

RECIBIDO EL 3 DE AGOSTO DE 2024 - ACEPTADO EL 4 DE NOVIEMBRE DE 2024

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISIS E INTERVENCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS PATRIMONIALES

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR ANALYSIS AND INTERVENTION OF THE STRUCTURAL SYSTEM IN HERITAGE BUILDINGS

Florinda Sánchez Moreno¹

Nohora Beatriz Gómez Galindo²

Francisco Javier Lagos Bayona³

Jenny Magaly Pira Ruíz⁴

Sandra Paola Sánchez Millán⁵

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, Colombia

Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia

¹ Doctora en Nuevos Recursos y sustentabilidad en Turismo, especialista en Conservación y restauración del patrimonio arquitectónico, Ingeniera civil, Docente investigadora programa Construcción y gestión en arquitectura, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. florinda.sanchez@unicolmayor.edu.co ORCID 0000-0001-5813-6929

² Especialista en Edificación sostenible, Ingeniera civil, Docente investigadora programa Construcción y gestión en arquitectura, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. nbgomez@unicolmayor.edu.co

³ Magister en diseño sostenible y construcción, Arquitecto, docente investigador Programa Construcción y gestión en arquitectura, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. flagos@unicolmayor.edu.co ORCID 0000-0001-8764-1510

⁴ Magister en ingeniería civil, Ingeniera civil, Docente del programa Ingeniería civil Universidad La Gran Colombia. jenny.pira@ugc.edu.co ORCID

⁵ Magister en ingeniería civil, Ingeniera civil, Docente del programa Ingeniería civil Universidad La Gran Colombia. sandra.sanchez@ugc.edu.co ORCID

Resumen

La conservación y revitalización de edificaciones patrimoniales ha sido un tema de análisis a nivel mundial, por la repercusión y el impacto que generan estos procesos para el uso eficiente de los recursos naturales, en el marco de las ciudades resilientes y sostenibles. La falta de soluciones técnicas adaptadas a las necesidades sociales y urbanas sostenibles ha generado un deterioro progresivo del patrimonio edificado. Este escenario afecta directamente a propietarios de inmuebles antiguos, quienes enfrentan dificultades para mantener y mejorar sus propiedades, así como a las comunidades, que ven impactada su calidad de vida y su identidad cultural. La urbanización descontrolada y el cambio climático son factores que agravan y profundizan esta problemática, poniendo en riesgo un valioso legado arquitectónico y cultural. En este sentido, el análisis estructural de los edificios catalogados como patrimonio cobra relevancia como un aporte para los propietarios, administradores o tomadores de decisiones del futuro de dichos edificios. La identificación de vulnerabilidad, orientada a la intervención y rehabilitación de edificios antiguos constituye un reto para ciudades que cuentan con el recurso patrimonial como estrategia de densificación y diversificación del uso del suelo, y redundante de manera holística en la sostenibilidad del edificio y la protección de la vida de los habitantes. En atención a que, la mayoría de las metodologías para evaluación de edificios patrimoniales se remiten a determinar resultados cualitativos, en este artículo se presentan resultados obtenidos de una investigación a partir de estudio de caso con lo cual se generó una propuesta metodológica para la evaluación, análisis e intervención del sistema estructural de edificios patrimoniales, integrando datos cuantitativos bajo la premisa de la Norma de sismorresistencia NSR 2010, que busca reducir la posibilidad de un daño estructural grave y de colapso de la edificación, aunque, en la ocurrencia de sismos

con alta intensidad, se puedan presentar daños en los elementos no estructurales, en los muros divisorios y fachadas.

Por estar orientada a edificios patrimoniales, la metodología inicia con consideraciones especiales sobre la génesis del edificio, evolución histórica, y aspectos de valoración como bien de interés cultural. Se continúa con el estado de conservación general, progresión de daños, actualización de planos, levantamiento de lesiones, estudio geotécnico propio y del entorno, y afectación al sistema estructural. Una vez analizada esta información y obtenidos los datos requeridos, se procede a generar el diagnóstico y propuesta de intervención acorde a los requerimientos especiales de un bien patrimonial.

Abstract

The conservation and revitalization of heritage buildings has been a topic of analysis worldwide, due to the repercussion and impact that these processes generate for the efficient use of natural resources, within the framework of resilient and sustainable cities. The lack of technical solutions adapted to sustainable social and urban needs has generated a progressive deterioration of the built heritage. This scenario directly affects owners of old properties, who face difficulties in maintaining and improving their properties, as well as communities, which see their quality of life and cultural identity impacted. Uncontrolled urbanization and climate change are factors that aggravate and deepen this problem, putting a valuable architectural and cultural legacy at risk. In this sense, the structural analysis of buildings classified as such becomes relevant as a contribution to the owners, administrators or decision makers of the future of said buildings. The identification of vulnerability, aimed at the intervention and rehabilitation of old buildings, constitutes a challenge for cities that have the heritage resource as a strategy for densification and diversification of land use, and results

holistically in the sustainability of the building and the protection of the lives of the inhabitants.

Given that most methodologies for evaluating heritage buildings are aimed at determining qualitative results, this article presents results obtained from an investigation based on a case study, which generated a methodological proposal for the evaluation, analysis and intervention of the structural system of heritage buildings, integrating quantitative data under the premise of the NSR 2010 earthquake resistance standard, which seeks to reduce the possibility of serious structural damage and collapse of the building. Although, in the occurrence of earthquakes with high intensity, damage may occur in non-structural elements, in dividing walls and facades.

