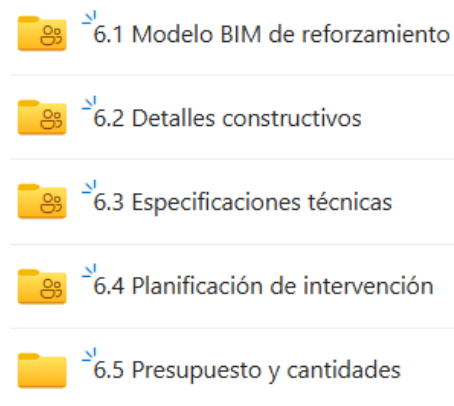


Ilustración 14 Contenedor organización propuesta de intervención

7. Coordinación y Revisión

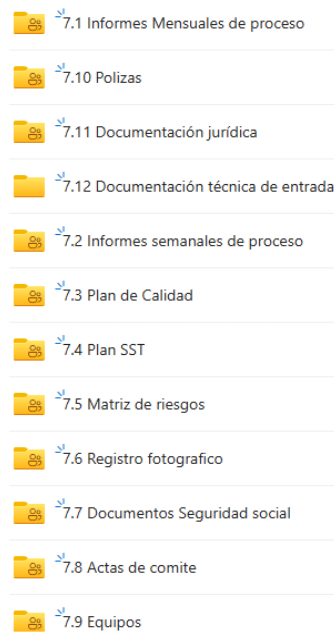


Ilustración 15 Contenedor organización de coordinación y revisión

8. Presentación y Entregables

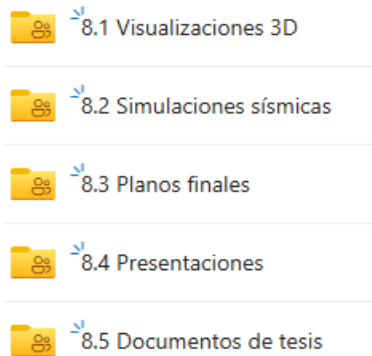


Ilustración 16 Contenedor de presentación y entregables

7.1.5 validación de la información

La revisión de los resultados obtenidos a partir de la documentación fue positiva, ya que la información recolectada por el grupo de trabajo, junto con la suministrada por la entidad y la empresa, permitió tener una visión específica y detallada de los aspectos involucrados en el proyecto. A partir de este análisis, se construyó una lista de posibles roles necesarios para el adecuado desarrollo del proyecto, considerando la implementación de la metodología BIM.

7.1.6 Roles

1. Director BIM

Responsabilidades:

- Desarrollar e implementar el Plan de Ejecución BIM
- Establecer flujos de trabajo, protocolos y estándares del proyecto
- Coordinar la colaboración entre disciplinas
- Asegurar el cumplimiento de los niveles LOD establecidos
- Gestionar recursos técnicos y humanos
- Reportar avances a nivel gerencial

2. Coordinador BIM

Responsabilidades:

- Ejecutar los protocolos establecidos por el Director BIM
- Verificar la integración correcta entre disciplinas
- Coordinar reuniones técnicas de coordinación
- Gestionar la resolución de conflictos interdisciplinarios
- Supervisar el cumplimiento de cronogramas BIM

3. Modelador BIM Estructural

Responsabilidades:

- Desarrollar el modelo estructural en Revit a LOD 300
- Crear y parametrizar elementos estructurales
- Implementar modificaciones estructurales según análisis
- Mantener la integridad del modelo estructural
- Generar documentación técnica estructural

4. Modelador BIM Arquitectónico

Responsabilidades:

- Modelar elementos arquitectónicos existentes a LOD 300
- Coordinar con el modelo estructural
- Implementar modificaciones arquitectónicas según necesidades
- Generar documentación técnica arquitectónica

5. Modelador BIM MEP (si aplica)

Responsabilidades:

- Modelar sistemas mecánicos, eléctricos y de plomería existentes
- Coordinar con modelos estructurales y arquitectónicos
- Proponer soluciones para reubicaciones por intervenciones sísmicas

6. Analista de Vulnerabilidad Sísmica

Responsabilidades:

- Evaluar comportamiento sísmico de la estructura
- Realizar simulaciones y análisis de riesgo
- Interpretar resultados según normativa (NSR-10)
- Proponer alternativas de reforzamiento estructural
- Validar modelos BIM desde perspectiva sísmica

7. Especialista en Levantamiento y Escaneo Digital

Responsabilidades:

- Planificar y ejecutar levantamientos con drones
- Procesar fotografías y generar nubes de puntos
- Integrar datos digitales con plataforma BIM

- Asegurar precisión de mediciones y georeferenciación
- Mantener base de datos de información levantada

8. Ingeniero de Interoperabilidad BIM

Responsabilidades:

- Gestionar intercambio de información entre plataformas
- Establecer flujos de trabajo entre Revit y software de análisis estructural
- Resolver problemas de compatibilidad entre formatos
- Validar integridad de datos en transferencias

9. Especialista BIM en Costos (5D)

Responsabilidades:

- Vincular elementos BIM con bases de datos de costos
- Extraer cantidades precisas desde modelos LOD 300
- Generar presupuestos detallados para intervenciones
- Analizar escenarios de costos para diferentes soluciones

10. Especialista BIM en Planificación (4D)

Responsabilidades:

- Asociar elementos BIM con cronogramas constructivos
- Simular secuencias de construcción
- Optimizar tiempos de intervención
- Prever interferencias temporales durante ejecución

11. Gestor de Contenido BIM

Responsabilidades:

- Crear y administrar bibliotecas de familias paramétricos

- Desarrollar plantillas específicas para el proyecto
- Mantener estándares en contenidos BIM
- Gestionar actualizaciones de contenido compartido

12. Especialista en Documentación BIM

Responsabilidades:

- Generar planos técnicos desde modelos BIM
- Establecer estándares de representación
- Coordinar entregas documentales
- Mantener sistema de control de versiones

13. Especialista en Visualización BIM

Responsabilidades:

- Crear renders, animaciones y recorridos virtuales
- Desarrollar presentaciones para comunicación de resultados
- Generar material visual para análisis de intervenciones

14. Auditor de Calidad BIM

Responsabilidades:

- Verificar cumplimiento de LOD 300 en elementos modelados
- Realizar comprobaciones de calidad de modelos
- Validar integridad de datos paramétricos
- Asegurar conformidad con estándares establecidos

15. Especialista en Sostenibilidad BIM (6D)

Responsabilidades:

- Analizar impacto ambiental de intervenciones propuestas

- Evaluar eficiencia energética post-intervención
- Integrar criterios de sostenibilidad en soluciones sísmicas
- Generar reportes de sostenibilidad

16. Gestor de Mantenimiento BIM (7D)

Responsabilidades:

- Establecer parámetros para gestión de mantenimiento
- Vincular elementos BIM con manuales y procedimientos
- Crear protocolos de inspección post-intervención
- Desarrollar plan de mantenimiento de refuerzos sísmicos

17. Especialista en Normativa BIM

Responsabilidades:

- Asegurar cumplimiento de estándares BIM nacionales/internacionales
- Verificar conformidad con normativa sísmica colombiana
- Asesorar sobre aspectos legales de implementación BIM
- Mantener actualizada normativa aplicable

7.2 Fase 2 Evaluación y categorización

7.2.1 Ejecución y aplicación de normativa y documentación

En la investigación, se aplicó un marco normativo integral para el análisis de los ensayos estructurales presentados y la evaluación de índices patológicos mediante metodología BIM a través un modelado 3D. La base fundamental del estudio se sustenta en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), específicamente en su Capítulo A.10, que establece los requisitos para la evaluación e intervención de edificaciones existentes.

El procesamiento de los datos se hicieron a partir de los datos obtenidos mediante la empresa Strategic Bussines Management S.A.S, la cual proporciono los resultados de los ensayos de extracción de núcleos, ferrosan, esclerómetro y carbonatación del proyecto en curso, este se realizó conforme a los criterios establecidos en la NSR-10, y atendiendo los aprendizajes se complementó conforme a la Microzonificación Sísmica de Bogotá adoptada mediante el Decreto 523 de 2010, que define parámetros específicos según la zona de la ciudad.

Para la implementación de la metodología BIM, se aplicaron los lineamientos de la Estrategia Nacional BIM Colombia 2020-2026 del Departamento Nacional de Planeación, junto con las normas técnicas NTC 6401:2020 y NTC 6402:2020 que adaptan estándares internacionales para la información BIM. El procesamiento de los índices de flexibilidad, sobreesfuerzo en columnas (flexocompresión y cortante), muros y vigas se realizó siguiendo los parámetros establecidos en la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios.

La evaluación de vulnerabilidad sísmica cumplió en gran parte con las directrices de la Ley 1523 de 2012 sobre gestión del riesgo de desastres, complementada por sistemas de gestión de calidad conforme a la norma NTC-ISO 9001:2015, sin embargo, hay ciertos elementos que presentan patologías con un grado de vulnerabilidad que mediante el modelo será expuesto gráficamente garantizando la fiabilidad de los resultados que se aplicaron y fueron validados en la metodológica del estudio.

Además, se hizo una revisión de planos originales de la secretaria distrital de Hacienda también proporcionados por la empresa dicha anteriormente, los cuales ayudaron a una ubicación detallada de la estructura del caso de estudio además de proporcionar medidas para alimentar el modelo.

7.2.2 Evaluación de inspección visual

Fase Previa

- Recopilación documental:

Se obtuvieron los planos estructurales y arquitectónicos existentes por parte de la entidad, se revisó el historial de intervenciones y modificaciones además se identificó el sistema estructural según NSR-10 (Identificación de Elementos estructurales y no estructurales que se van a contemplar en el modelo) y finalmente se verificó la clasificación de la edificación (uso e importancia)

- Planificación de la inspección:

Se elaboró un formato de captura de información según A.10 de NSR-10 y se prepararon equipos básicos para la inspección al igual se definió el alcance de la inspección según el objetivo (patología, vulnerabilidad, etc.)

Fase de Inspección

- Evaluación general del entorno:

Se identificaron riesgos externos además que se evaluaron las condiciones de drenaje y manejo de aguas para identificar posibles patologías por humedad y se hicieron las respectivas fotografías necesarias para análisis y registro.

- Inspección de la estructura exterior:

Se examinaron las fachadas y elementos expuestos, se identificaron y documentaron grietas, fisuras o deformaciones visibles y finalmente se verificó el estado de juntas estructurales

- Inspección de elementos estructurales:
- Columnas: verificar verticalidad, fisuras, exposición de refuerzo
- Vigas: identificar deflexiones, grietas a flexión o cortante
- Losas: verificar deformaciones, fisuras, humedades

- Muros: evaluar fisuras diagonales, verticales u horizontales
- Cimentación (áreas visibles): observar asentamientos o deterioros
- Evaluación de daños según criterios NSR-10:

Se clasificaron daños según su naturaleza (estructural o no estructural) y se documentó la ubicación, dimensiones y características de los daños, después se evaluaron patrones de fisuración y se relacionó con posibles causas

Cuantificación preliminar de daños:

Se estimó el porcentaje de elementos afectados por tipo, se clasificó la severidad según criterios del A.10.4 (NSR-10) y se asignó una calificación preliminar del estado de conservación

Fase de Documentación

- Registro sistemático:

Se generaron las fichas fotográficas, en conjunto se elaboraron esquemas de localización de daños sobre planos y por último se completaron los formatos de inspección con hallazgos clasificados

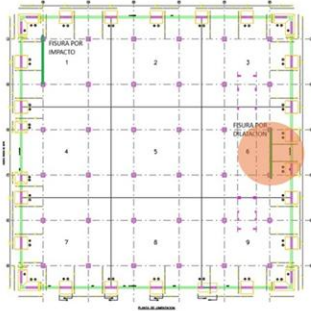
FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	1	Fecha		Página	1
Elaboró:	LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celulado)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Muro de contención sótano (sector 6 G35-F35)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta fisura en el muro de contención costado oriental, muy probablemente por no respetar la junta de construcción del diseño inicial					

Ilustración 17 Ejemplo de ficha de inspección visual. Fuente: Elaboración propia.

- Conclusiones preliminares:

Se evaluar si existen riesgos inmediatos que requieran atención urgente, se determinó necesidad de estudios complementarios (ensayos) y con una matriz hecha en la fase de planeación se emitió concepto preliminar sobre el estado de la edificación

Fase Final

- Recomendaciones técnicas:

Se determina la necesidad de implementar instrumentación de monitoreo, además de definir alcance de ensayos no destructivos o destructivos requeridos y con esto establecer necesidad de análisis estructural detallado según A.10.1.3 (NSR-10)

Todo lo que se contempló para la inspección visual se realizó teniendo en cuenta la siguiente documentación

- El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), específicamente:

- Capítulo A.10 sobre evaluación e intervención de edificaciones existentes
- Sección A.2.5.1 para la clasificación de edificaciones por importancia
- Título C para elementos de concreto estructural
- La guía práctica de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) para inspección y evaluación de daños, que complementa la NSR-10.
- El Manual de Inspección Visual de Edificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que, aunque está orientado principalmente a puentes, establece criterios aplicables a edificaciones.
- La Resolución 0017 de 2017 de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, que ofrece lineamientos interpretativos sobre la NSR-10.
- La Ley 1523 de 2012 sobre gestión del riesgo, que establece parámetros generales para evaluación de riesgos en edificaciones.

7.2.3 Matriz de evaluación cuantitativa de patologías

La matriz se forma a partir de la necesidad de darle un valor cuantificado al posible grado de vulnerabilidad que se pueda presentar, se dividió teniendo en cuenta el número de ensayos realizados en cada uno de los sectores, además de distribuirlos según su nivel de vulnerabilidad.

<i>Código</i>	<i>Ensayo</i>
<i>E1</i>	Ensayo extracción de núcleos
<i>E2</i>	Ensayo de Ferroskan
<i>E3</i>	Ensayo de Regatas
<i>E4</i>	Ensayo de Esclerómetro
<i>E5</i>	Ensayo de Carbonatación

Ilustración 18 codificación de ensayos. Fuente: Elaboración propia.

A cada ensayo se le asigno un porcentaje de importancia de acuerdo con la normativa colombiana NSR-10 la cual establece diferentes grados de importancia para los diversos ensayos estructurales. Como más relevante o importante se decidió poner el ensayo de extracción de núcleos, que representa un 40% de importancia debido a que proporciona datos directos sobre la resistencia real del concreto en la estructura existente, información fundamental para evaluar su comportamiento ante eventos sísmicos. El ensayo de ferroskan ocupa el segundo lugar con un 25% de importancia, ya que permite determinar con precisión la ubicación, diámetro y distribución del refuerzo de acero en los elementos estructurales, datos críticos para modelar adecuadamente el comportamiento sísmico. Los ensayos de esclerómetro y carbonatación comparten un nivel similar de relevancia con un 15% cada uno; el primero ofrece una estimación no destructiva de la resistencia del concreto, mientras que el segundo evalúa el deterioro del material y la posible corrosión del acero de refuerzo, factores que afectan la durabilidad y el comportamiento estructural ante sismos. Finalmente, el ensayo de regatas tiene una importancia relativamente menor con un 5%, sin embargo, proporciona información valiosa sobre acabados y elementos no estructurales que complementan el análisis integral de vulnerabilidad sísmica, esta ponderación se hizo teniendo

en cuenta si todos los ensayos se hacían en el sector, de no ser así los porcentajes se distribuyen gradualmente entre los ensayos aplicables.

Además, se les dio un puntaje a los ensayos teniendo en cuenta el más crítico en severidad siendo 4 puntos la máxima nota y 1 la menor para contemplar la vulnerabilidad sísmica que puede presentar el sector de acuerdo con los resultados de los ensayos, todo lo anteriormente dicho se recopila en el siguiente formato de tabla:

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s5	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuacion	Ponderado total del sector
	E-1	40%	1	0,4	1,5
	E-2	25%	1	0,3	
	E-3	5%	1	0,1	
	E-4	15%	1	0,2	
	E-5	15%	4	0,6	

Ilustración 19 Ejemplo Matriz de ensayos realizados. Fuente: Elaboración propia.

Se especifica que esta tabla solo representa una de las matrices ya que se hicieron nueve, una por sector y luego se realizó la tabla de datos y resultados generales del grado de vulnerabilidad de la estructura.

Al final se emite un concepto de acuerdo con el puntaje ponderado y se le hace una asignación de color impuesto por criterio propio como se ilustra en la siguiente imagen

Escala de vulnerabilidad		
inexistente	1	
Bajo	2	
medio	3	
alto	4	

Ilustración 20 Asignación del color de acuerdo con puntaje ponderado. Fuente: Elaboración propia.

7.2.4 clasificación de las patologías

En primera instancia se realizó una búsqueda de información de las patologías que puede presentar una estructura de estas características, luego junto con la consolidación de la información que fue suministrada por la empresa que realizó los ensayos, de acuerdo a los datos que estaban en los informes, se realizó un cuadro donde resume tanto los resultados más importantes e información con el fin de alimentar el modelo BIM, en el cuadro dicho anteriormente se compone de los elementos estructurales y no estructurales seleccionados para ser representados en el modelo, las zonas, los datos que determinaran el límite permitido de vulnerabilidad, el sector en el que se encuentra, y la condición que presenta.

La condición que se menciona se determinó de acuerdo con tanto los resultados que arrojaba cada ensayo como, por ejemplo, de acuerdo con el ensayo de extracción de núcleos y a la NTC 673, se muestran los límites para la resistencia a la compresión, y de acuerdo con los valores de esos límites, obtenidos en los resultados suministrados, se clasifica la patología en condición de vulnerabilidad alta, media, baja o inexistente.

El ensayo de ferroskan se hizo de acuerdo con la información suministrada la cual para el caso hace referencia a los planos estructurales, que a su vez se utilizaron para realizar la comparación con las separaciones y los refuerzos; si se encontraban en estados consecuentes, la condición iba a ser inexistente, baja, buena o mala.

Para el ensayo de regatas de igual forma se hizo una comparación con los planos estructurales como información suministrada, y en conjunto con los resultados del ensayo de ferroskan se evidencia si los refuerzos estaban lisos, si presentaban o no corrosión, para que, de acuerdo con las medidas obtenidas, identificar si la vulnerabilidad era inexistente o no.

En el ensayo de carbonatación, de acuerdo con la norma, se aplicó una solución indicadora y conforme a la cantidad de recubrimiento de la tonalidad fucsia-violeta, donde se evidencia la

cantidad de espacio de áreas carbonatadas (áreas que no cambian de color). Por ende, se estableció de acuerdo con la normativa que el recubrimiento de los muros es de tres centímetros. En consecuencia, las zonas que no presentaron la pigmentación en una distancia muy alejada de los tres centímetros se clasificaron en una condición vulnerable.

Como ejemplo visual presentamos una de las tablas descritas anteriormente:

REFERENCIA	ZONA	ELEMENTO	LOCALIZACION	CANTIDAD LECTURAS	SECTOR	CONDICIÓN
N1	SOTANO	COLUMNA	J27	2	2	INEXISTENTE
N2	SOTANO	COLUMNA	J27	2	2	INEXISTENTE
N3	SOTANO	COLUMNA	J35	2	3	INEXISTENTE
N4	SOTANO	COLUMNA	J35	2	3	INEXISTENTE
N5	SOTANO	COLUMNA	G19	2	4	INEXISTENTE
N6	SOTANO	COLUMNA	G19	2	4	INEXISTENTE

Ilustración 21 Ejemplo de consolidación de la información. Fuente: Elaboración propia.

7.3 Fase 3 Modelado BIM

7.3.1 Definición del alcance

Se pretende digitalizar la información recolectada y suministrada realizar la construcción del modelo BIM mediante un modelo digital 3D con el objetivo de poder representar cada una de las patologías existentes tanto en el sótano como en el nivel 1, de igual forma se busca plasmar información que contextualice el tipo de patología y su recomendación técnica para una posible solución, además sectorizar la estructura y a partir de unos colores definidos poder identificar el grado de vulnerabilidad para cada uno de los sectores.

7.3.2 Nivel de desarrollo

Con base a los planos diseñados anteriormente en AutoCAD se realiza la construcción del modelo digital en el software Revit para así levantar cada uno de los niveles existentes en la estructura a diseñar, posteriormente se dará lugar a colocar cada uno de los ejes y sus respectivas

alturas para así situar las placas, columnas, vigas y muros a trabajar de acuerdo con las medidas suministradas y su posición exacta.

Columna:



Ilustración 22 Elemento columna Revit. Fuente: Elaboración propia.

Placa:



Ilustración 23 Elemento de placa de Revit. Fuente: Elaboración propia.

Viga:

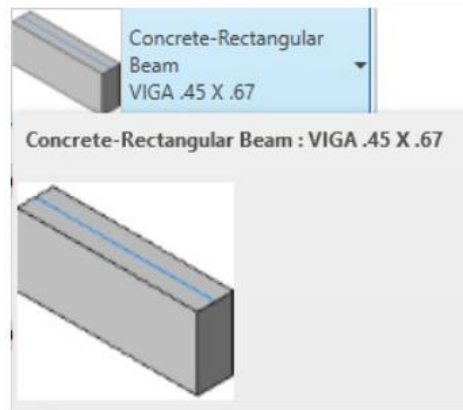


Ilustración 24 Elemento viga de Revit. Fuente: Elaboración propia.

Muro:

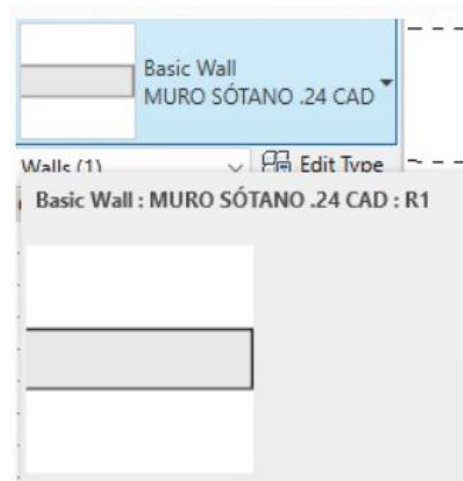


Ilustración 25 Elemento muro de Revit. Fuente: Elaboración propia.