Because it is oriented towards heritage buildings, the methodology begins with special considerations on the genesis of the building, historical evolution, and aspects of valuation as an asset of cultural interest. The state of general conservation, progression of damage, updating of plans, survey of injuries, geotechnical study of itself and the environment, and impact on the structural system continue. Once this information has been analyzed and the required data has been obtained, the diagnosis and intervention proposal is generated according to the special requirements of a heritage asset.

Palabras clave

Edificio patrimonial, Método de evaluación estructural, intervención estructural

Keywords

Heritage building, Structural evaluation method, structural intervention

Introducción

La Carta de Atenas de 1931 es el primer documento internacional que abordó el tema de

la intervención en edificaciones patrimoniales. En este documento se establecieron las premisas para evitar la desaparición de los bienes inmuebles de interés cultural. La primera orientación relacionada con la creación de un inventario de los monumentos que tuviera prioridad el respeto y la protección del monumento y de su entorno. La segunda premisa invitaba al uso del monumento para garantizar su mantenimiento y continuidad como recurso social. En tercer lugar, instaba al Estado a salvaguardar el bien cultural por encima de los intereses privados. En última instancia se aprobaron las técnicas de intervención y materiales modernos que a la fecha existían para realizar los trabajos de conservación o anastilosis del bien (González. 2008).

Décadas más tarde, en la Carta de Venecia de 1964 se continúa lo planteado en la Carta de Atenas, y se profundizan algunos aspectos como mantener la línea de la restauración científica para lograr transmitir la autenticidad del bien patrimonial, pero actualiza algunos preceptos con las aportaciones metodológicas consolidadas en estos años por el “restauración crítica” (González. 2008), en línea con las aportaciones de Cesar Brandi, se privilegia el respeto a la esencia, buscando una mínima intervención y su proyección al futuro. La adición de nuevos elementos debía identificarse claramente, para no distorsionar la trazabilidad histórica del bien. La Carta del Restauo en 1972 llama la atención en relación con la necesidad del estudio previo del bien patrimonial para su correcta intervención, incluyendo el análisis del contexto territorial, aspectos formales y características constructivas originales (Rivera&Vela.2005).

Específicamente en Latinoamérica, la Carta de Quito en el año 1967 fue fundamental para el futuro del patrimonio inmueble latinoamericano (González.2008). En general, el patrimonio cultural se vislumbró como un elemento

dinamizador de la economía en sectores deprimidos, por lo cual cobro gran relevancia tanto en su manera de intervención como en los propósitos para los cuales era intervenido.

En el contexto colombiano inició el debate sobre las acciones a tomar frente al patrimonio a finales del siglo XX, con diversos casos de análisis que dieron lugar a la Ley 163 de 1959 a partir de la cual se constituye el Consejo de Monumentos Nacionales y se inician declaratorias de algunos Bienes inmuebles y monumentos.

Desde 1960 se generalizó la idea de conservar edificios debido a su importancia histórica y/o estética, se crea Colcultura que luego daría paso al Ministerio de Cultura por las Leyes 397 y 388 de 1997, que fundamentan y obligan la preservación de todo el patrimonio cultural nacional. En el año 2008 se actualiza la Ley de cultura mediante la Ley 1185 que rige actualmente los destinos de los bienes de interés cultural en Colombia, según se indica en la Tabla 1.

Tabla 1

Relación de la Ley 1185 de 2008 con los Bienes inmuebles de interés cultural BIC			
Genera acciones de:	Los define como:	Los reglamenta	Aprueba intervención de:
Salvaguarda	Inembargables	Pueden ser declarados BIC	Restauración
Estímulos	Imprescriptibles	Pueden contar con Plan Especial de Manejo y protección PEMP	Conservación
Divulgación	Inalienables	Pueden ser revocado la declaratoria	Reforzamiento estructural

Fuente propia con base en la Ley 1185 de 2008.

Uno de los grupos de bienes inmuebles de interés cultural está compuesto por edificios construidos en la época moderna, que en Colombia se adopta de los años 1940 a 1980 (Saldarriaga, Roa & Fonseca.1989), época en la cual se inició la construcción de concreto armado y el uso masivo del cemento y el acero para edificios en altura, con ejemplos icónicos en las principales ciudades a nivel nacional como la Torre Colpatria, el edificio Avianca, el Hotel Tequendama, la Torre de la Caja agraria y el edificio Cudecom. A pesar de haber sido diseñados y construidos antes de la entrada en vigor de las normas de sismorresistencia, estos edificios cumplen estándares de calidad en sus materiales y procesos constructivos, y continúan siendo de uso público. Por la relevancia en el desarrollo de los sistemas constructivos

en concreto armado, y sus características especiales, muchos de estos edificios han sido declarados Bienes de interés cultural.

El concreto armado compuesto por hormigón y acero, consolidado por medio de formaletas, es un material capaz de soportar esfuerzos de compresión, cortante, flexión, torsión, según su diseño (Rochel R.2007) para diversos elementos como vigas, columnas, lozas, pilotes y zapatas. Esta capacidad, sumada a la facilidad para moldear, hicieron que fuera un material muy versátil y de uso universal (Macdonald, Arato. 2021). Sin embargo, con el paso del tiempo se comprobó que, por ser un material pétreo artificial, sufre procesos patológicos físicos y químicos que afectan su durabilidad, y en algunas ocasiones su capacidad para

soportar los diferentes esfuerzos (Monjo.2002). Para edificios de concreto diseñados antes de la Norma de sismorresistencia 2010 NSR-10, el análisis estructural con fines de vulnerabilidad sísmica se torna particular y complejo debido a la escasa normativa y los posibles deterioros estructurales. Un enfoque detallado que combine la inspección, la modelación estructural avanzada y el análisis de capacidad sísmica permitirá identificar con precisión las áreas de vulnerabilidad y proponer soluciones de reforzamiento adecuadas para garantizar la seguridad sísmica del edificio y la vida de sus habitantes.

La propuesta metodológica sirve como una base técnica para realizar una evaluación de un edificio patrimonial, la cual debe estar respaldada por datos históricos, experiencia práctica y herramientas avanzadas de ingeniería estructural.

Método

El análisis del sistema estructural de un edificio declarado patrimonio requiere un proceso detallado y una comprensión profunda tanto de los principios patrimoniales como de ingeniería estructural y las normativas asociadas. A continuación, se presentan los pasos de la propuesta metodológica para el análisis del sistema estructural y la intervención en un edificio declarado patrimonio inmueble, teniendo en cuenta los conceptos técnicos y normativos pertinentes, y ofreciendo un marco integral para la evaluación.

1. Localización

Las edificaciones en concreto reforzado generalmente se encuentran en los centros urbanos de las ciudades, por tanto, es indispensable ubicar en un plano con su entorno y las vecindades que puedan tener alguna afectación para el inmueble. Una visión holística del entorno permite obtener información de

posibles factores externos o fenómenos de origen natural que pueden afectar al inmueble, y de esta manera establecer prioridades y diseñar estrategias de protección y cuidado para la preservación del bien patrimonial (Mincultura.2014). De igual manera, esta primera mirada da la posibilidad de identificar amenazas asociadas al uso del suelo o impactos de la economía global como turismo masivo, alto tráfico en la zona con el correspondiente impacto de contaminación que pueda afectar al bien inmueble.

2. Identificación en el marco de la norma de protección patrimonial

Los bienes inmuebles de interés cultural se encuentran incluidos en un inventario que les otorga derechos y deberes en el marco regulatorio, que para Colombia se rige a partir de la Ley 1185 de 2008. En este sentido se debe identificar si el inmueble es patrimonio nacional o local, el tipo de declaratoria, la tipología y las intervenciones que pueden realizarse.

Las declaratorias a nivel nacional siguen el procedimiento definido en la ley, y reglamentado en el Decreto 1080 de 2015, y se materializa en la lista de bienes declarados bien de interés cultural del ámbito nacional, bajo la tipología de Patrimonio material inmueble (Mincultura.2024). En este listado se encuentran los datos correspondientes a entidad territorial con su correspondiente código, el nombre o nombres del inmueble, la dirección o límites, el número del acto administrativo de la declaratoria, la zona de influencia delimitada, y el número de resolución PEMP si el bien cuenta con Plan de manejo y protección PEMP aprobado. Es deber de las alcaldías municipales elaborar y mantener actualizado el inventario de bienes del Patrimonio Cultural de la Nación y mantener el registro de los monumentos nacionales en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones, de acuerdo con los criterios y herramientas

definidos por el Ministerio de Cultura para dicho proceso.

Las declaratorias a nivel municipal se generan a partir del Subsistema de Patrimonio Cultural Inmueble, aprobado por acuerdo municipal o en el Plan de ordenamiento Territorial POT. Los listados municipales cuentan con nombre del inmueble, dirección y número de declaratoria. Otro dato adicional viene referido al nivel o categoría de conservación así: Conservación monumental, Conservación integral, Conservación tipológica, Restitución total, Restitución parcial (IDPC.2022).

Conservación monumental: para bienes inmuebles declarados como monumento nacional, los cuales deben ser conservados en su integralidad.

Conservación Integral. Se aplica a inmuebles del grupo arquitectónico de excepcional valor, los cuales, por ser irremplazables, deben ser preservados en su integralidad.

Conservación del tipo arquitectónico. Aplica para inmuebles del grupo arquitectónico con características destacadas por su implantación predial, el volumen edificado, la distribución espacial y detalles ornamentales. Para estos inmuebles está permitida la intervención en el interior del inmueble, pero deben conservarse la estructura interna y volumetría espacial, así como los detalles arquitectónicos representativos del bien inmueble.

Conservación tipológica: Es la que corresponde a los inmuebles de un sector urbano, que aportan en la consolidación de la unidad del paisaje, del contexto urbano o de un conjunto arquitectónico, sin importar que hayan perdido los aspectos a valorar desde el ámbito arquitectónico al interior del inmueble. En estos inmuebles la intervención debe garantizar la permanencia y salvaguarda de los valores representados en las fachadas, las cubiertas y los accesos.