7.3.3 Implementación de parámetros para codificación

Teniendo en cuenta que, ya diseñada la estructura, se procede a la sectorización de acuerdo con lo establecido por el equipo de trabajo, con el objetivo de poder simplificar la identificación de cada una de las patologías existentes en cada elemento donde estas se presenten, además de la utilización de la herramienta de las familias la cual permitirá el poder establecer el tipo de patología a encontrar a lo largo y ancho del modelo.

Familias:



Ilustración 26 implementación Familias en Revit. Fuente: Elaboración propia.

Para poder clasificar el nivel de severidad de vulnerabilidad sísmica que presente cada uno de los sectores dentro del modelo digital, se crea una capa la cual permita identificar este parámetro mediante un reconocimiento visual, además que al momento de seleccionar cualquier patología dentro del modelo se pueda tener una pequeña información la cual permita observar las recomendaciones técnicas para dar solución a la patología presentada.

7.3.4 Implementación de información en patología:

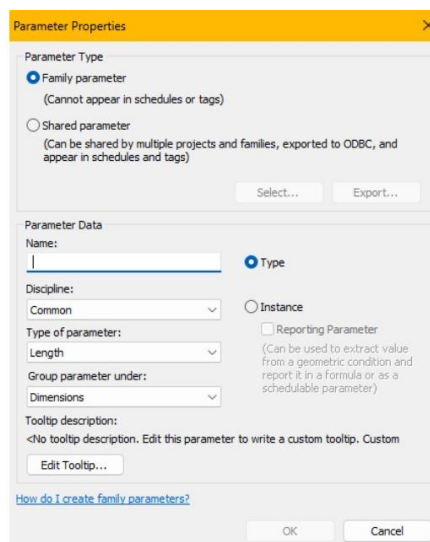


Ilustración 27 Parameter Properties. Fuente: Elaboración propia.

Implementación escala:

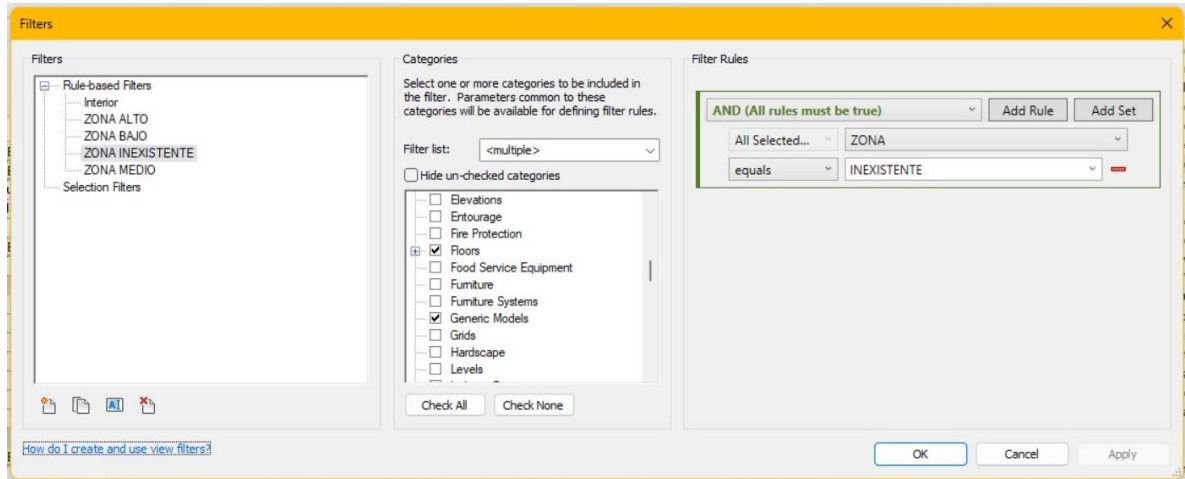


Ilustración 28 Implementacion Fileters Escala. Fuente: Elaboración propia.

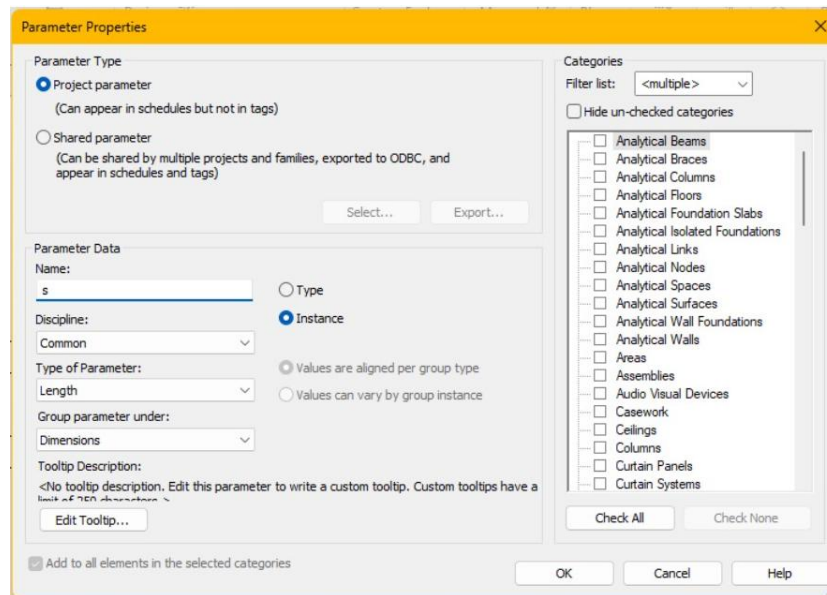


Ilustración 29 Parametros basicos para leyenda. Fuente: Elaboración propia.

Filtros de leyenda:

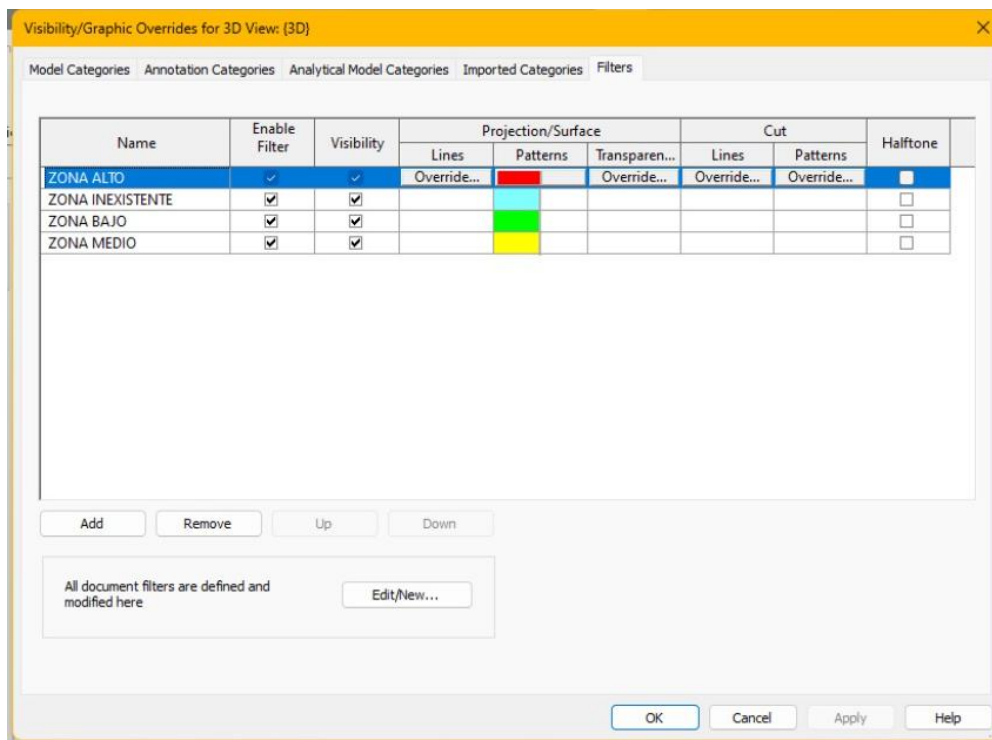


Ilustración 30 Filtros de leyenda. Fuente: Elaboración propia.

7.3.4 Modelo arquitectónico de la fachada del edificio

Para crear el modelo de la fachada del edificio, se inició capturando imágenes con un dron y procesándolas en Pix4D. Esta fase proporcionó una buena renderización inicial y, lo más importante, permitió extraer las medidas reales de la estructura que luego se alinearon en AutoCAD.



Ilustración 31 Dron de toma de imágenes

Ya en AutoCAD, se extrajeron las caras de la fachada con sus medidas correspondientes. Como el modelado requiere trabajar con polilíneas, se dibujó primero la cara frontal y luego se fueron rotando y moviendo estos elementos hacia cada lateral según se necesitaba. Se crearon las polizonas para todos los elementos (contornos de paredes, ventanas, puertas) y se aplicaron operaciones de sustracción entre ventanas y paredes para generar los huecos. Después se completó el modelo añadiendo los componentes de ventanas, colocando los barrotes y asignando los materiales específicos a cada elemento junto con sus propiedades.

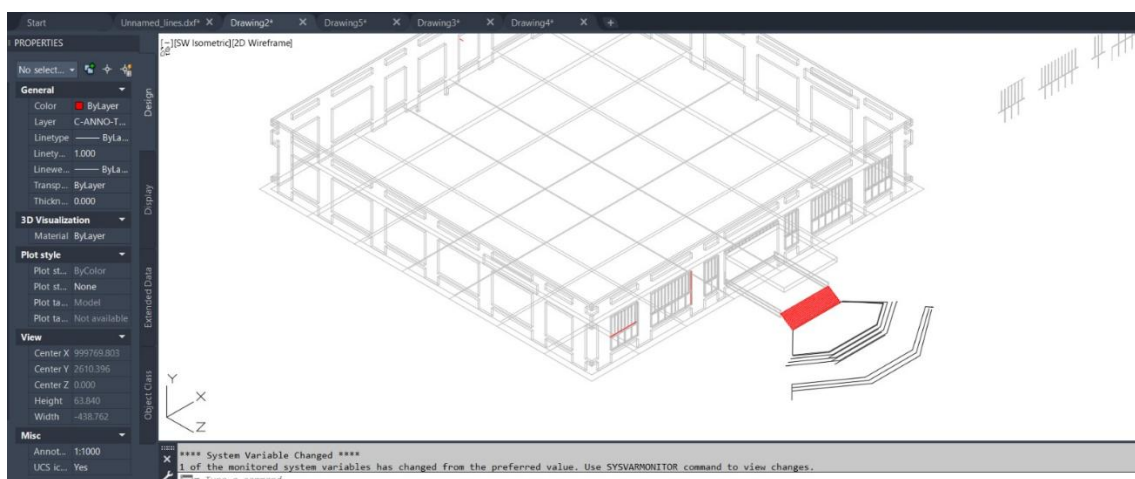


Ilustración 32 construcción del modelo en AutoCAD

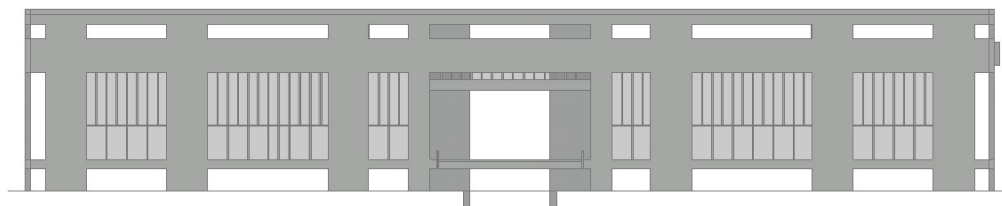


Ilustración 33 Fachada del edificio frontal en AutoCAD

Para finalizar, se preparó el modelo de AutoCAD para pasarlo a Revit. Se ubicaron las coordenadas (0,0,0) en uno de los vértices de la estructura y se verificó que ambos programas usaran el mismo sistema de unidades. Una vez en Revit, se insertó el archivo CAD, se desbloqueó y se posicionó el edificio según las coordenadas requeridas para el proyecto, dejándolo listo para trabajar en el entorno BIM, ayudándonos a evidenciar la sectorización que se había planteado, junto con el otro modelo estructural de Revit.

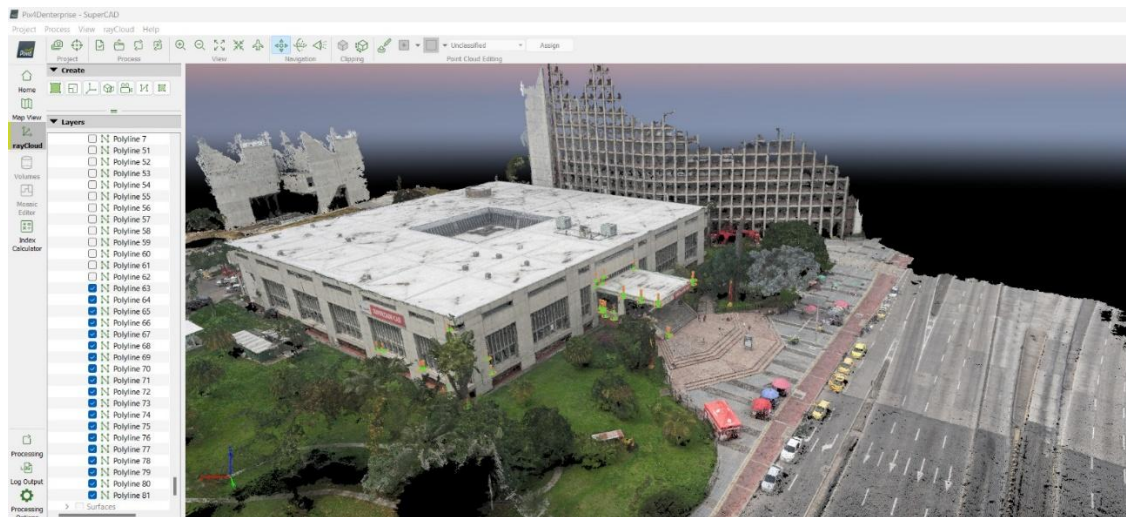


Ilustración 34 Modelado de la fachada de la edificación en Revit

7.4 Fase 4 Análisis de resultados por sector y por piso

7.4.1 Consolidación de resultados

La consolidación de resultados se hizo mediante tablas de clasificación, matrices de análisis, modelado 3d además de información adicional en esta toda esta información hace parte de los anexos del trabajo.

7.4.2 Recomendaciones técnicas por categoría

Para la realización de la tabla de clasificación y análisis de patologías, se hizo una clasificación de acuerdo con el título A de la NSR-10 que se basa sobre la clasificación que se

debe hacer al momento de realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica. Para la clasificación se debe dividir en sismos que pueden haber afectado, fisuración por cambios de temperatura, corrosión de armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas y estado de elementos en unión.

Para cada una de las clasificaciones mencionadas, se determinaron las fisuras que podrían estar dentro de esas clasificaciones. Posteriormente se realiza una breve explicación del hallazgo de la fisura ya sea por inspección técnica o por inspección visual. Luego, se realiza una descripción de la intervención que fue realizada por el equipo de trabajo mediante la empresa Strategic Business Management, si se realizó simplemente por inspección visual o si se realizó mediante algún ensayo como el de extracción de núcleos o si se obtuvieron los resultados mediante los índices. Finalmente se realiza una recomendación dependiendo de la clasificación y el tipo de fisura que se haya encontrado.

7.5 Fase 5 Control de programa y presupuesto (modelo 5d)

Se implementa metodologías BIM 5D para integrar la programación temporal y el presupuesto en el proyecto de vulnerabilidad sísmica. Esta dimensión permite visualizar el avance de la obra y controlar los costos asociados a través del modelo digital.

Se realizó un cronograma que implemente la relación de tiempo y costos en el software Microsoft Project con el fin de tener un enfoque de 4d y 5d a nuestro proyecto de vulnerabilidad, se comenzó con la definición clara de la estructura de desglose del trabajo (EDT), identificando las cinco fases principales del proyecto, cada fase fue descompuesta en actividades y subactividades específicas, manteniendo una estructura jerárquica clara como se observó en el cronograma final.

EDT	Nombre de tarea	Duración	Costo	Comienzo	Fin	Predece	Nombres de los recursos
1	PROYECTO ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SISMICA EDIFICIO ADMINISTRATIVO	163 días	\$ 155.440.000,00	mié 21/08/24	vie 4/04/25		
2	FASE 1 PLANEACIÓN	19 días	\$ 26.120.000,00	mié 21/08/24	lun 16/09/24		
2.1	ESTABLECER EL ALCANCE	5 días	\$ 2.400.000,00	mié 21/08/24	mar 27/08/24		Equipo Estructurador
2.2	DEFINICIÓN DE TAREAS, ACTIVIDADE O PROCESOS	3 días	\$ 1.440.000,00	mié 28/08/24	vie 30/08/24	3	Equipo Estructurador
2.3	REALIZAR CRONOGRAMA	2 días	\$ 960.000,00	lun 2/09/24	mar 3/09/24	4;3	Equipo Estructurador
2.4	PRESUPUESTO PRELIMINAR	5 días	\$ 2.400.000,00	lun 2/09/24	vie 6/09/24	4	Equipo Estructurador
2.5	ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO	1 día	\$ 480.000,00	lun 9/09/24	lun 9/09/24	3;4;5;6	Equipo Estructurador
2.6	RECOPIACIÓN DE PLANOS EXISTENTES	2 días	\$ 880.000,00	mié 28/08/24	jue 29/08/24	3	Equipo de Planeación
2.7	REVISIÓN DE PLANOS	6 días	\$ 2.640.000,00	vie 30/08/24	vie 6/09/24	8	Equipo de Planeación
2.8	REVISIONES NORMATIVAS Y DOCUMENTAL	10 días	\$ 9.600.000,00	lun 2/09/24	vie 13/09/24	4	Equipo de Planeación; Coordinación BIM
2.9	SECTORIZACIÓN	1 día	\$ 960.000,00	lun 9/09/24	lun 9/09/24	9	Equipo de Planeación;C
2.10	PRIMERA INSPECCIÓN VISUAL (RECONOCIMIENTO INICIAL)	1 día	\$ 440.000,00	mar 10/09/24	mar 10/09/24	11	Equipo de Planeación
2.11	PLANEACIÓN DE INSPECCIÓN EN SITIO	1 día	\$ 440.000,00	lun 9/09/24	lun 9/09/24	9	Equipo de Planeación
2.12	DEFINICIÓN DE ENSAYOS Y PROFESIONALES REQUERIDOS	1 día	\$ 440.000,00	mié 11/09/24	mié 11/09/24	12	Equipo de Planeación
2.13	DEFINICIÓN DE CONTENEDORES DE INFORMACIÓN	1 día	\$ 520.000,00	jue 12/09/24	jue 12/09/24	14	Coordinación BIM
2.14	DESARROLLO DE MATRIZ DE INSPECCIÓN VISUAL	2 días	\$ 1.040.000,00	mié 11/09/24	jue 12/09/24	12;13	Coordinación BIM
2.15	CRONOLOGÍA DE VISITAS TÉCNICAS O DE INSPECCIÓN	1 día	\$ 440.000,00	mar 10/09/24	mar 10/09/24	13	Equipo de Planeación
2.16	DEFINICIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS	2 días	\$ 1.040.000,00	vie 13/09/24	lun 16/09/24	14;16	Coordinación BIM

Ilustración 35 vista de primera fase del cronograma aplicado. Fuente elaboración propia.

Durante la configuración inicial del proyecto en Microsoft Project, se estableció la fecha de inicio del proyecto de grado (21 de agosto de 2024), definió los días laborables y horarios, y configuró los días festivos relevantes en Colombia. Los campos fundamentales que definieron incluyeron EDT, nombre de tarea, duración, costo, fechas de comienzo y fin, predecesoras y recursos. El proceso continuó con el ingreso de todas las actividades, marcando las fases principales como tareas de resumen y agregando bajo cada una las actividades detalladas con sus respectivas duraciones.

Para la estimación de duraciones, consideraron la complejidad de cada tarea, el rendimiento del equipo asignado y la experiencia en proyectos similares además de tener como base el cronograma del proyecto de vulnerabilidad al edificio institucional. Las dependencias entre actividades fueron establecidas identificando relaciones lógicas, principalmente del tipo Fin a

Comienzo (FC), como se observó mayoritariamente en el cronograma final, cada actividad tuvo asignadas sus predecesoras según la numeración EDT.

La asignación de recursos fue un paso crucial donde definieron los equipos necesarios: Estructurador, Planeación, Coordinación BIM, Evaluación Estructural, Cuadrilla de Patología, Geotécnico y Equipo de vuelo en dron. Cada actividad tuvo asignados los recursos correspondientes según se especificó en la columna "Nombres de los recursos" del cronograma.

Para la estimación y asignación de costos, se establecieron tasas para cada recurso y se asignaron costos directamente a las actividades, verificando que estos se sumaran correctamente en las tareas de resumen. La Fase 1 sumó \$26.120.000, la Fase 2 \$50.120.000, la Fase 3 \$51.040.000, la Fase 4 \$19.400.000, y la Fase 5 \$9.120.000.

La optimización del cronograma requirió identificar la ruta crítica para entender qué actividades podían afectar la duración total del proyecto. Se ajustó duraciones y dependencias donde fue necesario, y niveló recursos para evitar sobreasignaciones, especialmente en equipos que trabajaban en múltiples actividades simultáneamente. Para la documentación y comunicación, crearon vistas personalizadas en Project como diagramas de Gantt, calendarios, uso de recursos y tablas de costos.

El plan de seguimiento y control del proyecto incluyó actualizaciones regulares del avance de las actividades, comparación de la línea base con el progreso real para identificar desviaciones, e implementación de acciones correctivas cuando fue necesario para mantener el proyecto dentro del cronograma y presupuesto establecidos.

Dado que se trató de un proyecto BIM de vulnerabilidad sísmica, se prestó especial atención a sincronizar las fases de modelado BIM con las inspecciones técnicas, se planificó adecuadamente las inspecciones visuales previas al modelado, se coordinó la captura de

información (mediante dron e inspecciones) con el proceso de modelado, y previó tiempos suficientes para la validación de modelos y revisión.