La intervención de un BIC se entiende como el conjunto de acciones que generen cambios o afecten el estado de un inmueble de interés cultural. Incluye acciones de conservación, restauración, recuperación, remoción, demolición, desmembramiento, desplazamiento o subdivisión, y deberá realizarse acorde al Plan Especial de Manejo y Protección PEMP, si este existe. La autorización para la intervención, con o sin PEMP, debe ser emitida por la autoridad que emitió la declaratoria sobre el inmueble. La intervención inicia con la elaboración de estudios técnicos, diseños y proyectos, y concluye con la ejecución de obras o de acciones realizadas en el inmueble. (Ministerio de Hacienda, Ministerio de Vivienda. 2009). Las principales intervenciones autorizadas, de acuerdo con las categorías de conservación son:

-Restauración: Orientada a inmuebles con categoría de conservación monumental y categoría integral, en razón a que son que con las cuales se pretende conservar y revelar los valores estéticos, históricos y simbólicos. Se fundamenta en el respeto por su integridad y autenticidad del inmueble. La restauración requiere siempre un estudio histórico del edificio.

-Adecuación funcional o rehabilitación: Orientada a inmuebles con categoría de conservación del tipo arquitectónico, en donde se requiere realizar obras para adaptar un inmueble a un nuevo uso, garantizando la preservación de sus características. Permiten modernizar las instalaciones, y optimizar y mejorar el uso de los espacios.

-Ampliación/Liberación: Pueden ser utilizada en inmuebles con categoría de conservación tipológica, que pueden incrementar o eliminar el área construida sin afectar las fachadas ni las cubiertas.

-Reforzamiento estructural: Puede ser aplicado para todas las categorías de conservación, en tanto que está orientada a acondicionar a

niveles de seguridad sismorresistente con el fin de salvaguardar la vida de los habitantes del inmueble, según lo ordenado en la Ley 400 de 1997.

-Primeros auxilios: Aplica para todas las categorías de conservación, en tanto se requieran

acciones para estabilizar las obras, detener el deterioro y evitar el colapso, por medio de limpieza y saneamiento, eliminación de focos de humedad interna, eliminación de sobrecargas, y sobrecubiertas para evitar mayores daños por humedad excesiva (Mincultura.2023).

Tabla 2

Tipos de intervención autorizada para cada categoría de conservación del bien inmueble

Restauración:	Adecuación funcional	Ampliación	R e f o r z a m i e n t o estructural
Para inmuebles con categoría de conservación monumental	Para inmuebles con categoría de conservación del tipo arquitectónico,	Para inmuebles con categoría de conservación tipológica,	Para inmuebles de todas las categorías de conservación

Fuente propia a partir de Decreto 763 de 2009

3. Uso actual del inmueble.

Este aspecto se considera relevante para el análisis estructural de los inmuebles patrimoniales, ya que se debe establecer las cargas por ocupación que fueron previstas, comparadas con las cargas por ocupación que tiene actualmente el inmueble. De igual manera las cargas denominadas muertas por adiciones que se hayan generado durante la vida del edificio, o las eliminaciones de muros o acabados que afecten de manera considerable el diseño estructural inicial. La falta de uso es otro aspecto para considerar, en razón a los deterioros que se pueden generar por falta de mantenimiento en sistemas o acabados, u obsolescencia en redes de agua, electricidad, aires acondicionados o cualquier otro sistema que este instalado en el inmueble.

4. Descripción estado actual

4.1 Levantamiento arquitectónico general

El análisis y la intervención del sistema estructural en las edificaciones patrimoniales debe ser cuidadosa ya que se busca dar la estabilidad requerida de acuerdo con las normas vigentes,

brindar seguridad a las personas que habitan el bien inmueble y preservar el patrimonio para futuras generaciones. Toda intervención estructural debe realizarse sin detrimento de los valores arquitectónicos del edificio. Es por esto por lo que cualquier actuación sobre el inmueble patrimonial requiere de una actitud respetuosa.

El levantamiento arquitectónico corresponde al conjunto de investigaciones y operaciones encaminadas a identificar las características significativas del inmueble en relación con los aspectos morfológico, dimensional, figurativo y tecnológico, evaluarlo y reconocerlo con el propósito de construir un modelo tridimensional simplificado, a través del cual se pueda analizar e interpretar las fases de transformación y sus aspectos formales de construcción.

Los planos que se producen en el proceso de levantamiento se configuran en el documento gráfico que representa de forma clara y comprensible los datos del inmueble como el sistema de soporte, distribución, cotas o dimensiones, detalles arquitectónicos, vacíos, patios, aislamientos, cambios de nivel, disposición de accesos, circulaciones tanto en planta, como en alzados. El apoyo fotográfico es

indispensable para complementar en los planos algunos aspectos que se han pasado por alto en el levantamiento.

El levantamiento arquitectónico ha evolucionado en las últimas décadas pasando del uso de la cinta métrica y la estación topográfica, a la estación laser o scanner laser que generan representaciones tridimensionales de alta resolución (González.2020). En este sentido, los planos deben generarse en modelos tridimensionales que permitan implantar la estructura, y su posterior análisis en un software de diseño estructural.

4.2 Planos de intervenciones anteriores

Las intervenciones realizadas al edificio deben estar reportadas en la minuta del propietario o del administrador del bien. De no ser así, se debe realizar la búsqueda correspondiente en oficinas gubernamentales del control como oficinas de planeación, curadurías, alcaldías u otras instancias que cuenten con información relacionada. Dicha información complementa el levantamiento arquitectónico y permite actualizar aspectos constructivos del inmueble.

4.3 Identificación del sistema constructivo y materiales de construcción

Los elementos representativos del edificio deben describirse desde la implantación del edificio a partir de los cuerpos construidos ya sean planos elevados o deprimidos. La volumetría se describe como el conjunto de prismas rematados con cubiertas, definidos por planos y elementos estructurales que conforman llenos y vacíos desde la base hasta el remate superior. El sistema estructural de edificios patrimoniales puede ser encontrado en concreto armado, estructura metálica o cualquier otro material que responda a los requerimientos de resistencia y rigidez ante las cargas mínimas de diseño. Teniendo en cuenta que la edificación se subdivide en infraestructura

y superestructura (Rochel. 1998), en la primera, se deben identificar los sistemas de cimentación y el suelo de fundación, y la segunda, el sistema de resistencia ante cargas laterales y verticales también llamado sistema de resistencia sísmica (Calavera.1980). La cubierta es otro aspecto para revisar ya que es el elemento protector de todo el edificio y debe ser tratado de manera prioritaria en caso de tener afectaciones.

Retomando la historia de los primeros edificios construidos en Colombia, se destaca que muchos de ellos fueron construidos en concreto armado, asociado a época de la arquitectura moderna en los años 40 del siglo XX, y desde entonces se inició la exploración de este material para elementos arquitectónicos como voladizos, balcones redondos en volado, losas aligeradas, paraguas sostenidos en una sola columna, superficies paraboloides en cubiertas, y edificios en altura mayor a cinco pisos.

Así mismo, se intensificó el uso del concreto para la construcción de estructuras aporricadas en las que las columnas y vigas contaban con algunos elementos de acero. El refuerzo en muros de gran longitud, al igual que los elementos como columnas y vigas de coronación para confinar los muros a distancias prudenciales, eran aspectos que se tenían en cuenta por los constructores de esta época. Estas técnicas fueron abandonadas en décadas posteriores con el consiguiente daño para las edificaciones, según lo comenta el manual sobre sismorresistencia (AIS.2007).

Las cimentaciones superficiales conformadas por zapatas y placas fueron implementadas para las edificaciones bajas y de pocos pisos, mientras que para los edificios de altura se utilizaron cimentaciones profundas según los avances de la tecnología de la época (Silva.1993).

5. Genesis y evolución histórica

El año aproximado de diseño y construcción de edificio aportan para el correcto análisis

estructural ya que orientan sobre el uso o no de alguna norma de sismorresistencia vigente para la época (Macdonald, Arato. 2021). De ser posible, es importante obtener el nombre del diseñador y de la firma constructora, lo cual determina aspectos específicos usados por pioneros en diseño estructural y sistemas asociados destacados en su momento, así como constructores que generaron nuevas técnicas constructivas o del manejo de materiales.

Los planos originales y detalles constructivos son elementos clave que van en pro de un óptimo análisis ya que ofrecen datos exactos de la resistencia de diseño, y especificación de los materiales utilizados en la construcción del edificio. Los planos contienen información que puede ser cotejada con el estado actual de la estructura en términos de ubicación de columnas, vigas y cimientos, secciones transversales, niveles, cotas entre ejes, espesores de placas, cortes, despieces y detalles de refuerzo de acero. También se pueden encontrar notas, símbolos y esquemas que ofrecen información de las especificaciones y procedimientos constructivos. Se debe prestar atención especial a la escala de los planos originales para evitar confusiones o alteración de las dimensiones en las medidas de cotas y de los elementos representados.

La evolución histórica es otro aspecto por investigar, ya que da cuenta de los cambios de usos, alteraciones, adiciones o eliminaciones de que ha sido objeto el edificio. Estos datos pueden estar ubicados en archivos locales, regionales o nacionales en atención al carácter patrimonial del inmueble (Maldonado, Rivera&Vela.2005), y pueden soportarse con imágenes o fotografías de diarias o revistas de fuentes fidedignas de la época.

6. Revisión del estado actual del edificio

Una vez conocidos los antecedentes y evolución histórica, se debe revisar el estado

del edificio para identificar lesiones y daños a nivel arquitectónico y estructural, con ayuda de diversos métodos y apoyados en la información recopilada en los puntos 1,2,3 y de la metodología presentados en los apartados anteriores. Una inspección detallada del edificio es fundamental para verificar las condiciones reales de la estructura, especialmente si no se dispone de la documentación completa o si el edificio ha sufrido modificaciones a lo largo del tiempo (Serrano, Fenellosa & otros.2016). La inspección se realiza para identificar cualquier signo de deterioro, daños previos, cambios en el uso de la estructura o irregularidades estructurales que no estuvieran reflejadas en los planos originales.

Levantamiento de daños a nivel arquitectónico: identificar y documentar de manera detallada los daños en mamposterías, pisos, fechadas y cubiertas, clasificándolos por grados de afectación, y por las causas directas y/o indirectas que han generado el daño. Este levantamiento debe ser soportado con fichas, fotografías, imágenes y ubicación en los planos correspondientes de la edificación. En caso de corresponder a afectaciones en detalles ornamentales del bien patrimonial, se deben generar fichas independientes para cada elemento.

Levantamiento de lesiones y afectaciones a nivel estructural: es fundamental determinar la integridad de cada elemento estructural, como vigas, columnas, muros de carga, ya que de ello depende la estabilidad del sistema de soporte del edificio (Donini, Orlor. 2016).

Las fichas de daños y lesiones deben contener la siguiente información:

-Ubicación del daño o lesión con un punto de referencia sobre los ejes del plano en planta correspondiente.