7.5.1 Actividades propuestas para el proyecto

Se identifico y definió todas las actividades necesarias para la ejecución del proyecto de vulnerabilidad sísmica. Desarrolla un desglose detallado de tareas, estableciendo dependencias entre actividades y asignando duraciones estimadas. Se vincula estas actividades al modelo tridimensional para facilitar la visualización y seguimiento del progreso.

7.5.2 Creación de línea base

Se establece la línea base del proyecto mediante la definición clara del alcance, cronograma y presupuesto inicial. Organiza la secuencia lógica de actividades y asigna los recursos necesarios para cada fase. Implementa filtros por fases en el modelo Revit para visualizar la evolución temporal del proyecto, permitiendo identificar posibles conflictos en la programación.

7.5.3 Presupuesto de recomendaciones preliminares

El especialista en costos desarrolla un presupuesto detallado de las recomendaciones preliminares de reforzamiento estructural. Extrae cantidades directamente del modelo BIM para generar estimaciones precisas de materiales y mano de obra. Clasifica los costos por categorías y fases de implementación, y vincula esta información al modelo para analizar el impacto económico de las intervenciones propuestas. Este enfoque permite evaluar diferentes alternativas de reforzamiento desde una perspectiva técnica y financiera.

8. CAPÍTULOS

8.1 Modelo a partir de imágenes satelitales con dron

El objetivo principal de captura de imágenes aeroespaciales con el dron DJI Air 3S es obtener un registro visual completo y detallado que permita desarrollar un modelo digital preciso del edificio y su entorno, para la alimentación de este con los resultados. Este levantamiento fotogramétrico a 100m y 90m constituye la base fundamental para la posterior generación de un modelo tridimensional que revelará con exactitud las condiciones actuales de la estructura, permitiéndonos identificar y documentar patologías estructurales existentes.



Ilustración 36 Dron DJI Air 3S. Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes captadas por el DJI Air 3S serán procesadas mediante superposición en Agisoft Metashape que es un software para crear un modelo tridimensional con la renderización que posteriormente será integrado en Revit, donde desarrollaremos un análisis exhaustivo de las patologías estructurales presentes. Este modelo como producto dentro de BIM, al estar alojado en la nube, permitirá que todo el equipo de trabajo pueda visualizar, analizar y colaborar simultáneamente en el estudio de vulnerabilidad sísmica, garantizando así que todos los integrantes del proyecto tengan acceso en tiempo real a la misma información actualizada sobre el estado estructural del edificio.



Ilustración 37 Toma de imágenes Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 38 Imagen tomada con el dron Fuente: Elaboración propia.

8.1.1 Topografía

Los estudios topográficos del terreno fueron realizados a una elevación de 2560 metros sobre el nivel del mar, permitiendo obtener una caracterización del relieve y las condiciones físicas del emplazamiento desde donde inicia el vuelo del dron para el adecuado desarrollo del proyecto.

8.1.2 Georeferenciación

La reducción de época actual a época de referencia 2018.0 se realiza por la aplicación MAGNA SIRGAS 5.0 PRO. Las coordenadas se presentan en la tabla final en coordenadas cartesianas Bogotá.

Ilustración 39 Transformación de coordenadas. Tomadas de MAGNA SIRGAS 5.0 PRO. Fuente: Elaboración propia.

8.2 Patologías

8.2.1 Extracción de núcleos

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la compresión de una serie de núcleos extraídos de diferentes elementos de concreto de la edificación según las indicaciones de

la norma NTC 3658. Los núcleos de concreto son muestras obtenidas en campo mediante un taladro de rotopercusión, al cual se le instala una “Sierra Copa”, en este caso fue de un diámetro de 2 pulgadas. Luego de ser extraídos, se procede a su posterior identificación y transporte hacia el laboratorio, donde se cortan los extremos para así obtener una superficie horizontal adecuada y llevar a cabo el ensayo de compresión el cual se ejecuta bajo los lineamientos de la norma NTC 673.



Ilustración 40 Proceso extracción de núcleos Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 Ensayo de ferroskan

Este ensayo se realiza con un equipo que emite ondas electromagnéticas que permiten determinar la ubicación del acero de refuerzo en los elementos estructurales. Así evitar cortar o afectar elementos de refuerzo.

Se realizan 31 ensayos de ferroskan, tomando 4 medidas por núcleo. ejecutando los recorridos según lo trazado, horizontales de izquierda a derecha y luego verticales de arriba hacia abajo, siempre antes de realizar un núcleo de extracción. A continuación, se presenta la tabla de los elementos escogidos para el ensayo.



Ilustración 41 Proceso de detección de acero Fuente: Elaboración propia.

8.2.3 Regatas

La determinación de las características y cantidades de acero de refuerzo en los elementos estructurales se realizó mediante la ejecución de regatas, retirando todo el recubrimiento de concreto con la ayuda de taladro y rotomartillo hasta que fuese posible evidenciar las varillas longitudinales y/o flejes. Con esto se logró también verificar los espesores de recubrimiento de las varillas. Se determinó el diámetro y espaciamiento de las varillas con la ayuda de un calibrador y un flexómetro.

De acuerdo con criterio de ingenieril, al tener muy buena información en planos tanto de la parte original como del reforzamiento y teniendo en cuenta que la estructura se encuentra en buen estado se determinó la aplicación de dos regatas en columnas de sótano por dos razones, en primer lugar, por la facilidad de acceso al lugar y en segundo lugar para rectificar el estado del refuerzo longitudinal y transversal indicado en los planos.

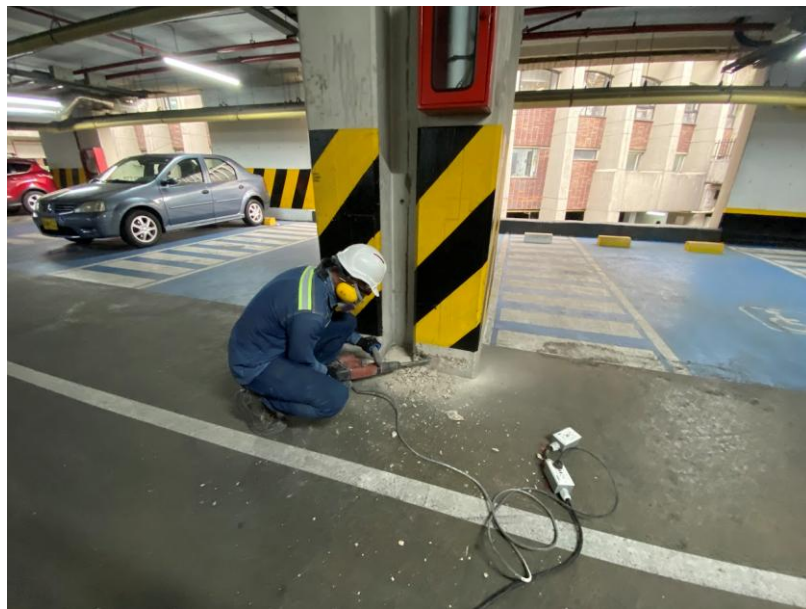


Ilustración 42 Proceso evaluación de regatas Fuente: Elaboración propia.

8.2.4 Ensayo de esclerómetro

El ensayo se realiza de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 3692. “método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido”. Con el fin de complementar los resultados obtenidos de los núcleos de las muros y columnas. Se efectúa una serie de ensayos con el esclerómetro para determinar una resistencia promedio de los elementos de la placa, de este modo se realizaron los ensayos sobre los capiteles. Los resultados se presentan en el anexo 1. A continuación se presenta la tabla de los ensayos ejecutados.



Ilustración 43 Proceso de evaluación del concreto por el esclerómetro Fuente: Elaboración propia.

8.2.5 Carbonatación

El ensayo de carbonatación se realiza con la intención de visualizar el avance del proceso de carbonatación en el concreto debido a la exposición con el ambiente. El ensayo se realiza a partir de vía húmeda mediante una solución de indicador acido-base. El ensayo se realiza in situ inmediatamente luego de realizar la regata o extraer núcleos de concreto, esto con el fin de evitar alteraciones en los resultados.

Para llevar a cabo el ensayo se aplica una solución indicadora acido-base compuesta por fenolftaleína (1g de fenolftaleína + 49g de alcohol + 50g de agua) sobre las regatas y/o núcleos extraídos y se verifica la profundidad de carbonatación. El indicador está diseñado para cambiar de color al detectar niveles de PH superiores a 9,5.

El proceso de carbonatación es uno de los factores que afectan las propiedades del acero de refuerzo y genera corrosión en el mismo, ya que se pierde el ambiente alcalino que recubre las varillas.

Se aplicó la solución con la ayuda de un rociador directamente sobre los núcleos de concreto y sobre las regatas, las áreas carbonatadas del concreto no cambiaran de color, mientras que las áreas que no estén afectadas presentaran una tonalidad fucsia o violeta intenso.





Ilustración 44 Proceso de detección y tratamiento de la carbonatación. Fuente: Elaboración propia.

8.2.6 Inspección Visual

El soporte de la inspección se realiza mediante el diligenciamiento de formatos para inspección visual sustentados con registro fotográfico, esquema general, reporte de daños, análisis del estado actual de la estructura.

FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	1	Fecha		Página	1
Elaboró:	LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Muro de contención s0tano (sector 6 G35-F35)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta fisura en el muro de contención costado oriental, muy probablemente por no respetar la junta de construcción del dise0o inicial					

Ilustración 45 Ficha técnica inspección visual 1. Fuente: Elaboración propia.

FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	2	Fecha		Página	2
Elaboró:	SANTIAGO RODRIGUEZ CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Viga de reforzamiento (V7)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta fisuración menor en el tercio central de la viga de reforzamiento costado norte (Fisura sin rozamiento)					

Ilustración 46 Ficha técnica inspección visual 2. Fuente: Elaboración propia.

FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	3	Fecha		Página	3
Elaboró:	CAMILO ALEJANDRO SIERRA NUÑEZ				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Viga de reforzamiento (V11)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta eflorescencia del concreto en el tercio central de la viga de reforzamiento costado suroccidental Fisura por corrosión de armaduras					

Ilustración 47 Ficha técnica inspección visual 3. Fuente: Elaboración propia.

FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	4	Fecha		Página	4
Elaboró:	LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Viga de reforzamiento (V5)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta fisuración en placa de contrapiso por posible asentamiento del relleno del costado norte Fisura por asentamiento diferencial					

Ilustración 48 Ficha técnica inspección visual 4. Fuente: Elaboración propia.

FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	5	Fecha		Página	5
Elaboró:	SANTIAGO RODRIGUEZ CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Viga de reforzamiento (V10)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta descascaramiento del concreto parte inferior viga, borde placa entrepiso. Fisura por capilaridad					

Ilustración 49 Ficha técnica inspección visual 5. Fuente: Elaboración propia.

FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	6	Fecha		Página	6
Elaboró:	CAMILO ALEJANDRO SIERRA NUÑEZ				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO REPRESENTATIVO		
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Columna estructural (C16)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta descascaramiento del concreto parte superior en el borde de la columna. Placa de entrepiso. Fisuras por capilaridad					

Ilustración 50 Ficha técnica inspección visual 6. Fuente: Elaboración propia.

FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	7	Fecha		Página	7
Elaboró:	LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO REPRESENTATIVO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Columna estructural (C22)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se presenta nido de fisuras en central de la columna en el nivel 1. Nido de fisuras					

Ilustración 51 Ficha técnica inspección visual 7. Fuente: Elaboración propia.

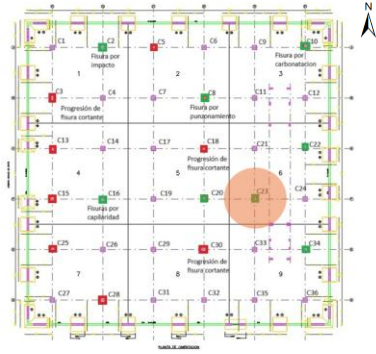
FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	8	Fecha		Página	8
Elaboró:	SANTIAGO RODRIGUEZ CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO REPRESENTATIVO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Columna estructural (C23)					
DIAGNOSTICO DE PATOLOGIA VISUAL					
Se evidencia fisura importante parte inferior de la columan, por posible exposición de materiales. Fisura por dilatación					

Ilustración 52 Ficha técnica inspección visual 8. Fuente: Elaboración propia.

Con la información reunida en la etapa de campo se realiza el análisis y las visitas técnicas para cada uno los elementos de la estructura; como resultado se procede a recomendar las actividades de mantenimiento, reparación, estudios y pruebas para la estructura según las evidencias recolectadas en campo.

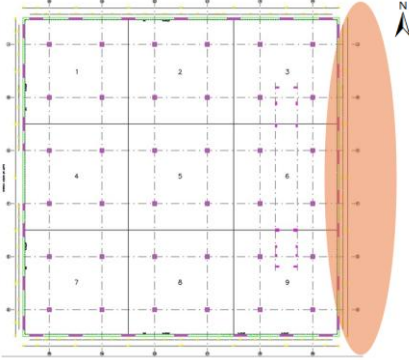
FICHAS DE VISITAS TÉCNICAS					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	1	Fecha		Página	1
Elaboró:	CAMILO ALEJANDRO SIERRA NUÑEZ				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celulado)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Exterior del edificio					
DIAGNOSTICO DE INSPECCIÓN DE ENSAYOS					
Levantamiento Topográfico					

Ilustración 53 Ficha de visita técnica 1. Fuente: Elaboración propia.

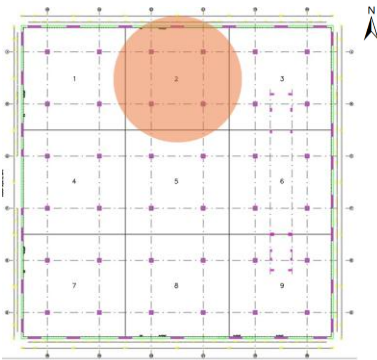
FICHAS DE INSPECCIÓN					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	2	Fecha		Página	2
Elaboró:	LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celulado)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Sector 2					
DIAGNOSTICO DE INSPECCIÓN DE ENSAYOS					
Sondeos de Suelos					

Ilustración 54 Ficha de visita técnica 2. Fuente: Elaboración propia.

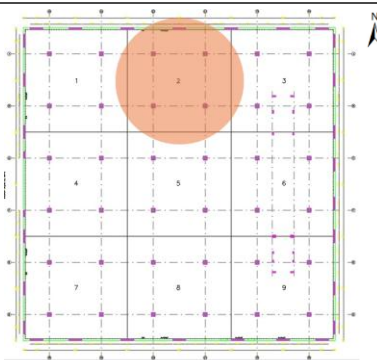
FICHAS DE INSPECCIÓN					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	3	Fecha		Página	3
Elaboró:	SANTIAGO RODRIGUEZ CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celulado)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Sector 2					
DIAGNOSTICO DE INSPECCIÓN DE ENSAYOS					
Ensayos de extracción de núcleos y de carbonatación					

Ilustración 55 Ficha de visita técnica 3. Fuente: Elaboración propia.

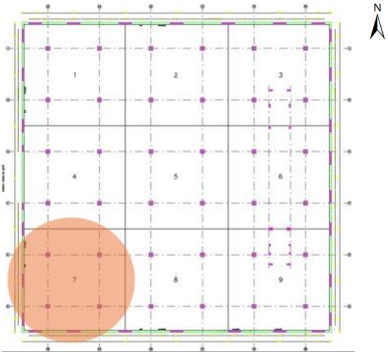
FICHAS DE INSPECCIÓN					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	4	Fecha		Página	4
Elaboró:	CAMILO ALEJANDRO SIERRA NUÑEZ				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Sector 7					
DIAGNOSTICO DE INSPECCIÓN DE ENSAYOS					
Ensayo de Ferroskan					

Ilustración 56 Ficha de visita técnica 4. Fuente: Elaboración propia.

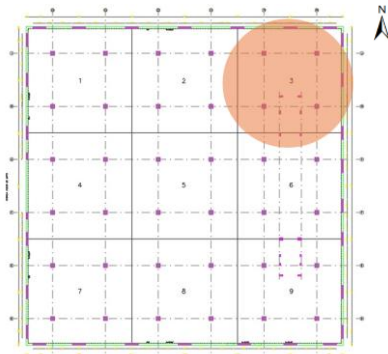
FICHAS DE INSPECCIÓN					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	5	Fecha		Página	5
Elaboró:	LAURA DANIELA AMÉZQUITA CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Sector 3					
DIAGNOSTICO DE INSPECCIÓN DE ENSAYOS					
Ensayo de Regatas					

Ilustración 57 Ficha de visita técnica 5. Fuente: Elaboración propia.

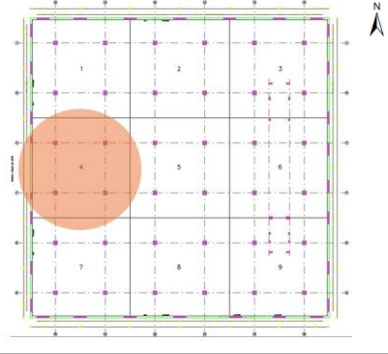
FICHAS DE INSPECCIÓN					
VISITA TÉCNICA DE PATOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE FISURAS METODOLOGÍA BIM					
Versión	6	Fecha		Página	6
Elaboró:	SANTIAGO RODRIGUEZ CASTRO				
Datos Proyecto					
Nombre y Dirección:	COMPLEJO CAD TORRE B. Av. Cra 30 #25-90			Ciudad:	Bogotá
Tipo de edificación:	Oficinas		Sistema estructural:	Porticos en concreto reforzado, sistema losa columna (reticular celular)	
LOCALIZACIÓN GENERAL			REGISTRO FOTOGRÁFICO		
					
DESCRIPCIÓN VISUAL					
Sector 4					
DIAGNOSTICO DE INSPECCIÓN DE ENSAYOS					
Ensayo de Esclerómetro					

Ilustración 58 Ficha de visita técnica 6. Fuente: Elaboración propia.

8.3 Evaluación estructura existente

De acuerdo con lo establecido en el NSR-10 en el numeral A.10.2.2 se indica que se debe evaluar el estado del sistema estructural, en dos ítems: calidad del diseño de la construcción y estado de la estructura. Respecto a la calidad del diseño y la construcción de la estructura existente, la edificación se construyó con tecnología de la época, con una técnica buena, como se puede evidenciar en las visitas técnicas realizadas, al contar con los registros técnicos de la época de su construcción y los resultados de laboratorio de la patología realizada la calificación del diseño y la construcción se considera BUENA.

El comportamiento que ha tenido a lo largo de todos estos años ha sido favorable, por lo cual el estado de la estructura se considera BUENA.

Tabla 5 coeficientes estructura original. Fuente: NSR-10

Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación	
$\square c$	$\square e$
1.0	1.0

8.4 Características de la edificación

8.4.1 Grupo de uso

Según la sección A.2.5.1 del reglamento NSR-10, la edificación se clasifica dentro del Grupo de uso II, Estructuras de ocupación especial, al tratarse de edificaciones gubernamentales.

8.4.2 Coeficiente de importancia

Según la tabla A.2.5-1 de la NSR-10, el valor del coeficiente de importancia I, según el grupo de uso es de $I = 1.1$.

Tabla 6 Coeficiente de importancia. Fuente: NSR-10

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

8.5 Amenaza sísmica y parámetros de diseño

8.5.1 Amenaza sísmica

La amenaza sísmica se clasifica según la ubicación geográfica del proyecto, en la sección del reglamento NSR-10 A-2-3 -Zonas de Amenaza Sísmica, en la tabla A.2.3-2 del reglamento NSR -10, se encuentran los valores de A_a (Aceleraciones Pico efectiva para diseño) y A_v

(Velocidad horizontal pico efectiva para diseño) para la región de construcción, en este caso Bogotá, que se encuentra ubicada en zona de Amenaza sísmica Intermedia.

El estudio de vulnerabilidad sísmica actual se realizó a partir de la microzonificación sísmica de Bogotá, con los siguientes parámetros:

Tabla 7 Zona de amenaza sísmica, valores de coeficientes Aa y Av. Fuente: NSR-10

Ciudad	Aa	Av	Zona de amenaza sísmica
Bogotá	0.15	0.2	Intermedia

8.6 Espectro de diseño según microzonificación sísmica

Siguiendo con los lineamientos del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, el cual en el numeral A.6.2.1.2. especifica que para las edificaciones pertenecientes al grupo II, III y IV, grupo al que pertenece la edificación del proyecto, se puede utilizar un coeficiente de importancia I, igual a la unidad $I=1.0$, para la determinación de las fuerzas horizontales que se empleen para calcular los desplazamientos horizontales.

Con base en las conclusiones y recomendaciones del estudio de suelos se determinó que el perfil de suelos del proyecto corresponde a un suelo ALUVIAL 100. De este modo se realizó el espectro de aceleraciones para el análisis de derivas.