- Descripción del material o materiales del elemento afectado
- Dimensiones largo, ancho y profundidad de la lesión
- Grado de afectación de manera cualitativa y cuantitativa
- Fotografía del daño, con una escala de referencia
- Descripción detallada del daño o lesión
- Observaciones adicionales que puedan orientar hacia al diagnóstico

Las fichas se deben acompañar con un mapeo general de afectaciones o daños, en cada uno de los niveles y cubierta del edificio.

7. Revisión del estado estructural

7.1 Inspección y levantamiento de información en sitio

Como ya se mencionó en los puntos anteriores, se debe recopilar toda la documentación disponible sobre el edificio. Esto incluye planos, memorias de cálculo, especificaciones técnicas y cualquier información sobre intervenciones posteriores al diseño original. Es importante identificar la normativa sísmica vigente en el momento de la construcción, ya que los requisitos sísmicos han evolucionado considerablemente con el tiempo. Para edificios construidos antes de la NSR-10, es probable que hayan sido diseñados bajo versiones anteriores de la norma colombiana, como la NSR-98 o normas más antiguas, que no contemplaban los avances actuales en la ingeniería sísmica.

En el caso de los edificios de concreto, se deben inspeccionar cuidadosamente las columnas, vigas, y juntas para verificar la calidad del concreto, la existencia de elementos de confinamiento en zonas críticas, y la condición de los nudos viga-columna, que son puntos

particularmente vulnerables durante un sismo. En muchas estructuras construidas antes de la NSR-10, se puede observar la falta de estribos cerrados en los extremos de las columnas, lo que genera una falta de confinamiento y capacidad de disipación de energía.

7.2 Evaluación del estado de los materiales

Se deben llevar a cabo pruebas no destructivas para evaluar la resistencia del concreto en sitio, los diámetros de las barras de acero y la presencia de patologías que afecten la resistencia de estos materiales. Las patologías en el concreto se evidencian por aspectos externos como pérdida de masa, fisuras, hinchamiento, cambios de color, y manchas. En la parte interna pueden presentarse otros fenómenos que se pueden analizar solamente con ensayos físicos, químicos, biológicos y petrográficos (Sánchez.2006). De otra parte, el acero es afectado en gran medida por la corrosión (Fernández Luco.2005), que disminuye la adherencia entre con el concreto, y afecta el diámetro de las barras de acero (Frontera, A., & Cladera, A.2024). Para identificar, clasificar y ponderar de forma cualitativa y cuantitativa estas patologías se debe acudir a ensayos invasivos y no invasivos. Por tratarse de edificaciones patrimoniales se acude en primer lugar a ensayos no invasivos para evitar daños que alteren los valores arquitectónicos del bien inmueble.

7.2.1 Ensayos no invasivos

Pacómetro: es un aparato medidor de recubrimiento que ayuda a identificar la presencia de aceros en una estructura. Es necesario esta identificación previa al ensayo con esclerómetro para evitar errores en la medida del índice de rebote (Fernández.2005).

Esclerómetro: Este aparato mide el índice de rebote en diversos miembros de la estructura y así la dureza del material. Los datos obtenidos

con el esclerómetro dan un valor aproximado de la resistencia del concreto que se complementan con los ensayos de cilindros (Hernández, Orozco.2018). En algunas ocasiones se deben realizar pruebas de carbonatación en el concreto, ya que los resultados del esclerómetro se pueden alterar por la capa endurecida que genera la carbonatación superficial. En general los valores esperados para resistencias del concreto oscilan entre 21 MPa y 30 MPa.

Carbonatación: La estructura del concreto está expuesta de manera permanente a procesos de corrosión atmosférica, reflejados en la carbonatación (Chiné-Polito, B; Cuevas.2019). Este fenómeno afecta también el acero embebido en el concreto reforzado (Berlinov, Berlinova.2019). La calcita que se precipita en las paredes de estos materiales genera deterioros que afectan la resistencia de la estructura (Iloro, Ortega.2017). Para conocer el grado de carbonatación, se realiza una regata en el elemento a evaluar, y se aplica una solución de fenolftaleína en alcohol industrial, esperando que no cambie el color en el material, ya que esta señal evidencia la carbonatación (González M., Humberto y otros.2015). El concreto no carbonatado de la regata cambiara de color de gris a púrpura.

Escáner de acero: Este ensayo es realizado mediante un aparato que se pasa por la superficie de los elementos estructurales, y es capaz de detectar la cantidad de varillas de acero que hay en el elemento, la distribución de dichas varillas y el diámetro de cada una. También arroja datos sobre el espesor del recubrimiento de concreto (Donini, H. Orlor, J. R.2016). Este estudio entrega información indispensable para la posterior evaluación de vulnerabilidad sísmica.

Ultrasonido: Equipo usado frecuentemente para corroborar la densidad del concreto. Este equipo transmite ondas de alta frecuencia a través del elemento de concreto endurecido (Solís Romel.2021). Las ondas se propagan con una

cierta velocidad que depende de las propiedades elásticas del concreto. Una vez conocida la velocidad del sonido, y la masa del material, se pueden estimar las propiedades elásticas del concreto, que están directamente relacionadas con la calidad y resistencia de este. En el tipo de construcciones de concreto armado se esperan resistencias entre 21 MPa y 30 MPa.

7.2.2 Ensayos invasivos:

Regatas de inspección del concreto: Es un método que se utiliza para confirmar el tipo de acero y la posición del refuerzo en el elemento de concreto. La regata se abre una vez se tenga identificada la posición del acero por medio del pacómetro. Se debe acudir a taladros o elementos manuales de demolición de bajo impacto, prestando especial cuidado para no afectar el acero a evaluar. Como se mencionó en el apartado anterior, este método también se utiliza previo a la prueba de carbonatación.

Extracción de núcleos de concreto: El ensayo a la compresión de núcleos de concreto es la manera más fiable para determinar la resistencia del concreto endurecido, en especial cuando se requiere comprobar los datos obtenidos por medios no invasivos como el ultrasonido o el esclerómetro. Se deben extraer tres muestras representativas (NTC.2018) o cilindros de prueba en lugares que no afecten los valores patrimoniales del inmueble. Los resultados de resistencia se cotejan con los datos del esclerómetro u otro ensayo no destructivo como soporte numérico para el análisis de vulnerabilidad.

8. Evaluación de vulnerabilidad sísmica y modelación estructural

8.1 Estudio topográfico

Se requiere observar el suelo alrededor de la edificación, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos o cualquier anomalía en el terreno que pueda

afectar la edificación. Para mayor precisión es recomendable iniciar con un levantamiento topográfico para identificación de los deltas de asentamiento y verticalidad e inclinaciones en términos cuantitativos.

8.2 Estudio geotécnico

Se trata de la investigación adelantada por un especialista en geotecnia, en el sitio de la edificación, identificando la morfología del terreno, el origen geológico y la descripción de los niveles freáticos o aguas subterráneas. Se debe realizar la exploración del subsuelo por medio de sondeos, extracción de muestras alteradas e inalteradas, y respectivos ensayos de laboratorio necesarios para identificar las características físico-mecánicas e hidráulicas del subsuelo (Sánchez, Garces, Montoya.2017).

De igual manera se acude a documentos normativos que cuentan con datos establecidos para cada zona de la ciudad en las denominadas microzonificaciones geológicas y sísmicas.

8.3 Modelación estructural

La vulnerabilidad sísmica de un edificio indica la susceptibilidad que tiene una estructura de sufrir daños ante la ocurrencia de un terremoto. Esta evaluación es particularmente importante para estructuras que fueron diseñadas con normativas anteriores, que probablemente no incluyan las especificaciones sísmicas avanzadas que se exigen en normativas modernas como la NSR-10. En edificios de concreto reforzado, las deficiencias típicas pueden incluir detallado inadecuado de los refuerzos, falta de confinamiento adecuado en zonas críticas, irregularidades geométricas o estructurales, y la falta de criterios de ductilidad y capacidad de disipación de energía. El análisis, según la NSR 2010 incluye la revisión de irregularidades en planta para identificar asimetrías que generen torsiones durante el sismo, e irregularidades en

elevación para identificar cambios de rigidez o resistencia en la totalidad de altura del edificio.

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica, es necesario realizar un análisis de cargas sísmicas basado en las condiciones actuales del edificio. Esto implica determinar los parámetros sísmicos del sitio donde se ubica la estructura como zonificación sísmica, espectro de diseño, y realizar un análisis de respuesta sísmica utilizando métodos como el análisis estático lineal (fuerza lateral equivalente) o análisis dinámico (modal o espectral). Para la construcción del espectro de diseño se tiene en cuenta el numeral A.2.6. de la NSR-10, en donde se definen los parámetros de entrada para cada zona del espectro. Para la evaluación de la derivas o desplazamientos de la estructura se emplea el espectro de diseño sin amplificarse por el coeficiente de importancia de acuerdo con el numeral A.6.2.1.2 de la NSR-10.

En general, los edificios antiguos fueron diseñados con coeficientes de seguridad más bajos y sin un análisis detallado de los modos de vibración, lo que puede llevar a subestimar las fuerzas sísmicas. Las estructuras diseñadas antes de la NSR 1998 deben llegar, como mínimo, al nivel de seguridad limitada, con un índice de sobreesfuerzo y de flexibilidad menores a 1. En todo caso, esta excepción debe ser aceptada por el propietario del edificio, y dejarlo por escrito en un documento público junto con el diseñador estructural (NSR.2010).

En edificaciones declaradas como patrimonio histórico se permitirá un nivel menor de seguridad sísmica al solicitado para edificaciones nuevas, previa justificación

del ingeniero diseñador y acepte por parte del propietario con firma protocolizada en notaría. Esta justificación debe contener también las medidas de seguridad que se adoptaran para los ocupantes una vez realizada la apertura al público posterior a la intervención.

La modelación estructural se realiza con el modelo tridimensional del levantamiento arquitectónico actualizado (Tolosa, Arias, otros.2016). Este modelo también es útil para evidenciar gráficamente las patologías y posibles intervenciones a futuro.

9. Diagnóstico

Una vez recopilada la información y realizada la evaluación de vulnerabilidad, se organizan los documentos y planos correspondientes con el diagnóstico y recomendaciones de intervención.

Resultados

La metodología planteada se utilizó para el análisis y diagnóstico de una edificación construida en concreto reforzado, declarada bien inmueble de carácter patrimonial.