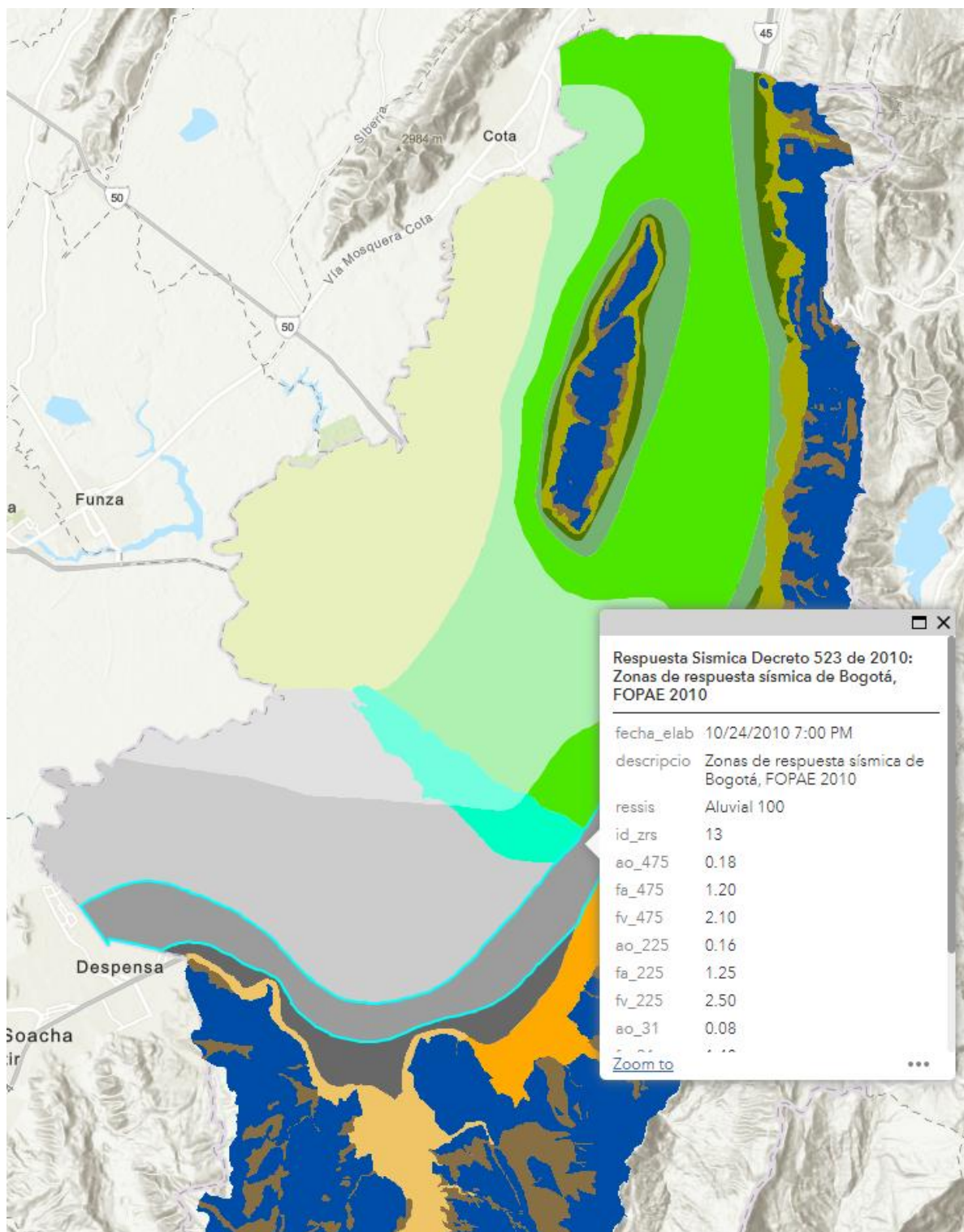


Ilustración 59 Mapa microzonificación sísmica de Bogotá Fuente: anexo 4, informe de suelos

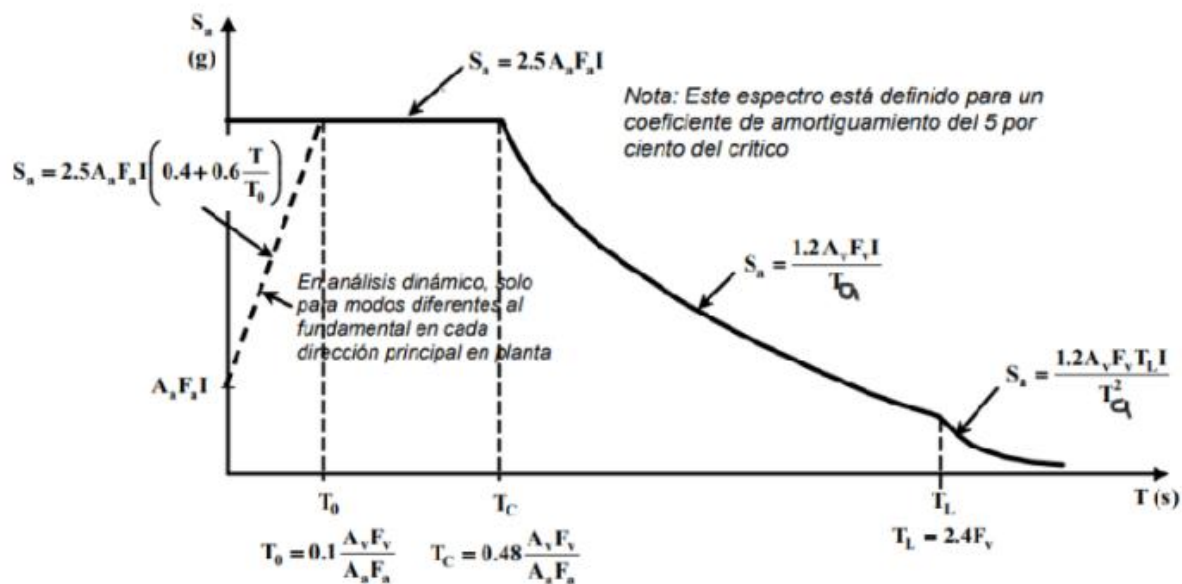


Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Figura 1 Espectro elástico de aceleraciones. Recuperado de NSR10 - Figura A.2.6.1

Tabla 8 Parámetros espectro de aceleraciones de derivas con coeficiente de amortiguamiento del 5% según la microzonificación.

Coeficientes de espectro sísmico	
Ciudad	Bogotá D.C
Zona de Amenaza Sísmica	Intermedia
Tipo de Suelo	ALUVIAL 100
Grupo de Uso	II
Aa	0.15
Av	0.20
Fa	1.20
Fv	2.10
I	1.00
To	0.23
Tc	1.12
TL	5.04

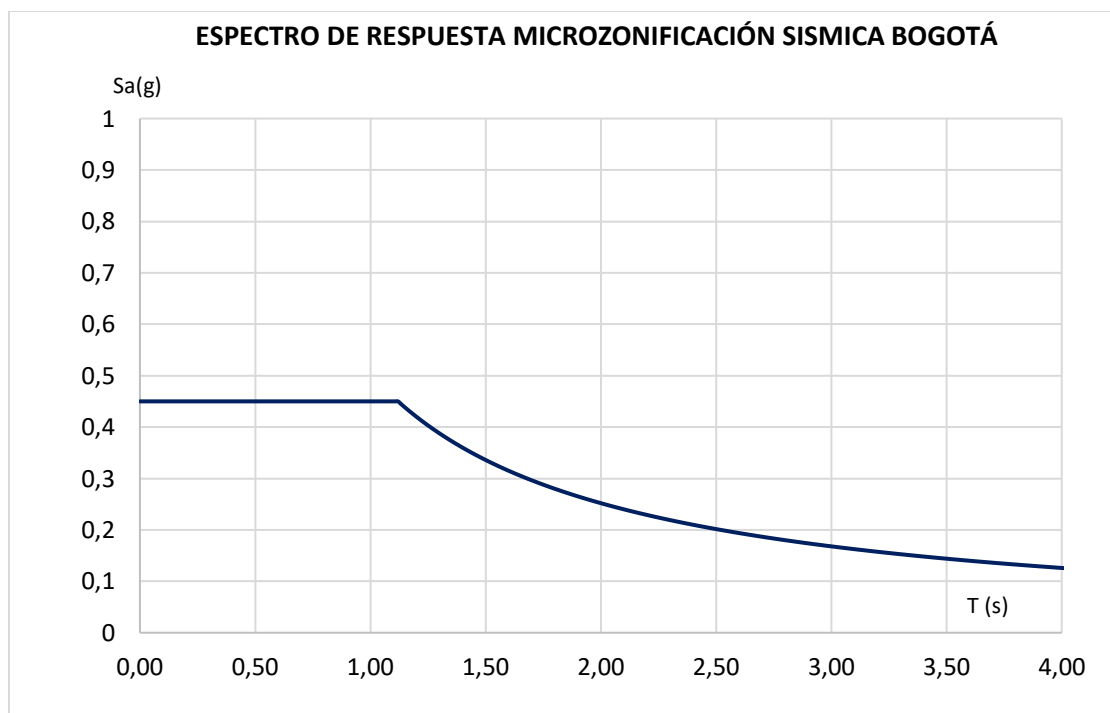


Figura 2 Espectro de aceleraciones de diseño con coeficiente de amortiguamiento del 5% según la microzonificación Fuente: Elaboración propia.

8.6.1 Método de análisis fuerzas sísmicas

El método de análisis a utilizar para el cálculo de las fuerzas sísmicas, de la edificación, se establece de acuerdo con las especificaciones del capítulo A.3. del reglamento NSR-10. El método elegido es el método del análisis dinámico elástico espectral. Al utilizar el método de análisis dinámico espectral se verifica el cumplimiento de los requisitos del capítulo A.5.4, número de modos de vibración, combinación de los modos y factor de ajuste.

8.7 Sistema estructural de resistencia sísmica

Actualmente la edificación presenta un sistema de pórticos losa columna en concreto reforzado para cargas verticales combinado con muros en concreto reforzado con capacidad moderada de energía (DMO) para cargas horizontales, ya que los elementos estructurales presentan las cuantías y detallados de refuerzo requeridos por el reglamento especificados por el reglamento,

así que el coeficiente de disipación de energía R' de acuerdo con el numeral A.10.4.2.4 se presenta a continuación.

Tabla 9 Valores coeficientes establecidos por la NSR-10 para sistema estructural combinado Fuente: NSR 10

Sistema estructural	R'	ϕ_o
Sistema de pórticos losa columna en concreto reforzado y muros de concreto reforzado DMO	3.5	2.5

8.8 Avalúo de cargas

Consolidación de la información suministrada. (Anexo)

8.9 Índice de flexibilidad

Estos índices buscan definir el grado de deformación de la estructura y se calculan obteniendo el cociente entre la deriva de la estructura y la deriva máxima permitida por el reglamento NSR-10.

A continuación, se presentan los índices de flexibilidad por piso, para cada dirección de evaluación y el índice de flexibilidad de la estructura. En los anexos se muestran los índices de flexibilidad de cada punto.

Tabla 10 Índices de flexibilidad por piso Fuente: Elaboración propia.

Nivel	sismo x	sismo y
Nivel 2	0.18	0.18
Nivel 1	0.6	0.29
Sótano	0,16	0,17

El índice de flexibilidad de la estructura es definido como el mayor valor de los índices de flexibilidad por piso de toda la estructura, de este modo el índice de flexibilidad de la estructura es 0.60. Por lo que la edificación cumple con los índices de flexibilidad que exige el reglamento NSR-10.

8.10 Índices de sobreesfuerzo

El índice de sobreesfuerzo es determinado como el cociente entre las solicitaciones mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en la norma NSR-10, y la resistencia efectiva del elemento, esta es definida como la resistencia de los elementos existentes multiplicada por los coeficientes de reducción ϕ_c y ϕ_e presentados en el capítulo 7. Estos índices son evaluados tanto por cargas verticales como por sismo siguiendo las combinaciones del B.2.4.

8.10.1 Columnas

La determinación de la capacidad de las columnas se realiza con base en los resultados en los despieces de los planos de diseño inicial, de la caracterización de materiales y exploración del refuerzo identificado en el estudio de patología, teniendo cuantías de refuerzo longitudinal entre el 1% y 1.20% del área bruta del elemento con varillas #8 a #5, mientras que para el refuerzo a cortante se obtuvo flejes #3 con separaciones de 15cm en zona de confinamiento y 30cm en zona no confinada, de acuerdo a los datos suministrados por la empresa.

Flexo Compresión

A continuación, se presenta el resumen de los índices de sobreesfuerzo para las columnas por piso.

Tabla 11 Índice de sobreesfuerzo flexo compresión columnas por piso Fuente: Elaboración propia.

Nivel	Máximo	Promedio
Nivel 2	0.74	0.59
Nivel 1	0.59	0.54
Sótano	0.70	0.64

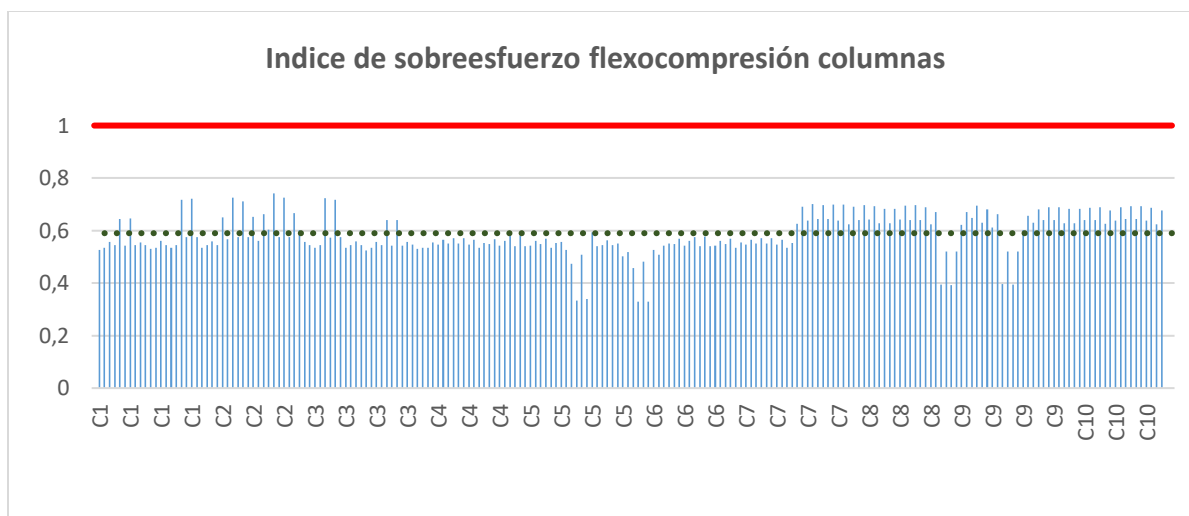


Ilustración 60 Índice de sobreesfuerzo flexo compresión columnas Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados las columnas cumplen con las solicitaciones de flexo compresión requeridas. Con una relación de falla máxima de 0.74.

Cortante

La verificación de estos elementos se realizó con las combinaciones del B.2.4 multiplicando los efectos sísmicos E por el coeficiente de sobre resistencia Ω_o . A continuación, se presenta el resumen de los índices de sobreesfuerzo para las columnas por piso.

Tabla 12 Índice de sobreesfuerzo cortante columnas por piso Fuente: Elaboración propia.

Nivel	Máximo	Promedio
Nivel 2	0.58	0.29
Nivel 1	0.60	0.35
Sótano	1.13	0.93

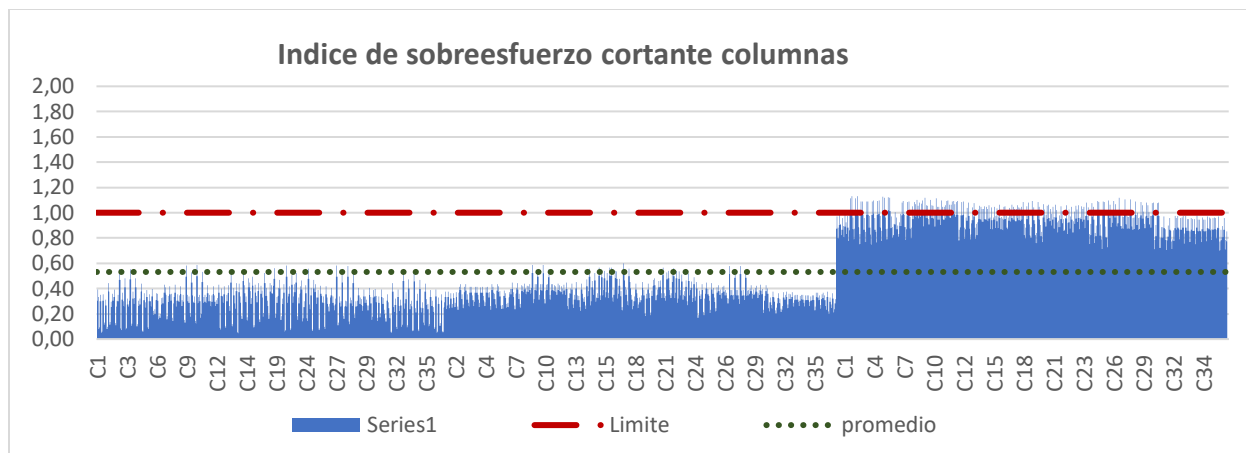


Ilustración 61 Índice de sobreesfuerzo cortante columnas Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos reportados las columnas en el nivel de cubierta y segundo piso cumplen con las solicitudes requeridas al tener relaciones de falla menor a la unidad. Por otra parte, las columnas de primer nivel tienen una relación de falla máxima de 1.13 lo que indica que se tiene una deficiencia a cortante.

8.10.2 Muros

Con base en los despieces de los muros de los planos de reforzamiento se realizan las curvas de interacción para cada tipología de muro. Se encuentra que las cuantías de refuerzo longitudinal están del orden entre el 0.3% y el 0.7% cumpliendo con la cuantía mínima para este tipo elementos, sin embargo, en los despieces no se detallan elementos de borde comúnmente usados para este tipo de muros estructurales.

Cortante

Con base en los despieces de los muros de los planos de reforzamiento y en las inspecciones del refuerzo de la patología se encuentra que las cuantías de refuerzo transversal son de 0.21% cumpliendo con la cuantía mínima para este tipo elementos, con flejes #3 separados cada 150mm en toda la altura del muro. A continuación, se determina los índices de sobreesfuerzo ante fuerzas cortantes en muros.

Tabla 13 Índice de sobre esfuerzo por piso cortante muros Fuente: Elaboración propia.

Nivel	Máximo	Promedio
Nivel 2	0.71	0.17
Nivel 1	1.02	0.29
Sótano	0.81	0.22

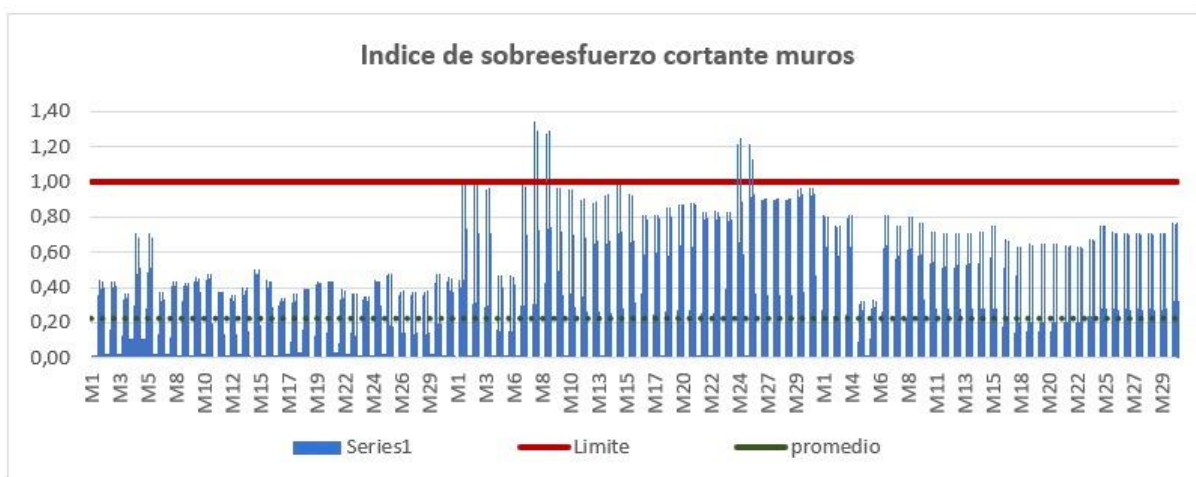


Ilustración 62 Índice de sobre esfuerzo cortante muros Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos reportados los muros en el nivel de cubierta y primer piso cumplen con las solicitaciones requeridas al tener relaciones de falla menor a la unidad, a excepción de dos de ellos que se evidencian por encima del valor. Por otra parte, los muros de primer nivel tienen una relación de falla máxima de 1.37 lo que indica que se tiene una deficiencia a cortante.

8.10.3 Vigas

Con base en los despieces de las vigas de los planos de reforzamiento se realizan el análisis a momento negativo y momento positivo para viga del perímetro que son las encargadas de soportar las acciones sísmicas ya que la placa postensada reticular celular se encarga de soportar las cargas verticales. Se encuentra que las cuantías de refuerzo longitudinal están del orden entre

el 0.24% y el 0.83% un poco por cumpliendo de la cuantía mínima que corresponde al para este tipo elementos.

Flexión

A continuación, se presenta el resumen de los índices de sobreesfuerzo para las vigas por piso.

Tabla 14 Índices de sobreesfuerzo por piso momento negativo Fuente: Elaboración propia.

Nivel	Máximo	Promedio
Nivel 2	1.28	0.55
Nivel 1	2.63	0.93
Sótano	2.24	0.56

Tabla 15 Índices de sobreesfuerzo por piso momento positivo Fuente: Elaboración propia.

Nivel	Máximo	Promedio
Nivel 2	0.91	0.48
Nivel 1	1.07	0.61
Sótano	1.29	0.48

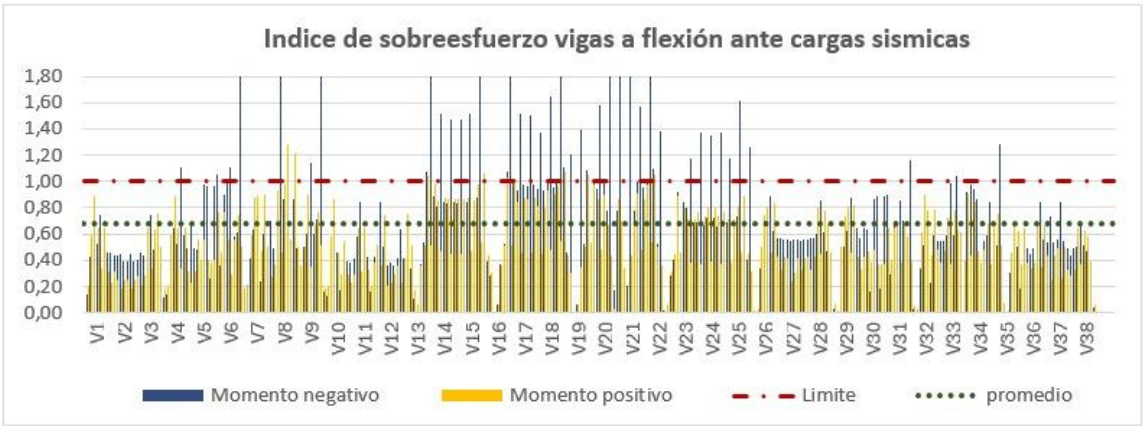


Ilustración 63 índice de sobre esfuerzo flexión vigas Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados las vigas del reforzamiento externo presentan insuficiencia ante momento positivo como momento negativo.

Cortante

A continuación, se presenta el resumen de los índices de sobreesfuerzo para las vigas por piso.

Tabla 16 Índices de sobreesfuerzo por piso cortante Fuente: Elaboración propia.

Nivel	Máximo	Promedio
Nivel 2	1.18	0.56
Nivel 1	2.08	1.54
Sótano	1.99	0.77

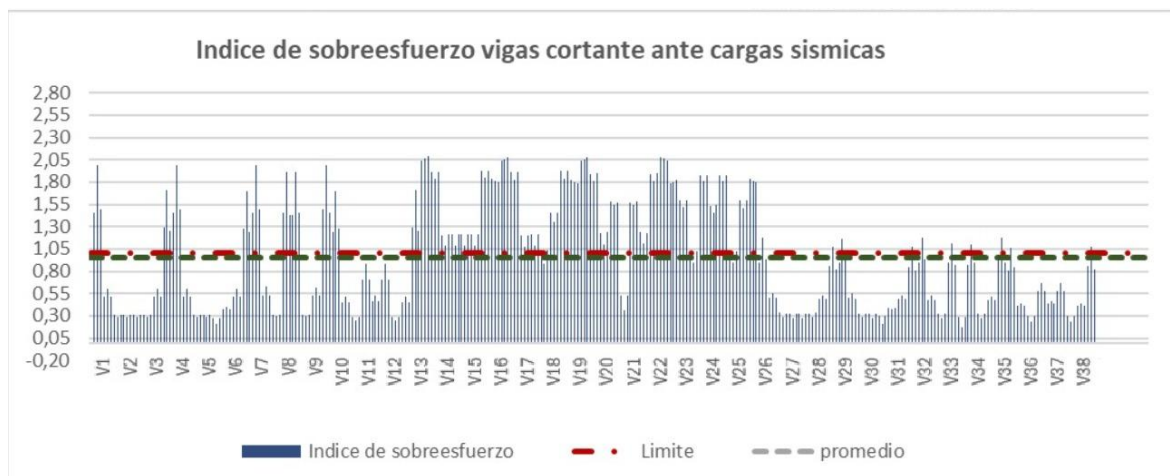


Ilustración 64 índice de sobre esfuerzo cortante vigas Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados las vigas del reforzamiento externo presentan insuficiencia ante fuerzas cortantes.

9 RESULTADOS

9.1 Recopilación patologías

9.1.1 Resultados Núcleos De Extracción

A continuación, se presente el resumen de resultados de laboratorio obtenido para los núcleos de extracción tanto la resistencia a la compresión como el módulo de elasticidad del concreto.

Tabla 17 Resultados núcleos de extracción Fuente: Anexo 5. Tabla de resultados de ensayos

REFERENCIA	ZONA	ELEMENTO	LOCALIZACION	Resistencia a la compresión MPa	Modulo elasticidad Mpa	SECTOR	CONDICIÓN VULNERABLE
N1	SOTANO	COLUMNA	J27	21.3	24524	2	INEXISTENTE
N2	SOTANO	COLUMNA	J27	21.8		2	INEXISTENTE
N3	SOTANO	COLUMNA	J35	28.2		3	INEXISTENTE
N4	SOTANO	COLUMNA	J35	27.9		3	INEXISTENTE
N5	SOTANO	COLUMNA	G19	20.5		4	INEXISTENTE
N6	SOTANO	COLUMNA	G19	21.2		4	INEXISTENTE
N7	SOTANO	COLUMNA	E23	20.8		8	INEXISTENTE
N8	SOTANO	COLUMNA	E23	21.3		8	INEXISTENTE
N9	SOTANO	COLUMNA	H27	15.1		2	ALTO
N10	SOTANO	COLUMNA	H27	15.5		2	ALTO
N11	SOTANO	COLUMNA	J19	14.8		1	ALTO
N12	SOTANO	COLUMNA	J19	15.2		1	ALTO
N13	SOTANO	MURO	D15	20.4		7	INEXISTENTE
N14	SOTANO	MURO	D15	23.7		7	INEXISTENTE
N15	SOTANO	MURO	D15-E15	21.2		7	BAJO
N16	SOTANO	MURO	D15-E15	22.9		7	BAJO
N17	SOTANO	MURO	H15-J15	16.8		1	MEDIO
N18	SOTANO	MURO	H15-J15	16.4		1	MEDIO
N19	SOTANO	MURO	J31-J35	21.2		3	INEXISTENTE
N20	SOTANO	MURO	J31-J35	22		3	INEXISTENTE
N21	SOTANO	MURO	J35-H35	20.1	25027	3	INEXISTENTE
N22	SOTANO	MURO	J35-H35	21.5		3	INEXISTENTE

N23	PISO1	COLUMNA	J27	22.1		2	INEXISTENTE
N24	PISO1	COLUMNA	E35	12.5		9	ALTO
N25	PISO1	COLUMNA	E35	12.3		9	ALTO
N26	PISO1	COLUMNA	F27	20.8		5	INEXISTENTE
N27	PISO1	COLUMNA	F27	21.1		5	INEXISTENTE
N28	PISO1	MURO	D15	22.3		7	INEXISTENTE
N29	PISO1	MURO	D15-E15	21.2		7	BAJO
N30	PISO1	MURO	J31-J35	21.4		3	INEXISTENTE
N31	PISO2	MURO	J35-H35	20.7		3	INEXISTENTE

Tabla 18 Promedio de resultados para los elementos estructurales Fuente: Elaboración propia.

ITEM	MUROS	COLUMNAS
------	-------	----------

Resistencia a la compresión Mpa	20.86	19.55
Módulo de elasticidad Mpa	25027	24524

En los planos iniciales de la edificación las columnas fueron diseñadas con una resistencia a la compresión de 21Mpa, el promedio de las resistencias obtenidas para las columnas corresponde a 19.55 MPa por lo cual es algo consecuente con lo diseñado y aunque no se cumple totalmente con la resistencia requerida, las condiciones no son desfavorables. Con respecto al módulo de elasticidad, se obtiene buenos resultados por encima de los obtenido por los módulos teóricos de las normativas lo que influye positivamente en la rigidez de la estructura.

Por otra parte, la resistencia a compresión de diseño del reforzamiento corresponde a 21Mpa el promedio de las resistencias obtenidas para los muros corresponde a 20.86 MPa por lo que no supera la resistencia de diseño, sin embargo, está bastante cerca y en el módulo de elasticidad se obtiene buenos resultados por encima de los obtenidos por los módulos teóricos de las normativas lo que influye positivamente en la rigidez de la estructura.

Para visualizar los resultados de laboratorio se encuentran en los anexos.

9.1.2 Resultados Ferrosan

De acuerdo con los resultados del ensayo en columnas se obtuvieron refuerzo longitudinal de 1” con separación de 150mm y refuerzo transversal de diámetro 3/8” con separación de 150mm, estos resultados son consecuentes con los despieces de columnas indicado en los planos estructurales.

Tabla 19 Resultados Ferroskan Fuente: Anexo 5. Tabla de resultados de ensayos

REFERENCIA	ZONA	ELEMENTO	LOCALIZACIÓN	CANTIDAD LECTURAS	SECTOR	CONDICIÓN
N1	SOTANO	COLUMNA	J27	2	2	INEXISTENTE
N2	SOTANO	COLUMNA	J27	2	2	INEXISTENTE
N3	SOTANO	COLUMNA	J35	2	3	INEXISTENTE
N4	SOTANO	COLUMNA	J35	2	3	INEXISTENTE
N5	SOTANO	COLUMNA	G19	2	4	INEXISTENTE
N6	SOTANO	COLUMNA	G19	2	4	INEXISTENTE
N7	SOTANO	COLUMNA	E23	2	8	INEXISTENTE
N8	SOTANO	COLUMNA	E23	2	8	INEXISTENTE
N9	SOTANO	COLUMNA	H27	2	2	INEXISTENTE
N10	SOTANO	COLUMNA	H27	2	2	INEXISTENTE
N11	SOTANO	COLUMNA	J19	2	1	INEXISTENTE
N12	SOTANO	COLUMNA	J19	2	1	INEXISTENTE
N13	SOTANO	MURO	D15	2	7	INEXISTENTE
N14	SOTANO	MURO	D15	2	7	INEXISTENTE
N15	SOTANO	MURO	D15-E15	2	7	INEXISTENTE
N16	SOTANO	MURO	D15-E15	2	7	INEXISTENTE
N17	SOTANO	MURO	H15-J15	2	1	INEXISTENTE
N18	SOTANO	MURO	H15-J15	2	1	INEXISTENTE
N19	SOTANO	MURO	J31-J35	2	3	INEXISTENTE
N20	SOTANO	MURO	J31-J35	2	3	INEXISTENTE
N21	SOTANO	MURO	J35-H35	2	3	INEXISTENTE
N22	SOTANO	MURO	J35-H35	2	3	INEXISTENTE

REFERENCIA	ZONA	ELEMENTO	LOCALIZACIÓN	CANTIDAD LECTURAS	SECTOR	CONDICIÓN
N23	PISO1	COLUMNA	J27	2	2	INEXISTENTE
N24	PISO1	COLUMNA	E35	2	9	INEXISTENTE
N25	PISO1	COLUMNA	E35	2	9	INEXISTENTE
N26	PISO1	COLUMNA	F27	2	5	INEXISTENTE
N27	PISO1	COLUMNA	F27	2	5	INEXISTENTE
N28	PISO1	MURO	D15	2	7	INEXISTENTE
N29	PISO1	MURO	D15-E15	2	7	INEXISTENTE
N30	PISO1	MURO	J31-J35	2	3	INEXISTENTE
N31	PISO2	MURO	J35-H35	2	3	INEXISTENTE

En el anexo numero 5 se puede ver los resultados de cada ensayo.

9.1.3 Resultados Regatas

Como resultados de las regatas se confirma lo indicado en los planos estructurales y lo constatado en el ferroskan con refuerzo longitudinal de 1" (entorchado) y de 7/8" (corrugado) con separación de 150mm y refuerzo transversal de diámetro 3/8" liso con separación de 150mm. No se evidencia presencia de corrosión, en general se observan en buen estado.

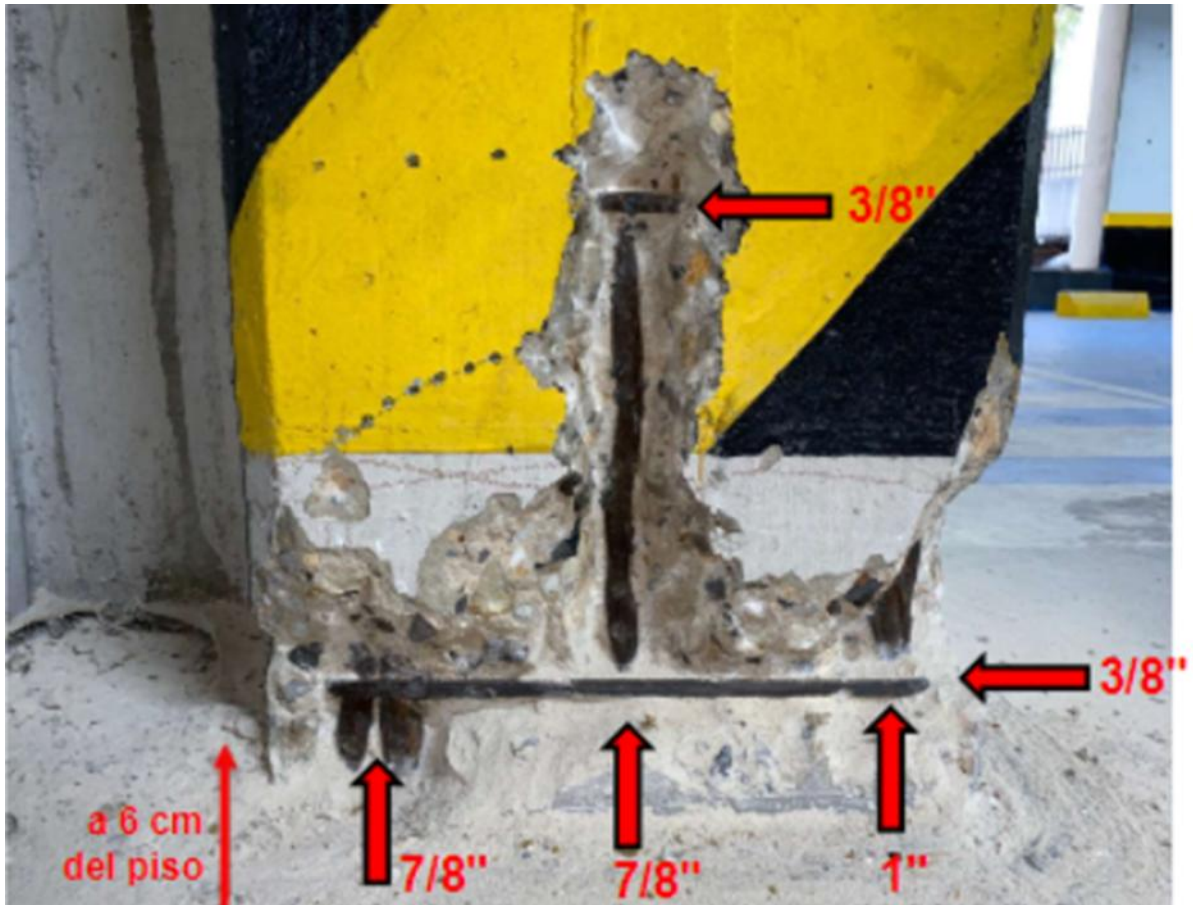


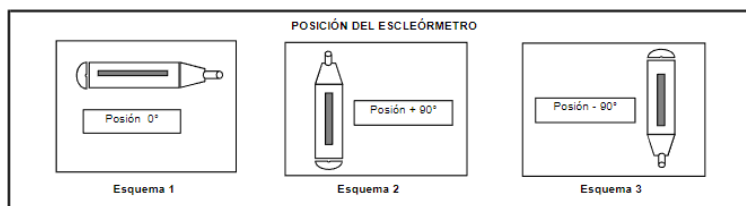
Ilustración 65 Resultados regatas Fuente: Elaboración propia.

En los anexos se encuentran las regatas realizadas en la estructura.

9.1.4 Resultados Esclerómetro

El promedio de los resultados obtenidos para los capiteles corresponde a 25.4MPa un poco inferior a los 28Mpa de resistencia de diseño sin embrago dentro de los limites tolerables por las normativas. A continuación, se presenta los resultados para cada lectura.

Ensayo	LOCALIZACION	LECTURAS					PROMEDIO BRUTO	DESVIACION ESTANDAR	RANGO		PROMEDIO AJUSTADO	RESISTENCIA DEDUCIDA (psi)	RESISTENCIA DEDUCIDA (kgf/cm ²)	RESISTENCIA DEDUCIDA (MPa)	ESQUEMA
		34	32	45	31	39									
1	Capitel - Eje H27 - Placa Piso 1	44	31	33	34	42	37,9	5,71	32,2	43,5	35,5	3600	253	24,8	2
		32	44	49	40	38									
		34	38	42	36	33									
2	Capitel - Eje G19 - Placa Piso 1	54	48	42	34	32	38,6	5,98	32,6	44,6	36,2	3760	264	25,9	2
		38	42	36	32	38									
		39	33	43	45	44									
3	Capitel - Eje E23 - Placa Piso 1	38	35	38	34	35	38,7	3,53	35,2	42,3	38,3	3790	266	26,1	2
		38	38	41	42	38									
		31	38	46	42	40									
4	Capitel - Eje F27 - Placa Piso 1	38	40	36	32	37	37,8	3,67	34,1	41,5	35,4	3580	252	24,7	2
		38	38	40	34	39									
		38	38	40	34	39									



9.1.5 Resultados Carbonatación

A continuación, se presentan los resultados de la profundidad de carbonatación.

Tabla 20 Resultados Carbonatación Fuente: Anexo 5. Tabla de resultados de ensayos

REFERENCIA	ZONA	ELEMENTO	LOCALIZACION	CARBONATACIÓN cm	SECTOR	CONDICIÓN
N1	SOTANO	COLUMNA	J27	1.9	2	BAJO
N2	SOTANO	COLUMNA	J27	2.0	2	BAJO
N3	SOTANO	COLUMNA	J35	4.1	3	MEDIO
N4	SOTANO	COLUMNA	J35	4.8	3	MEDIO
N5	SOTANO	COLUMNA	G19	0.6	4	INEXISTENTE
N6	SOTANO	COLUMNA	G19	1.5	4	INEXISTENTE
N7	SOTANO	COLUMNA	E23	0	8	INEXISTENTE
N8	SOTANO	COLUMNA	E23	0	8	INEXISTENTE
N9	SOTANO	COLUMNA	H27	0	2	INEXISTENTE
N10	SOTANO	COLUMNA	H27	0	2	INEXISTENTE
N11	SOTANO	COLUMNA	J19	0	1	INEXISTENTE
N12	SOTANO	COLUMNA	J19	0	1	INEXISTENTE
N13	SOTANO	MURO	D15	3	7	INEXISTENTE
N14	SOTANO	MURO	D15	3.33	7	INEXISTENTE
N15	SOTANO	MURO	D15-E15	2.4	7	INEXISTENTE
N16	SOTANO	MURO	D15-E15	2.4	7	INEXISTENTE
N17	SOTANO	MURO	H15-J15	1.2	1	INEXISTENTE
N18	SOTANO	MURO	H15-J15	1.5	1	INEXISTENTE
N19	SOTANO	MURO	J31-J35	2.7	3	INEXISTENTE
N20	SOTANO	MURO	J31-J35	2.3	3	INEXISTENTE
N21	SOTANO	MURO	J35-H35	1.2	3	INEXISTENTE

REFERENCIA	ZONA	ELEMENTO	LOCALIZACION	CARBONATACIÓN cm	SECTOR	CONDICIÓN
N22	SOTANO	MURO	J35-H35	2.3	3	INEXISTENTE
						INEXISTENTE
N23	PISO1	COLUMNA	J27	0	2	INEXISTENTE
N24	PISO1	COLUMNA	E35	2.4	9	INEXISTENTE
N25	PISO1	COLUMNA	E35	2.9	9	INEXISTENTE
N26	PISO1	COLUMNA	F27	5.2	5	ALTO
N27	PISO1	COLUMNA	F27	5.3	5	ALTO
N28	PISO1	MURO	D15	3.3	7	INEXISTENTE
N29	PISO1	MURO	D15-E15	0	7	INEXISTENTE
N30	PISO1	MURO	J31-J35	3	3	INEXISTENTE
N31	PISO2	MURO	J35-H35	2	3	INEXISTENTE

Tabla 21 Resultados profundidad de carbonatación Fuente: Elaboración propia.

ITEM	COLUMNAS (cm)	MUROS (cm)
SÓTANO	1.24	2.23
1 PISO	3.16	2.07

De acuerdo con la tabla anterior el perfil de carbonatación se encuentra en los muros estructurales exteriores en los cuales se obtiene un perfil de carbonatación entre 0 y 5.3 cm con un promedio de 2.23cm, teniendo en cuenta que el recubrimiento de los muros son de 3cm el perfil de carbonatación en algunos muros no ha alcanzado la profundidad del acero de refuerzo, mientras que en otros casos sí lo ha alcanzado incluso superado; si bien el hecho de que la carbonatación haya llegado a la profundidad donde se encuentra el acero de refuerzo no quiere decir que este se encuentre corroído sino que junto con otros agentes como el agua y el dióxido de carbono de los sótanos podría darse el ambiente ideal para empezar el proceso de corrosión.

Si bien el ambiente de Bogotá no es agresivo como en las ciudades costeras del país, es recomendable aplicar pintura anti-carbonatación para aumentar la durabilidad a la estructura. En caso de que para la solución del reforzamiento se opte por encamisar los muros estructurales no se requiere aplicar la pintura puesto que en el proceso de recalce se debe retirar el recubrimiento por lo que se retiraría el concreto con pérdida de alcalinidad.

Por otro lado, respecto a los resultados de las columnas en sótano no se tienen niveles de carbonatación, sin embargo en el primer nivel donde hay mayor presencia de humedad y dióxido de carbono producto de los vehículos automotores la carbonatación se encuentra entre 0 y 2.8 cm en este sentido se recomienda aplicar pintura anti-carbonatación a las columnas únicamente en el nivel de sótano.

9.2 Matriz de resultados de inspección

9.2.1 Inspección visual in situ

Tabla 22 Escala de vulnerabilidad Fuente: Elaboración propia.

Escala de vulnerabilidad		
inexistente	1	
Bajo	2	
medio	3	
alto	4	

Tabla 23 Matriz de inspección visual in situ Fuente: Elaboración propia.

Matriz de inspección visual in situ de la estructura					
Sector		Integrante			Promedio
		Camilo	Laura	Santiago	
Piso 1	S-1	3	4	4	4
	S-2	2	2	3	2
	S-3	2	2	2	2
	S-4	3	2	3	3
	S-5	2	2	2	2
	S-6	4	4	4	4
	S-7	2	3	3	3

	S-8	2	2	2	2
	S-9	3	4	4	4
	Promedio de estado estructural				3
Sótano	S-1	3	4	4	4
	S-2	2	2	2	2
	S-3	4	4	3	4
	S-4	2	2	2	2
	S-5	1	2	2	2
	S-6	2	3	3	3
	S-7	1	1	1	1
	S-8	2	2	2	2
	S-9	2	2	2	2
	Ponderado de estado estructural				2
Promedio total					3

Según los datos de cada integrante se da un concepto de puntaje de 3 lo cual indica que la estructura visualmente bajo criterio de los participantes de este proyecto tiene un rango de vulnerabilidad medio.

9.2.2 Inspección técnica de resultados

En determinadas secciones de la estructura, se optó por no ejecutar todos los ensayos inicialmente contemplados, esto basado en los resultados de la inspección visual minuciosa de las patologías evidentes. Dicha evaluación preliminar permitió establecer que estas zonas no manifestaban niveles preocupantes de vulnerabilidad estructural. Por tanto, como estrategia para salvaguardar el presupuesto disponible, se decidió concentrar la realización de los ensayos técnicos solamente en aquellos sectores donde realmente resultaban imprescindibles, logrando así un adecuado balance entre la precisión diagnóstica y el uso racional de los recursos financieros asignados al proyecto.

Tabla 24 Código de ensayos Fuente: Elaboración propia.

Código	Ensayo
--------	--------

E1	Ensayo extracción de núcleos
E2	Ensayo de ferrosacan
E3	Ensayo de Regatas
E4	Ensayo de esclerómetro
E5	Ensayo carbonatación

Tabla 25 Matriz de ensayos sector 1 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s1	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	60%	4	2,4	2,8
	E-2	30%	1	0,3	
	E-5	10%	1	0,1	

Tabla 26 Matriz de ensayos sector 2 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s2	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	50%	3	1,5	2,1
	E-2	30%	1	0,3	
	E-4	10%	1	0,1	
	E-5	10%	2	0,2	

Tabla 27 Matriz de ensayos sector 3 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s3	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	60%	1	0,6	1,2
	E-2	30%	1	0,3	

	E-5	10%	3	0,3	
--	-----	-----	---	-----	--

Tabla 28 Matriz de ensayos sector 4 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s4	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	50%	1	0,5	1,0
	E-2	30%	1	0,3	
	E-4	10%	1	0,1	
	E-5	10%	1	0,1	

Tabla 29 Matriz de ensayos sector 5 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s5	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	40%	1	0,4	1,5
	E-2	25%	1	0,3	
	E-3	5%	1	0,1	
	E-4	15%	1	0,2	
	E-5	15%	4	0,6	

De acuerdo con lo mencionado, en el sector 6 no se llevó a cabo ningún ensayo de caracterización estructural. Esta decisión técnica respondió al análisis previo del equipo evaluador, quien tras valorar las condiciones aparentes del área y contrastarlas con las prioridades generales del estudio, determinó concentrar los recursos diagnósticos en los otros sectores de la estructura que presentaban indicadores de mayor relevancia para los objetivos del análisis de la vulnerabilidad sísmica.

Tabla 30 Matriz de ensayos sector 7 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
--	--	--	--	--	--

s7	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	50%	2	1,0	1,5
	E-2	30%	1	0,3	
	E-3	5%	1	0,1	
	E-5	15%	1	0,2	

Tabla 31 Matriz de ensayos sector 8 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s8	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	50%	1	0,5	1,0
	E-2	30%	1	0,3	
	E-4	10%	1	0,1	
	E-5	10%	1	0,1	

Tabla 32 Matriz de ensayos sector 9 Fuente: Elaboración propia.

Matriz de ensayos que se le hicieron a la estructura					
s9	Ensayos	Ponderado	Severidad	Puntuación	Ponderado total del sector
	E-1	60%	4	2,4	2,8
	E-2	30%	1	0,3	
	E-5	10%	1	0,1	

Ponderado Total del edificio	1,7
------------------------------	-----

De acuerdo con la ponderación realizada para cada uno de los sectores evaluados y siguiendo la escala de vulnerabilidad establecida en la metodología del estudio, se determinó que

el nivel general de vulnerabilidad para toda la estructura corresponde a un valor bajo, con una ponderación numérica de 1.7. Es relevante destacar que dentro del análisis sectorizado, se identificaron el sector 1 y el sector 9 como las áreas que presentan los índices más elevados de vulnerabilidad, ambos con valores de 2.8, lo cual los sitúa dentro de la clasificación como zonas de vulnerabilidad media según los parámetros de evaluación aplicados.

9.3 Modelo

9.3.1 Estructura base del modelo digital

Cubierta modelo digital

A continuación, se presenta la cubierta del modelo digital 3D diseñado en Revit

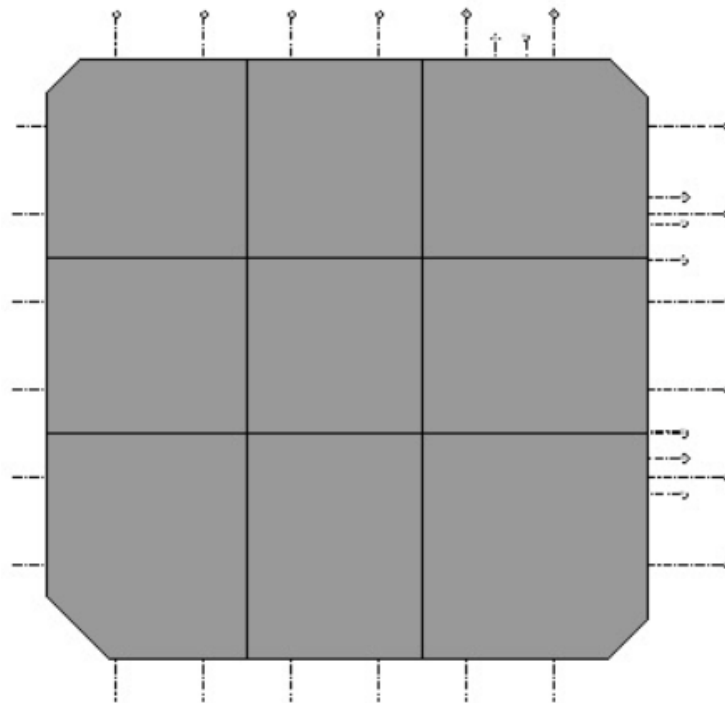


Ilustración 66 Cubierta modelo 3D Fuente: Elaboración propia.

Visualización 3D del modelo digital

A continuación, se presenta la visualización del modelo 3D realizado en Revit el cual se evidencia la colocación de todos los elementos mencionados en la metodología

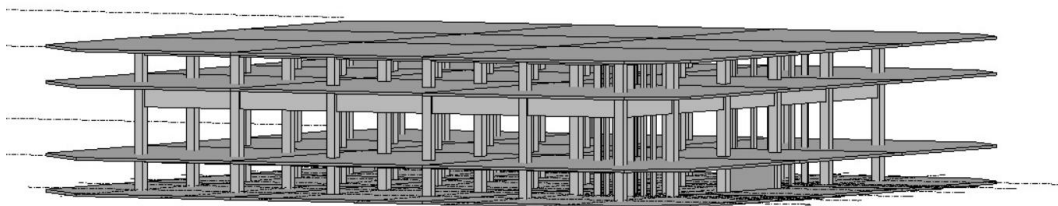


Ilustración 67 Visualización 3D del modelo digital Fuente: Elaboración propia.

Visualización modelo digital sin placas

En la siguiente ilustración se evidencia como esta constituido el modelo digital sin tener en cuenta sus placas, con el objetivo de identificar visualmente los elementos que pueden presentar patologías en la estructura.

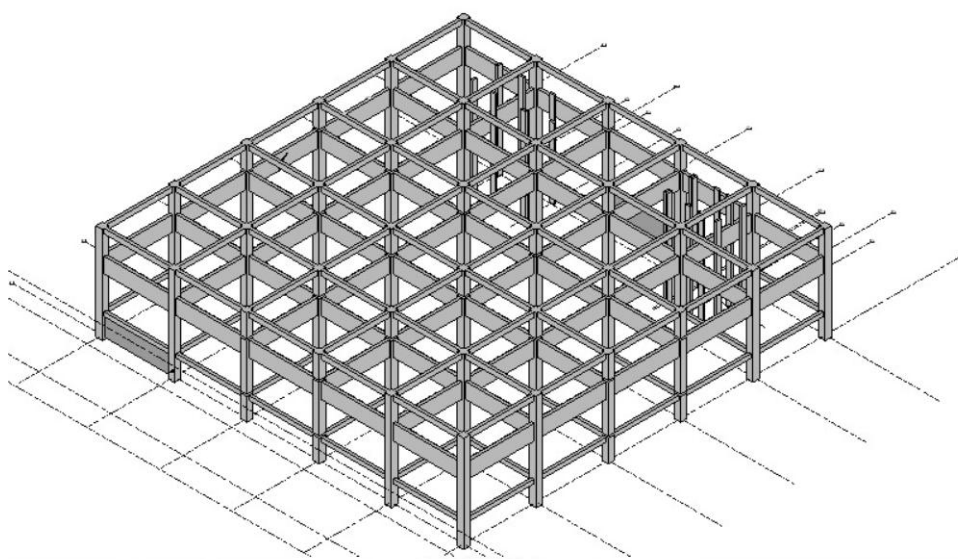


Ilustración 68 Visualización modelo digital sin placas Fuente: Elaboración propia.

9.3.2 Digitalización grafica de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad

De acuerdo con las escalas propuestas por el equipo de trabajo para definir el nivel de vulnerabilidad de acuerdo con los colores establecidos, se realizó la digitalización grafica por sectores para definir el grado de vulnerabilidad.

Cubierta modelo digital con su respectivo grado de vulnerabilidad

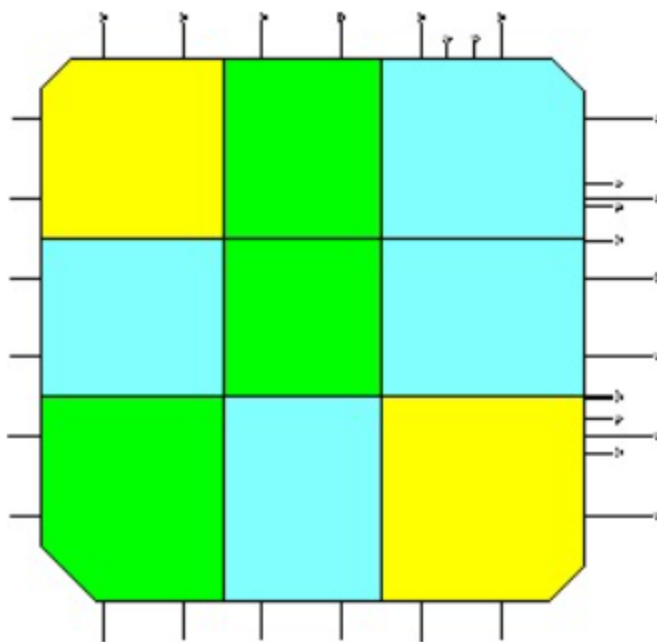


Ilustración 69 Cubierta modelo 3D grado de vulnerabilidad Fuente: Elaboración propia.

Modelo digital 3D visto desde la perspectiva suroriental

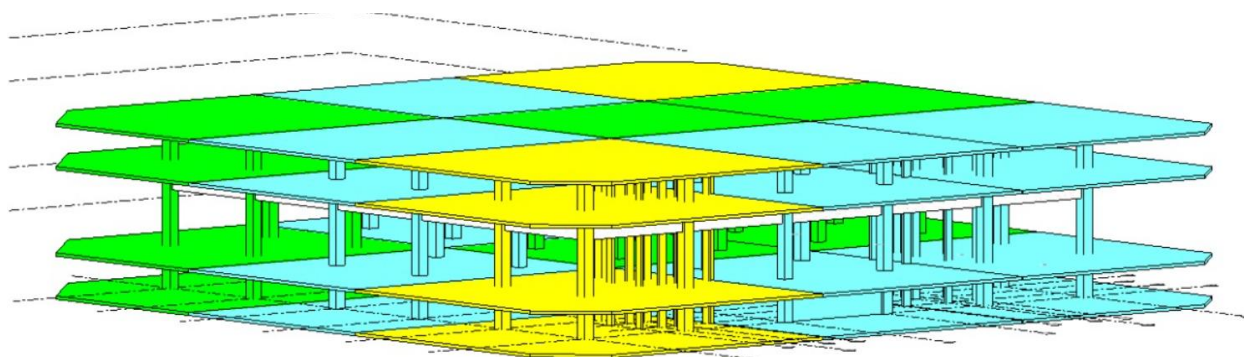


Ilustración 70 perspectiva modelo digital suroriental Fuente: Elaboración propia.

Modelo digital 3D visto desde su perspectiva noroccidental

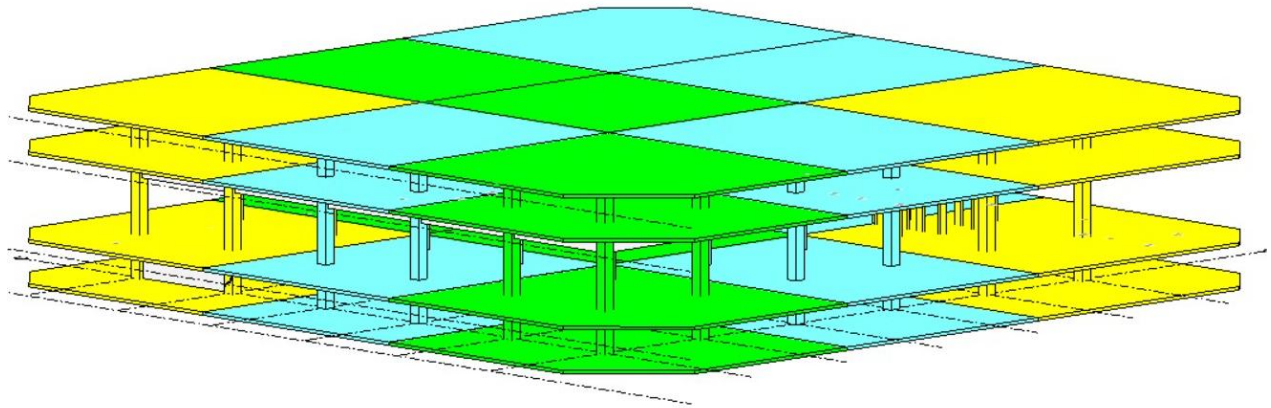


Ilustración 71 Modelo digital perspectiva noroccidental Fuente: Elaboración propia.

9.3.3 Alimentación de patologías dentro del modelo digital

9.3.3.1 Patología presentada en columna

A continuación, se dará a presentar como se identificó una patología dentro de una columna en modelo digital, dando a conocer su localización, tipo de patología y la recomendación técnica para su rehabilitación

Identificación de patología y localización de la columna

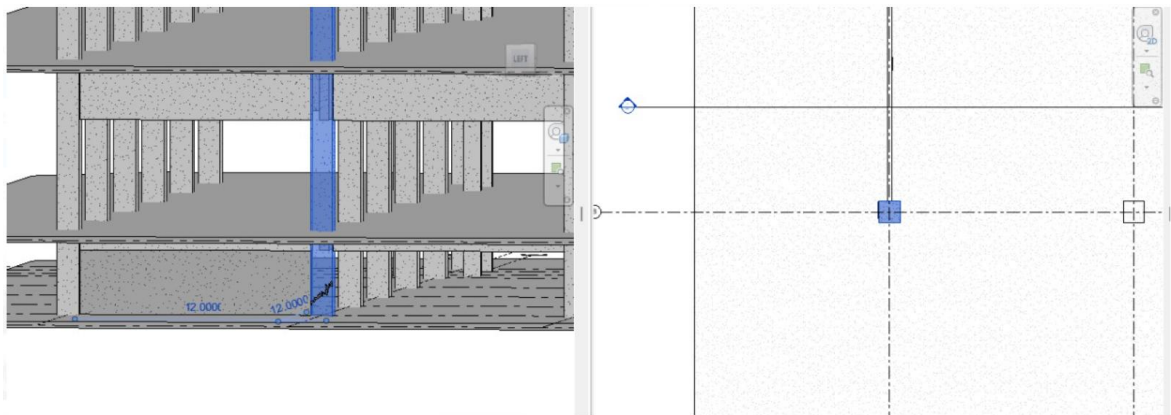


Ilustración 72 patología y localización de la columna Fuente: Elaboración propia.

Recomendación técnica para rehabilitación de la patología presentada en la columna

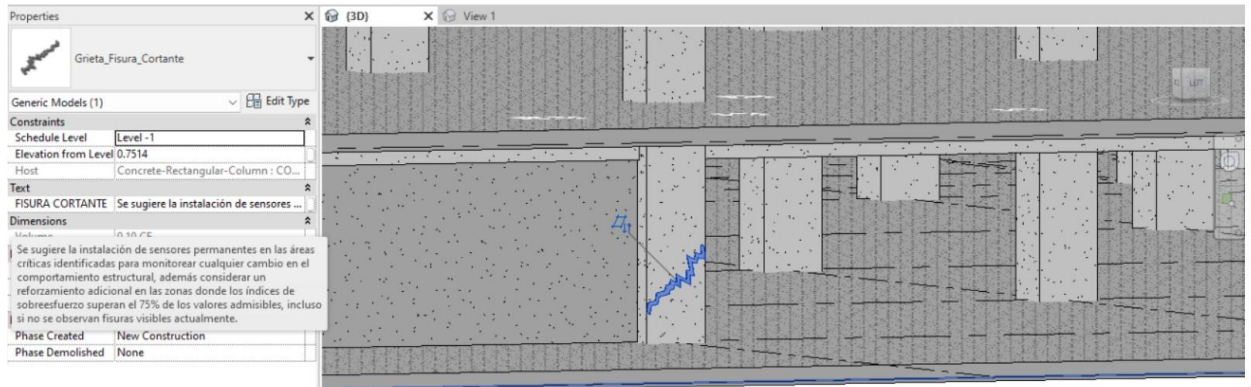


Ilustración 73 Recomendación técnica patología presentada en la columna Fuente: Elaboración propia.

9.3.3.2 Patología presentada en viga

A continuación, se dará a presentar como se identificó una patología dentro de una viga en modelo digital, dando a conocer su localización, tipo de patología y la recomendación técnica para su rehabilitación

Identificación de patología y localización de la viga

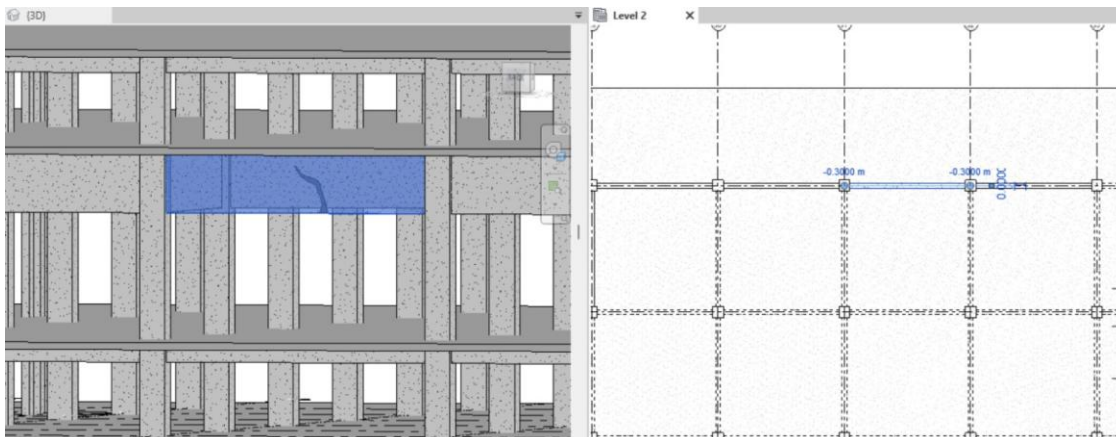


Ilustración 74 Identificación de patología y localización de la viga Fuente: Elaboración propia.

Vista en corte de la patología identificada en la viga

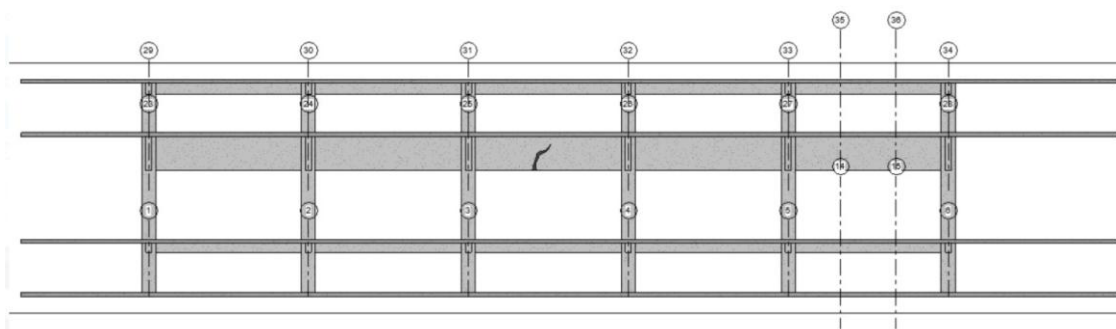


Ilustración 75 Vista a corte de la patología identificada en la viga Fuente: Elaboración propia.

Resumen gráfico de la evaluación sectorial mediante diagrama radial

La siguiente ilustración muestra un análisis comparativo entre sectores del edificio, a partir de cinco criterios técnicos clave. Este diagrama facilita la identificación de brechas o fortalezas en cada zona y apoya la priorización de intervenciones.

Tabla 33 Resumen de Sectorización. Fuente: Elaboración propia.

Categoría	Sector 1	Sector 2	Sector 3
<i>Vulnerabilidad estructural</i>	3	4	2
<i>Accesibilidad</i>	4	3	2
<i>Condiciones del terreno</i>	2	3	4
<i>Cumplimiento normativo</i>	3	4	5
<i>Información disponible</i>	5	2	3

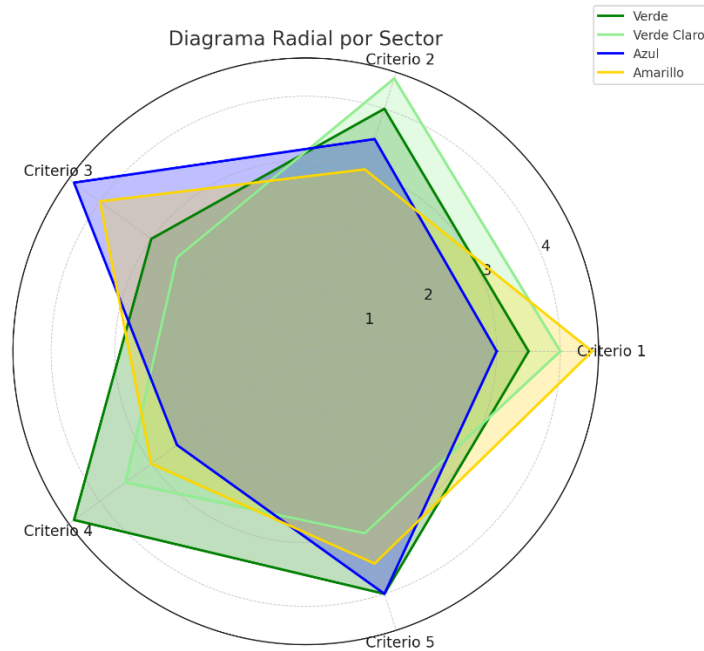


Ilustración 76 Recomendación técnica para rehabilitación de patología en viga. Fuente: Elaboración propia.

Análisis e Interpretación de Resultados

Uno de los principales aportes de este trabajo fue transformar una base de información limitada y dispersa en una fuente organizada, clara y funcional para el análisis estructural de una edificación institucional existente. Al inicio del proceso, gran parte de los datos se encontraba en formato físico, incompleto o con deficiencias en cuanto a precisión y trazabilidad. Esta situación es común en edificaciones que fueron construidas antes de la adopción de herramientas digitales o que no cuentan con un archivo técnico actualizado. Frente a este panorama, la aplicación de una metodología apoyada en Building Information Modeling (BIM) permitió superar dichas barreras y generar un modelo tridimensional enriquecido con información estructural, normativa y visual.

Gracias a este modelo, se logró representar con fidelidad la geometría de la edificación y asociar datos clave como los materiales utilizados, las dimensiones de los elementos, las patologías observadas durante el levantamiento en campo y el nivel de cumplimiento frente a la normativa sísmica vigente (NSR-10). Esta consolidación de la información facilitó un análisis integral que no habría sido posible bajo un enfoque tradicional. Más allá de la visualización gráfica, el modelo

sirvió como un eje articulador que permitió integrar múltiples fuentes de información, estandarizar criterios de evaluación y documentar de forma precisa el estado actual del inmueble.

Un componente esencial dentro de la metodología fue la sectorización del edificio. Dividir la estructura por niveles y colores respondió no solo a una necesidad organizativa, sino también a un enfoque de análisis progresivo que facilitara tanto la recolección como la interpretación de la información. Cada sector fue definido con base en características geométricas y funcionales, y se le asignó una identificación visual que permitió su análisis comparativo. Esta organización se plasmó en una tabla resumen y en un diagrama radial, en los cuales se evaluaron cinco criterios fundamentales para el diagnóstico estructural: vulnerabilidad estructural, accesibilidad, condiciones del terreno, cumplimiento normativo e información disponible.

El análisis del diagrama radial permitió identificar contrastes marcados entre los sectores evaluados. El Sector 1 (color verde), ubicado en una zona estructuralmente activa, evidenció un comportamiento equilibrado en la mayoría de los criterios, aunque se identificó una debilidad puntual en las condiciones del terreno, posiblemente debido a la presencia de rellenos o materiales de baja resistencia. El Sector 2 (verde claro) se destacó por su accesibilidad y alineación con los requisitos normativos, pero mostró una carencia significativa de documentación estructural consolidada, lo cual dificulta el análisis técnico detallado. El Sector 3 (azul) presentó buenas condiciones geotécnicas, sin embargo, su accesibilidad es limitada y existen deficiencias respecto al cumplimiento de la normativa sísmica. Finalmente, el Sector 4 (amarillo), a pesar de contar con una base documental robusta, presentó síntomas estructurales que podrían representar un riesgo si no se interviene oportunamente.

Este tipo de análisis permitió no solo identificar el estado general del edificio, sino también establecer prioridades de intervención claras. A partir de la información sistematizada, se propusieron las siguientes acciones específicas por sector:

- Sector 1: realizar estudios geotécnicos complementarios para verificar la capacidad portante y evaluar la necesidad de refuerzo estructural.
- Sector 2: completar el proceso de digitalización y validación de planos, incorporando los elementos faltantes en el modelo BIM.
- Sector 3: diseñar un plan de adecuación normativa que incluya rutas de evacuación, accesos seguros y mejoramiento de elementos no estructurales.
- Sector 4: ejecutar intervenciones estructurales orientadas a corregir las debilidades detectadas, priorizando zonas críticas.

La representación gráfica mediante el diagrama radial y el modelo BIM no solo optimizó la comprensión técnica por parte del equipo profesional, sino que también permitió establecer un lenguaje común con los actores involucrados, incluyendo personal administrativo, entidades públicas y posibles financiadores de futuras intervenciones. Esta capacidad de visualización y comunicación clara es uno de los principales aportes de la metodología implementada, ya que permite transformar información técnica compleja en una herramienta de gestión accesible y eficaz.

Además, la integración de los hallazgos en un entorno BIM contribuyó a fortalecer la trazabilidad del proyecto, permitiendo registrar decisiones, validar hipótesis y planificar intervenciones futuras con una base técnica sólida. Esta trazabilidad también facilita la actualización continua del modelo a medida que se implementen mejoras o se obtenga nueva

información del edificio, convirtiéndolo en una herramienta viva al servicio de la gestión del riesgo estructural.

En síntesis, el análisis de resultados confirma que la metodología utilizada no solo permite un diagnóstico detallado de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes, sino que también aporta herramientas concretas para intervenirlas, gestionarlas y monitorearlas de forma efectiva. En contextos como el de Bogotá, donde muchas edificaciones institucionales no cuentan con documentación técnica adecuada ni con procesos de mantenimiento estructurado, esta propuesta se convierte en una oportunidad para avanzar hacia una gestión preventiva, informada y sostenible del patrimonio construido.

Recomendación técnica para rehabilitación de la patología presentada en la columna

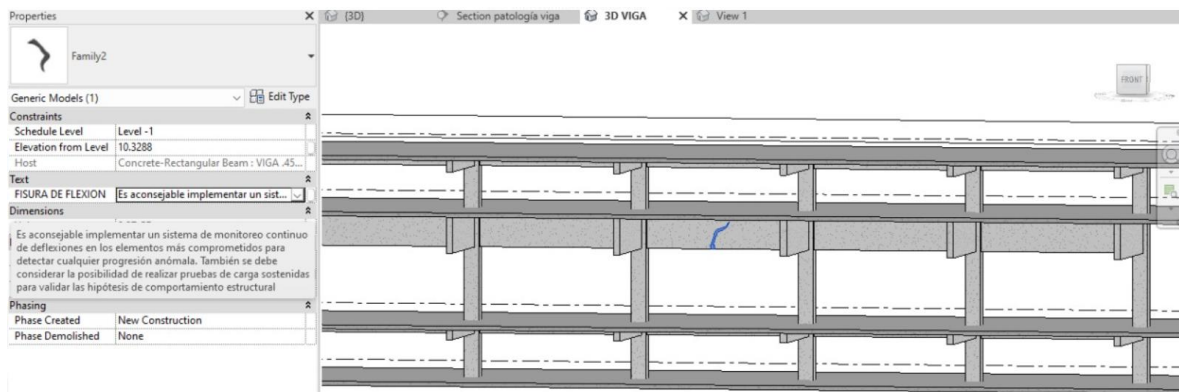


Ilustración 77 Recomendación técnica para rehabilitación de patología en viga Fuente: Elaboración propia.

9.3.3.3 Patología presentada en muro

A continuación, se dará a presentar como se identificó una patología dentro de un muro en modelo digital, dando a conocer su localización, tipo de patología y la recomendación técnica para su rehabilitación

Identificación de patología y localización del muro

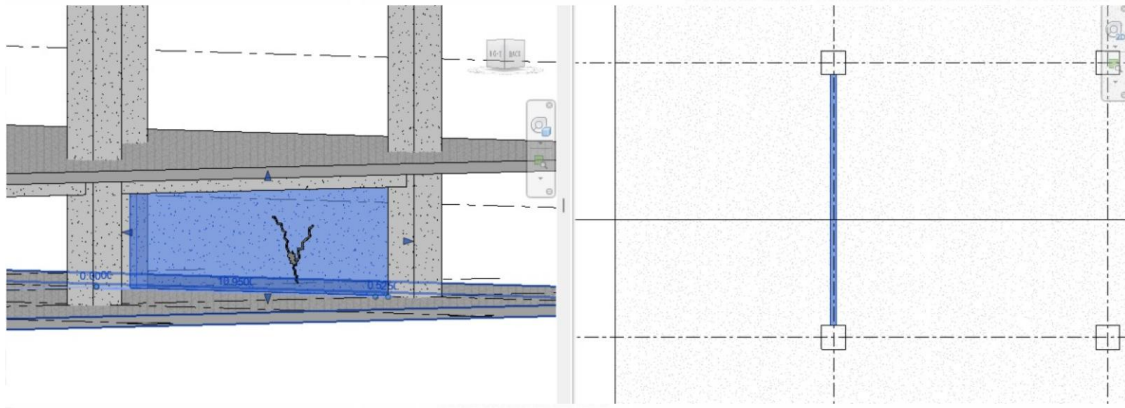


Ilustración 78 Identificación de patología y localización del muro. Fuente: Elaboración propia.

Recomendación técnica para rehabilitación de la patología presentada en el muro

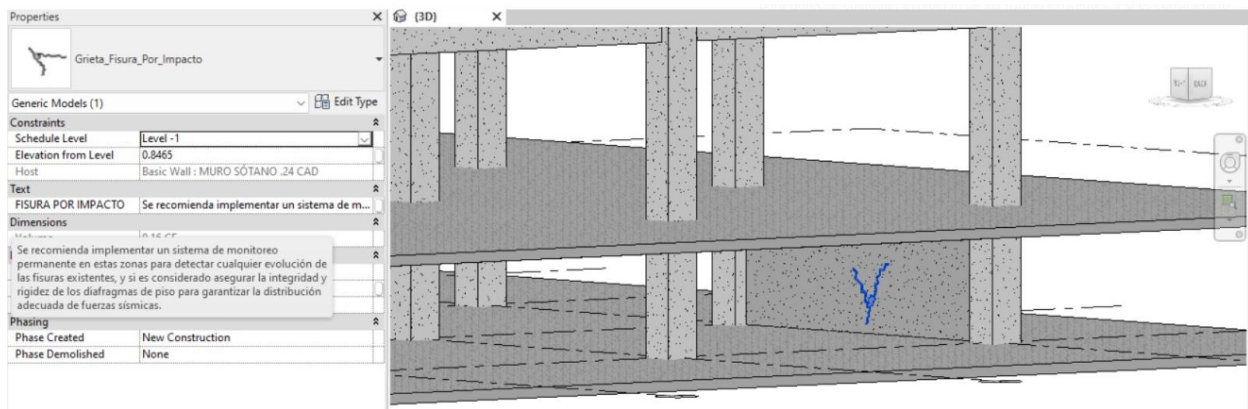


Ilustración 79 Recomendación técnica rehabilitación patología muro. Fuente: Elaboración propia.

9.4 Modelo fachada de dron

El modelo fue desarrollado a partir de imágenes tomadas con el dron antes descrito, el levantamiento sirvió de ayuda para definir la sectorización de la edificación, además de poder tener una mejor vista para la inspección de la fachada y las posibles patologías que podía presentar en el exterior, a continuación, presentamos unas pocas imágenes de la edificación que se tomaron el día de vuelo, se resalta que el resto de las imágenes y videos de los vuelos se encuentran en el Anexo 9. Imágenes aéreas tomadas con el dron:



Ilustración 80 Vista nororiental en vuelo. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 81 Vista suroccidental en vuelo. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 82 Vista noroccidental de vuelo. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 83 Vista suroriental de vuelo. Fuente: Elaboración propia.

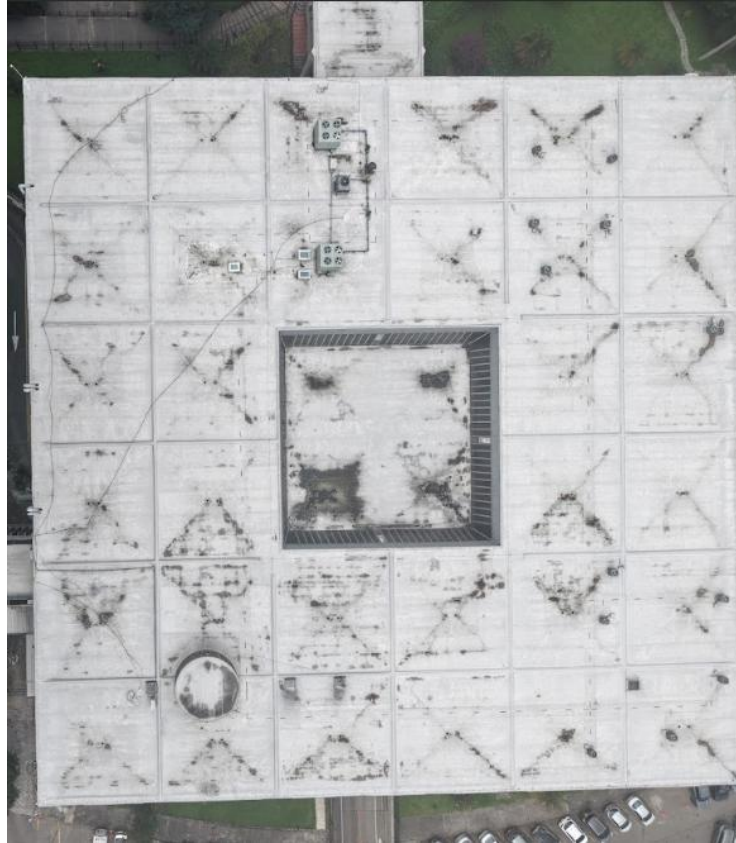
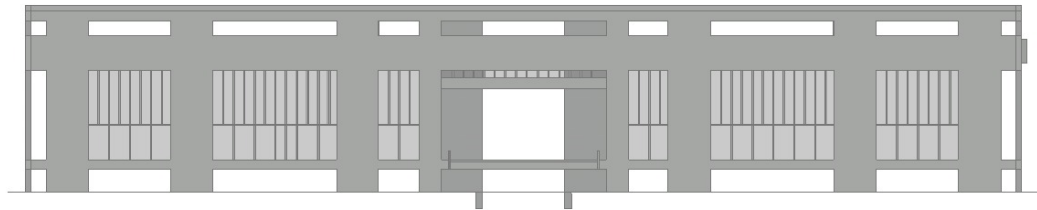


Ilustración 84 Vista en planta de la edificación. Fuente: Elaboración propia.



9.5 Cuadro de recomendaciones

Tabla 34 Clasificación y análisis de patologías Fuente: Elaboración propia.

CLASIFICACIÓN Y ANALISIS DE PATOLOGÍAS				
Clasificación NSR-10 Título A.	Tipo de fisura	Explicación inspección técnica y visual	Intervención realizada	Recomendaciones

Sismos que la pueden haber afectado	Fisuras por Impacto	Identificadas mediante la extracción de núcleos o inspección visual muestran una dependencia geométrica del trazado que se evidencia claramente en los altos índices de cortante (con valores que llegan hasta 2.38). Los núcleos extraídos revelan discontinuidades internas que no son apreciables superficialmente, mientras que la inspección visual ha permitido identificar patrones característicos de impacto sísmico, como fisuras diagonales que atraviesan elementos estructurales. Estas fisuras tienden a concentrarse en puntos donde hay cambios bruscos de rigidez en la estructura, lo que confirma su origen sísmico.	se realizó un análisis visual considerando una evaluación del contexto estructural, y una extracción de núcleos para analizar los resultados y la posible rigidez degradada de los elementos.	Se recomienda implementar un sistema de monitoreo permanente en estas zonas para detectar cualquier evolución de las fisuras existentes, y si es considerado asegurar la integridad y rigidez de los diafragmas de piso para garantizar la distribución adecuada de fuerzas sísmicas.
	Progresión de fisuras cortantes	Los índices de sobreesfuerzo calculados mediante modelación estructural y análisis computacional han evidenciado zonas donde los esfuerzos cortantes superan algunas de las capacidades de diseño de los elementos estructurales. Estos análisis numéricos han permitido identificar la progresión de fisuras cortantes en elementos críticos. Los resultados son concluyentes y típicos después de movimientos telúricos, mostrando patrones de daño progresivo que evolucionan siguiendo líneas preferentes de esfuerzo.	Se han realizado ensayos de acuerdo con las solicitaciones que pueden indicar posibles escenarios en vértices estructurales que comprometan la integridad del contexto estructural progresivamente, dentro de estos cabe resaltar los índices de sobreesfuerzo obtenidos de los laboratorios suministrados.	se sugiere la instalación de sensores permanentes en las áreas críticas identificadas para monitorear cualquier cambio en el comportamiento estructural, además considerar un reforzamiento adicional en las zonas donde los índices de sobreesfuerzo superan el 75% de los valores admisibles, incluso si no se observan fisuras visibles actualmente.

Fisuración por cambios de temperatura	Fisuras por dilatación	La inspección visual ha revelado un patrón característico de fisuras paralelas a los elementos estructurales, mientras que los ensayos realizados han confirmado la hipótesis de origen térmico. La retracción del material puede haber reducido significativamente la sección efectiva de las barras en hasta un 15-20%, lo que ha amplificado las deformaciones a flexión. Los ensayos de laboratorio realizados en los núcleos extraídos han demostrado una expansión térmica diferencial entre los diferentes materiales componentes, creando tensiones internas que se manifiestan como fisuras visibles.	Se ha observado que la pérdida de adherencia entre el concreto y el acero, juntamente con la retracción del hormigón y armaduras superiores, esto con de acuerdo con la inspección visual y las visitas técnicas al obtener resultados de los índices de sobreesfuerzo a flexión	Se recomienda implementar un sistema de control térmico para reducir las fluctuaciones extremas de temperatura, especialmente en las áreas más expuestas. Además, se sugiere aplicar revestimientos especiales con propiedades de aislamiento térmico para minimizar la transferencia de calor a los elementos estructurales.
	Fisuras por capilaridad	La inspección visual ha permitido identificar fisuras finas y ramificadas que siguen patrones irregulares, característicos de la capilaridad en materiales porosos. El patrón de fallos observado se contiene principalmente en traslaciones horizontales típicas, lo que sugiere un mecanismo de transporte de humedad a través de la estructura porosa del material. Estas fisuras suelen ser más evidentes en zonas con exposición directa a la humedad o en áreas donde hay fluctuaciones significativas en el contenido de humedad.	Se hace la observación de que la contracción de chapas por incremento térmico ha inducido desplazamientos secundarios, especialmente en discontinuidades por cambios fisicoquímicos de los materiales ya sean superficiales o estructurales como tal.	Se recomienda mejorar el sistema de ventilación para controlar los niveles de humedad en el ambiente. Es aconsejable mejorar la impermeabilización de las superficies expuestas.

Corrosión de las armaduras	Fisuras por carbonatación	Los ensayos de carbonatación realizados mediante el indicador de fenolftaleína han mostrado una profundidad de carbonatación en algunos núcleos que ha alcanzado las armaduras en algunos puntos. Las tensiones previamente establecidas a través de transformaciones de elementos compuestos han generado deterioros que, aunque está en una escala baja de vulnerabilidad pueden ser progresivos. El avance del frente de carbonatación, evidenciado por el cambio de color del indicador, demuestra que el pH del concreto ha descendido en las zonas afectadas, lo que significa que se está eliminando la protección pasiva del acero.	se llevó a cabo un análisis del ensayo de carbonatación de los núcleos extraídos, con el objetivo de evaluar la profundidad y el grado de carbonatación en el concreto. Este análisis permitió determinar la extensión de la carbonatación y su impacto en la durabilidad y la resistencia del material, lo que a su vez facilitó la identificación de las áreas más afectadas.	Se recomienda realizar un mapeo completo de la carbonatación en toda la estructura para identificar zonas de riesgo antes de que desarrollen más fisuras visibles. Es aconsejable aplicar revestimientos anticarbonatación en las superficies expuestas para reducir la velocidad de ingreso de CO₂.
	Fisuras por corrosión de armaduras	Los ensayos de carbonatación han revelado que la corrosión activa de las armaduras está directamente relacionada con la pérdida de alcalinidad del concreto circundante. Las fisuras observadas siguen el trazado de las armaduras y presentan óxido visible en sus labios, lo que confirma el mecanismo corrosivo. La medición del potencial electroquímico ha mostrado algunos valores negativos en las zonas fisuradas, indicando actividad corrosiva.	Mediante el ensayo de carbonatación, se evaluaron los núcleos extraídos para detectar posibles fisuras causadas por la corrosión de las armaduras, al analizar los resultados del ensayo, se pudo determinar si la corrosión de las armaduras había generado fisuras en el concreto.	Se recomienda realizar inspecciones periódicas con técnicas no destructivas (como ultrasonido o termografía) para monitorear la evolución de la corrosión en áreas críticas. Es aconsejable considerar un reforzamiento estructural en elementos donde la pérdida de sección de armadura supere el 15% de la sección original.

Asentamientos diferenciales	Fisuras por asentamientos	La inspección visual ha revelado fisuras características en forma de escalera en muros o diagonales en esquinas de aberturas, patrones típicos de asentamientos diferenciales. El análisis de los índices cortantes calculados a partir de los modelos estructurales confirma concentraciones de esfuerzo en las zonas donde se han manifestado estas fisuras. Los ciclos repetitivos de carga han podido deteriorar progresivamente la adherencia entre el acero y el concreto, exacerbando el problema.	Se realizaron inspecciones visuales en la estructura, en las que se pudieron evidenciar asentamientos diferenciales que indicaban posibles problemas de estabilidad y equilibrio. Además, se analizaron los índices cortantes obtenidos a partir de los modelos estructurales suministrados por la empresa, lo que permitió evaluar la capacidad de la estructura para resistir cargas y esfuerzos. Los resultados de estas inspecciones y análisis proporcionaron información para identificar las áreas afectadas	Se debe considerar la implementación de juntas estructurales adicionales en puntos estratégicos para permitir movimientos diferenciales sin generar esfuerzos excesivos en la estructura.
	Nido de fisuras	La inspección visual ha identificado concentraciones de fisuras interconectadas que forman patrones similares a redes o nidos, típicamente asociadas con defectos localizados en la colocación del concreto. La segregación del concreto durante la construcción se presenta como la causa más probable, aunque existen otras causas de menor incidencia que también podrían contribuir. Estos nidos de fisuras suelen aparecer en zonas con alta densidad de armadura o en puntos donde el vibrado del concreto fue insuficiente durante la construcción.	Durante la inspección visual, se observaron nidos de fisuras en la estructura, lo que sugiere que los asentamientos diferenciales pueden ser la causa probable de estos daños. Los asentamientos diferenciales pueden generar tensiones y deformaciones en la estructura, lo que a su vez puede provocar la formación de fisuras en áreas localizadas, como se observó en este caso.	Es aconsejable implementar un programa de mantenimiento preventivo con inspecciones periódicas enfocadas en estas áreas.

Reformas	Fisuras sin rozamiento	La inspección visual ha identificado fisuras limpias con bordes bien definidos y sin signos de abrasión entre sus caras, lo que indica la ausencia de rozamiento. Estas fisuras se concentran principalmente en zonas asociadas a niveles de esfuerzos diferentes, donde se generan discontinuidades estructurales. Este tipo de fisuras suelen aparecer repentinamente y no muestran signos de progresión gradual, lo que sugiere que son el resultado de eventos puntuales como modificaciones estructurales o redistribuciones en las cargas esperadas.	Durante la inspección visual, se observaron fisuras sin rozamiento en la estructura, lo que sugiere que las reformas y modificaciones realizadas en el edificio pueden ser la causa probable de estos daños. Las reformas pueden haber generado cambios en la distribución de cargas y tensiones en la estructura.	Revisar las cargas de diseño considerando las modificaciones realizadas durante las reformas para asegurar que no se excedan las capacidades de los elementos estructurales. También se debe considerar la implementación de refuerzos adicionales en puntos de concentración de esfuerzos identificados durante el análisis estructural entregado.
Deflexiones excesivas	Progresión de fisuras de flexión	Los índices de sobreesfuerzo calculados mediante análisis estructural han permitido identificar elementos sometidos a momentos flectores que superan su capacidad de diseño. Las fisuras observadas presentan un patrón característico perpendicular al eje del elemento en las zonas de máxima tracción que no están dentro del límite, típico de fallos por flexión.	La empresa suministró resultados de los índices de sobreesfuerzo, los cuales fueron analizados y se encontró que la progresión de fisuras de flexión (las deflexiones excesivas) observadas en la estructura estaban directamente relacionadas con los niveles de sobreesfuerzo detectados.	Es aconsejable implementar un sistema de monitoreo continuo de deflexiones en los elementos más comprometidos para detectar cualquier progresión anómala. También se debe considerar la posibilidad de realizar pruebas de carga sostenidas para validar las hipótesis de comportamiento estructural

Estado de elementos de union	Fisuras por punzonamiento	La extracción de núcleos en las zonas afectadas ha revelado fisuras internas con patrón cónico característico del fenómeno de punzonamiento. Estos núcleos muestran claramente la progresión de las fisuras desde la interfaz de los elementos conectados hacia el interior del material, formando el típico cono de punzonamiento. Las placas sin refuerzo a compresión en el conjunto de componentes fallados han evidenciado una deficiencia en el diseño original que ha facilitado la aparición de este tipo de fallo.	La empresa suministró resultados de los ensayos de extracción de núcleos, regatas, ferroscon y esclerómetro, los cuales revelaron por sus resultados que probablemente la poca presencia de fisuras por punzonamiento en la estructura, se daban por algunos límites sin respetarse.	Es aconsejable implementar un programa de inspección periódica enfocado específicamente en los elementos de unión para detectar tempranamente cualquier signo de fallo por punzonamiento. También se debe considerar la posibilidad de reducir las cargas en las zonas más comprometidas o redistribuirlas mediante elementos estructurales adicionales.
-------------------------------------	---------------------------	--	---	---

9.6 Estimación de Costos de Intervención

Con el objetivo de dimensionar el alcance financiero de las acciones recomendadas, se presenta a continuación una estimación preliminar de costos por sector, basada en el área total aproximada del edificio y la intervención proyectada en sectores específicos equivalentes al 70% del total construido. Estos valores han sido calculados en pesos colombianos (COP) y reflejan precios aproximados según el tipo de intervención, el volumen de trabajo requerido y las condiciones técnicas del edificio:

Sector 1 – Estudios geotécnicos: Se contempla la realización de varios sondeos a profundidades diferenciadas, ensayos de laboratorio, análisis técnico especializado, transporte de maquinaria y procesamiento de resultados. Se estima esta actividad para toda la base del edificio, equivalente a 1.200 m². Costo estimado: \$150.000.000 COP.

Sector 2 – Digitalización y modelado estructural: Incluye el levantamiento físico detallado, escaneo 3D, vectorización avanzada en CAD, compatibilización con el modelo BIM, y validación técnica de aproximadamente 35 planos estructurales. Esta intervención abarca un 100% del modelo digital. Costo estimado: \$210.000.000 COP.

Sector 3 – Mejoras en accesibilidad y adecuaciones normativas: Comprende la adecuación de rutas de evacuación, rampas, barandas, señalización interna, readecuación de puertas y cambios menores en zonas de circulación vertical. Abarca un 50% del edificio intervenido (600 m²). Costo estimado: \$270.000.000 COP.

Sector 4 – Refuerzo estructural localizado: Incluye intervención con técnicas mixtas sobre aproximadamente 600 m² de área afectada (encamisado, refuerzo con platinas, reparación de grietas e inyecciones estructurales), además de supervisión técnica, control de calidad y materiales especializados. Costo estimado: \$670.000.000 COP.

Total estimado de intervención: \$1.300.000.000 COP.

Estos valores permiten establecer un marco financiero claro para la toma de decisiones, así como justificar la búsqueda de recursos ante entidades públicas o privadas interesadas en la conservación del patrimonio institucional. Además, esta estimación constituye un insumo valioso para la programación futura de actividades, ya que ofrece un punto de partida para la elaboración de presupuestos detallados y cronogramas de ejecución. Los valores aquí presentados corresponden a precios de mercado promedio en 2025 y están sujetos a ajustes según el contratista, las condiciones del sitio y la disponibilidad técnica.

Relación Costo-Beneficio

Desde una perspectiva de gestión pública, la intervención propuesta presenta una alta viabilidad cuando se considera la relación costo-beneficio. Actualmente, el edificio alberga oficinas institucionales y administrativas, por lo que su funcionalidad está directamente asociada con la continuidad de servicios esenciales y la seguridad de sus ocupantes. En caso de no ejecutarse las intervenciones estructurales, el edificio podría enfrentar restricciones de uso, evacuaciones preventivas o incluso clausuras temporales por riesgo estructural.

El costo de oportunidad de no intervenir se evidencia, por ejemplo, en el valor de mercado del arriendo en la zona de influencia (Teusaquillo), donde el arriendo mensual de oficinas institucionales oscila entre \$60.000 y \$80.000 COP por metro cuadrado. Para un área útil de 1.200 m², esto representaría entre \$72.000.000 y \$96.000.000 COP mensuales, lo que se traduce en una pérdida potencial de más de \$850.000.000 COP anuales si el edificio quedara inhabilitado. Esto sin considerar el costo adicional de relocalizar personal, readecuar instalaciones temporales y asumir costos logísticos y operativos adicionales.

A este impacto económico directo se suma el costo social asociado al riesgo de siniestros. El colapso parcial o total de una estructura puede conllevar pérdidas humanas, cuya valoración en estudios de impacto gubernamental supera los \$300.000.000 COP por víctima fatal en términos de costos judiciales, reparaciones administrativas, seguros y afectación institucional. Por tanto, la inversión proyectada no solo busca preservar una estructura física, sino evitar escenarios catastróficos que comprometan la vida de funcionarios y usuarios, así como la imagen de la entidad administradora.

En conjunto, el beneficio proyectado al realizar la inversión supera ampliamente el costo de la misma, al asegurar la continuidad del servicio, la seguridad estructural, el cumplimiento

normativo, la reducción del riesgo jurídico y financiero, y la valorización patrimonial del inmueble institucional.

Relación B/C = Beneficio estimado anual (\$850.000.000 COP + seguridad institucional) / Costo total de intervención (\$1.300.000.000 COP) ≈ 0.65 + externalidades positivas

Esta relación indica que, incluso sin cuantificar todas las externalidades sociales y operativas positivas, el beneficio potencial a corto y mediano plazo justifica plenamente la inversión.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación de la metodología BIM para el análisis de vulnerabilidad sísmica del edificio administrativo generará diversos productos técnicos y documentales que contribuirán significativamente al campo de la ingeniería. El principal resultado será un manual metodológico integral que establecerá los procedimientos sistemáticos para la evaluación de vulnerabilidad sísmica utilizando tecnología BIM, fundamentado en la normativa NSR-10.

Este manual técnico constituirá una herramienta fundamental para profesionales e investigadores del sector, al proporcionar una guía detallada sobre la integración de tecnologías digitales en el análisis estructural. El documento incluirá protocolos específicos de modelado, criterios de evaluación y procedimientos de análisis que permitirán replicar la metodología en proyectos similares.

El modelo desarrollado del edificio administrativo representará fielmente la configuración geométrica y estructural del edificio, incorporando información detallada sobre elementos estructurales, propiedades de materiales y condiciones de carga. Este modelo servirá como base

para futuros estudios y evaluaciones, permitiendo análisis dinámicos más precisos y actualizaciones según las necesidades del proyecto.

La evaluación integral del estado actual de la estructura proporcionará un diagnóstico técnico-científico exhaustivo que trascenderá la simple inspección visual. Este diagnóstico incluirá la identificación sistemática de vulnerabilidades estructurales, análisis de patologías existentes y evaluación de la capacidad sismorresistente del edificio, respaldado por simulaciones computacionales y cálculos estructurales detallados. El análisis comparativo multidimensional establecerá referencias claras entre el estado actual de la estructura y los requerimientos de la normativa vigente. Este estudio permitirá determinar el nivel de cumplimiento con los estándares actuales de sismorresistencia y proporcionará una base técnica para la toma de decisiones sobre futuras intervenciones estructurales.

La documentación generada durante el desarrollo del proyecto servirá como referente para futuras investigaciones en el campo de la evaluación estructural mediante tecnologías BIM. Los procedimientos establecidos y las lecciones aprendidas contribuirán al desarrollo de mejores prácticas en la industria de la construcción, especialmente en proyectos de rehabilitación y reforzamiento estructural. La integración de los resultados en una plataforma BIM facilitará la gestión y actualización continua de la información estructural del edificio. Este sistema permitirá mantener un registro actualizado de las condiciones estructurales, facilitando futuras evaluaciones y planificación de mantenimiento preventivo.

El valor agregado de este trabajo radica en su capacidad para establecer un precedente metodológico en la evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes mediante tecnologías BIM en Colombia. Los resultados no solo beneficiarán al edificio administrativo, sino

que también servirán como referencia para proyectos similares en otras edificaciones gubernamentales y privadas.

De acuerdo con los resultados de laboratorio la calidad de los materiales en cuanto resistencia a la compresión y módulos de elasticidad es adecuado y está en concordancia con lo estipulado en los planos de diseño inicial y de reforzamiento.

Con base en los análisis de carbonatación realizados en los núcleos de concreto el perfil de carbonatación que se encuentra en los muros estructurales y columnas de sótano se encuentra entre 0 y 5.3cm. Si bien el hecho de que la carbonatación haya llegado a la profundidad donde se encuentra el acero de refuerzo no quiere decir que este se encuentre corroído, sino que junto con otros agentes como el agua y el dióxido de carbono de los sótanos podría darse el ambiente ideal para empezar el proceso de corrosión. En este sentido se recomienda aplicar pintura anti-carbonatación a los elementos del semisótano columnas y placas.

Respecto a los muros estructurales de fachada en teoría también requeriría la aplicación de esta pintura, sin embargo, en este caso como se debe aumentar la resistencia de estos elementos muy probablemente con un recalde, no sería necesario aplicar la pintura puesto que en el desarrollo de un futuro reforzamiento se escarifica la parte carbonatada y se funde concreto nuevo conforme lo determine el análisis de reforzamiento.

Se observa que el punto fijo de cubierta construido en mampostería simple se encuentra fisurado posiblemente producto de los asentamientos de la estructura. Se recomienda construir unas columnetas cada 1.50m en la parte interior de los muros con el fin de darle ductilidad y evitar mayor fisuramiento en los muros.

La estructura cumple con los criterios de desplazamiento permitidos por el reglamento NSR-10 teniendo un índice de flexibilidad de 0.30.

De acuerdo con los análisis realizados, la estructura está en capacidad de soportar las acciones verticales o gravitacionales. Sin embargo, con base en los índices de sobreesfuerzo reportados para los muros estructurales y vigas del perímetro de la estructura se requiere aumentar la capacidad de estos elementos y desarrollar un análisis de reforzamiento de la estructura que permita dar cumplimiento a los requisitos del reglamento colombiano sismorresistente NSR-10.

Una de las posibles soluciones para reforzar la estructura, es incrementar la inercia de la viga de primer nivel similar a la de segundo nivel de tal forma que las fuerzas sísmicas se distribuyan de mejor forma; adicionalmente recalzar las vigas del perímetro de la edificación y por último adicionar elementos de borde a los muros estructurales que permitan darle a la estructura la ductilidad requerida de acuerdo con las solicitaciones sísmicas.

11 BIBLIOGRAFÍA

- (AIS), A. C. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. AIS.
- 10137, I. S. (2023). Bases for design of structures - Serviceability of buildings and walkways against vibrations. ISO.
- 224., A. C. (2022). Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224R-22). American Concrete Institute.
- 562-19), A. C. (2019). Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary .

- 7-16., A. (s.f.). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
- Acuerdo 790 de 2020. Por el cual se declara la emergencia climática en Bogotá D.C. Concejo de Bogotá D.C. (s.f.).
- Autodesk. (2023). Revit user's guide: Understanding basic concepts. Autodesk Knowledge Network.
- Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., & Polder, R. (2020). Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair (3rd ed.). Wiley-VCH.
- Bomberos. (2022). PATOLOGÍA Y LESIONES DE LA EDIFICACIÓN. TESTBOMBEROS, 24.
- Botero, L. F., & Acevedo, H. (2011). Simulación digital de procesos de construcción de estructura en concreto: casos de estudio práctico en Medellín. Revista Ingeniería de Construcción.
- CAMACOL. (2016). Consideraciones para la implementación de BIM en empresas constructoras. Cámara Colombiana de la Construcción.
- CAMACOL. (2021). Impacto de la pandemia COVID-19 en la digitalización del sector constructor colombiano.
- Carrillo, J., Aperador, W., & Echeverri, F. (2013). Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social. .
- Chen, J., Liu, W., & Zhang, Y. (2021). Structural Dynamics in Architectural and Building Design (3rd ed.). Springer International.

- Chen, W. F., & Duan, L. (2019). Bridge Engineering Handbook: Construction and Maintenance (2nd ed.). CRC Press.
- Colombia., B. F. (2018). Guía de implementación BIM para empresas constructoras y desarrolladoras. CAMACOL.
- Colombia., B. F. (2023). Guía para la implementación de BIM en proyectos con requerimientos sísmicos especiales. .
- Colombiano, S. G. (2012). Metodología para la evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. SGC.
- Decreto 531 de 2010. Alcaldía Mayor de Bogotá. (s.f.).
- DJI. (2024). Manual De Usuario DJI AIR 3S. China: DJI.
- Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, K. (2022). BIM handbook: A guide to building information modeling (3ra ed.).
- Econova . (s. f.). Institute of architecture and engineering. Diferencia entre metodología BIM y metodología tradicional en la construcción.
- Estructural, I. d. (2021). Guía para la Evaluación y Reforzamiento de Estructuras. IIE Publicaciones Técnicas.
- Estructural., I. d. (2023). Guía para la Evaluación y Control de Vibraciones en Estructuras. IIE Publicaciones Técnicas.
- Geológico, S. (2019). Integración de modelos digitales para evaluación de riesgo sísmico urbano. .

- González, V. (2019). Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales mediante integración BIM-FEM [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN.
- Greenwood, W., Lynch, P., & Zekkos, D. (2019). Applications of UAVs in Civil Infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*.
- group, s. (2023). Los Factores de Fracaso y Éxito en un proyecto de desarrollo de Software. standish group.
- Ingeniería, R. (2022). Drones: Transformación en la inspección de infraestructuras. Obtenido de <https://www.revistasingenieria.co>
- INVIAS. (s.f.). Norma Colombiana de Diseño de Puentes (INVIAS) .
- Ley 1333 de 2009. Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Congreso de Colombia. (s.f.).
- MacGregor, J. G., & Wight, J. K. (2021). Reinforced Concrete: Mechanics and Design (7th ed.). Pearson Education.
- Maldonado, N., Chio, G., & Gómez, I. (2011). Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones históricas en el departamento de Santander. *Revista UIS Ingenierías*.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2021). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Monjo Carrio , J., & Maldonados Ramos, L. (2001). Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas . Madrid: Universidad Politécnica de Madrid .

- Moreno Monsalve, N. A. (2016). Introducción a la gerencia de proyectos: conceptos y aplicación. Bogotá: Ediciones EAN.
- Murray, T. M., & Allen, D. E. (2022). Design Guide 11: Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity (2nd ed.). .
- Nacional., M. d. (2023). Informe de programas académicos relacionados con BIM en instituciones de educación superior. MEN.
- Nilson, A. H. (2001). Diseño de Estructuras de Concreto.
- Nilson, A. H. (2023). Design of Concrete Structures (16th ed.). McGraw-Hill Education.
- NSR-10. (s.f.). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
- p, & s. (2019). Patologías en edificaciones: cuáles son las más frecuentes y cómo se originan. El Blog de la ventilación eficiente.
- Park, R., & Paulay, T. (2020). Reinforced Concrete Structures: Analysis and Design (3rd ed.).
- Parrott, L. J. (2018). A Review of Carbonation in Reinforced Concrete. British Cement Association.
- Paz, M. (1991). Structural Dynamics: Theory and Computation. Editorial Chapman & Hall.
- Planeación., D. N. (2020). Plan de implementación de la Estrategia Nacional BIM Colombia. DNP.
- Powers, T. C., & Helmuth, R. A. (2019). Theory of Volume Changes in Hardened Portland-Cement Paste During Freezing. Highway Research Board.

- República., L. (2023). El uso de drones en la ingeniería civil en Colombia. Obtenido de <https://www.larepublica.co>
- República., P. d. (2020). Lanzamiento oficial de la Estrategia Nacional BIM Colombia. .
- Resolución 1115 de 2012. Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.).
- Resolución 1138 de 2013. Por la cual se adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de la Construcción. Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.).
- Resolución 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.).
- Resolución 3957 de 2009. Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.).
- Resolución 6918 de 2010. Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.).
- Resolución 909 de 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (s.f.).
- Resolución 932 de 2015. Por la cual se modifica y adiciona la Resolución 1115 de 2012. Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.).
- Rodolfo Siles, P., & Ernesto Mondelo, P. (2018). Herramientas y técnicas para la gestión de proyectos de desarrollo. BID; INDES: PMA.
- Salazar, J. A. (2024). La capacitación de operadores de drones en la ingeniería civil colombiana. (E. Tiempo, Entrevistador) Obtenido de <https://www.eltiempo.com>
- Smith, A. L., & Willford, M. R. (2019). Vibration of Floor Structures: Design Guidelines and Practical Solutions. The Institution of Structural Engineers.
- Stine, D. (2021). Revit architecture: No experience required.

- Thompson, R. S., & Wilson, J. C. (2020). Dynamic Analysis of Building Structures Under Mechanical Equipment Loading. *Journal of Structural Engineering*, 146(4).
- Toriac Corral, J. (2004). *Patología de la construcción : grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención* . Santo Domingo: INTEC.
- Valencia, D. (2013). Implementación de tecnologías BIM-Revit en los procesos de diseño de proyectos en la empresa Innovarq C&C. *Revista Universidad de Medellín*.
- Valencia, M., & Salazar, J. (2023). Desafíos en la integración de análisis sísmico avanzado y metodologías BIM en Colombia. *Revista Ingeniería y Ciencia*.
- Valero, F., & Pastor, L. (s. f.). *Consultoría Tecnológica e Innovación. BIM (Building information modeling)*, 20.
- Valero, J., & Camilo, R. (2014). *metodologia bim*.
- Vandezande, & Krygiel. (2021). *Mastering Autodesk Revit architecture* (12va ed.).
- Villate, C., Rojas, J., & Castillo, G. (2018). Integración entre modelado BIM y análisis estructural: Experiencias en Colombia. *Revista EIA*.
- Wang, L., Chen, F., & Yin, H. (2022). Detecting and monitoring of construction safety hazards using UAV imagery. *Automation in Construction*, .
- Wing. (2023). *Autodesk Revit: Conceptos básicos y aplicaciones prácticas*. Editorial Técnica.

- Yamin, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D., & Ordaz, M. G. (2004). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre: El caso de Bogotá, Colombia. Banco Mundial y Universidad de los Andes.
- Yamin, L. E., Reyes, J. C., Ruiz, D., Rincón, R., & Montaña, M. (2020). Integración de ensayos no destructivos en modelos BIM para análisis de vulnerabilidad sísmica. Revista de Ingeniería Universidad de los Andes.
- Zhang, C., & Singh, A. (2021). State of the Art Review of Drone-Based Bridge Inspection. Transportation Research Record.

12 ANEXOS

Anexo 1. Carta de Autorización de tratamiento de información.

Anexo 2. Project

Anexo 3. Informe de Topografía.

Anexo 4. Informe de suelos.

Anexo 5. Tabla de resultados de ensayos.

Anexo 6. Informe de Patología.

Anexo 7. Matrices de inspección.

Anexo 8. Carta de Autorización vuelo de dron.

Anexo 9. Imágenes aéreas tomadas con el dron.

Anexo 10. Modelo estructural en Revit.

Anexo 11. Modelo arquitectónico de fachada Revit.