1. Localización:

En un barrio tradicional de la ciudad de Bogotá que en 1970 fue declarado sector de tratamiento de conservación ambiental. En medio de edificaciones de uno y dos pisos, este equipamiento barrial hoy se encuentra muy cerca de barrios en desarrollo que paulatinamente han absorbido el sector con urbanizaciones de gran altura que rompen el perfil urbano e impiden la visualización del inmueble. En el centro de un triángulo compuesto por vías de gran relevancia en la ciudad y alto nivel de tráfico que genera contaminación auditiva y ambiental, pero que hace al sector un gran atractivo para futuras inversiones inmobiliarias. El inmueble no cuenta con vecindades cercanas al predio ya que tiene aislamientos a manera de zona verde todos los costados, y una gran bahía en la fachada principal.

2. Identificación en el marco de la norma de protección patrimonial

Declarado como Bien de Interés Cultural del ámbito distrital en el nivel de conservación

integral según la resolución 632 de 29 de agosto de 2023.

A partir de la declaratoria, para la intervención de esta edificación se debe contar con la autorización del Instituto Distrital de Patrimonio Cultural como paso previo al trámite de licencia de construcción, para obras de restauración y reforzamiento estructural.

3. Uso actual del inmueble

El inmueble presta el mismo uso para el cual fue diseñado, y no se encuentran cargas adicionales que afecten el cálculo inicial. Durante su vida útil ha prestado servicio de culto religioso a las personas de la comunidad que en general aportan la misma carga viva del momento de diseño. La nave central cuenta con bancas con capacidad para 300 personas. Las otras dos naves para circulación.

4. Descripción estado actual

Edificación de un piso con doble altura, con un campanario de ocho pisos. De forma rectangular con tres naves simétricas, en donde la estructura hace parte del diseño arquitectónico con columnas y vigas en concreto a la vista. Sobresale el tratamiento del concreto a la vista, las fachadas sin mayor ornamento con vanos profundos, los voladizos pronunciados en los accesos, un juego de vanos permite el tratamiento de la luz natural que resalta el diseño interior muy sobrio en toda la planta del edificio.

La planta de la iglesia es de forma rectangular tipo basilical, las tres naves longitudinales están comunicadas entre si y guardan simetría con jerarquía de la nave central en dimensiones de altura y ancho. La espacialidad se demarca por cuatro ejes de columnas de doble altura, de diseño particular, de sección rectangular con mayor área en el centro de la columna y disminuyendo área hacia arriba hasta encontrar la viga aérea, y hacia abajo hasta encontrar el

suelo de soporte. La nave concluye en el ábside de forma hexagonal.

La fachada está compuesta por tres elementos: un volumen de doble altura que termina en una aparente cubierta a dos aguas. La estructura del edificio enmarca los dos cuerpos, el concreto a la vista de color gris destaca como detalle arquitectónico. La cubierta da paso a un voladizo para cubrir la antesala del edificio. El sistema estructural no corresponde al típico aporticado, sino a un pórtico tipo péndulo, con alturas de columnas de 7.5 metros en la parte central, y 6.0 metros en los extremos. Vigas de cimentación con sección de 40 x70 centímetros, vigas a nivel de balcones de con sección de 20 X 60 centímetros, y vigas de cubierta con secciones de 10 x 35 centímetros. No se encuentran planos de intervenciones recientes más allá de ampliaciones con obras nuevas fuera del perímetro de la edificación original.

El campanario de ocho pisos se encuentra retirado de la iglesia escasos metros en el costado nororiental. Formado por una estructura en hormigón compuesta por muros interiores de concreto a la vista y una escalera central en caracol también en concreto a la vista. Las fachadas del campanario son cerradas con una pequeña ventana en cada piso. El detalle arquitectónico que se destaca es la espina de pescado a 45° que dejó la formaleta al momento de fundir el concreto, y que a hoy se conserva en perfecto estado.

El levantamiento arquitectónico arrojó un área total de 810 metros cuadrados distribuidos entre pisos y balcones interiores. Los planos se complementaron con fotografías y detalles constructivos que se plasmaron en plantas y alzados, para luego ser digitalizados en el modelo tridimensional.

5. Genesis y evolución histórica

La edificación de carácter religioso fue diseñada por el arquitecto German Samper, discípulo de Le Corbusier, destacada arquitecto de la modernidad a nivel mundial. El arquitecto Samper desarrolló diversos proyectos en Colombia, entre ellos el urbanismo del barrio en donde se implantaron las obras comunales y la iglesia en un barrio de Bogotá. La construcción data de 1957 es un reflejo de la evolución arquitectónica del país que lentamente fue dejando atrás la época republicana para dar la bienvenida a la modernidad. El diseño estructural a cargo del ingeniero Doménico Parma, quien fue pionero en el desarrollo de pórticos en concreto a nivel nacional, introduciendo tecnologías avanzadas que a partir de ese momento fueron desarrolladas para diversos proyectos en el país.

6. Revisión del estado actual del edificio

El proyecto muestra las patologías más comunes en las estructuras construidas en concreto armado, que se observan por inspección visual sin requerimiento de técnicas destructivas ni invasivas. La estructura a la vista ha contado con permanente mantenimiento que oculta algunos problemas inherentes a estructuras en concreto.

-Carbonatación o ataques químicos producido por el agua que se infiltra en los elementos de concreto generando oxidación en las barras de acero y pérdida de resistencia del material. Esta situación es evidente en la escalera de caracol del campanario.

-Deficiencias en los acabados del concreto en algunos elementos, lo cual puede atribuirse a falta de supervisión en el proceso de vaciado del concreto, poco vibrado, ausencia de conocimiento de las técnicas constructivas, por la época de la construcción (1950), lo cual implica la aparición de fisuras, hormigueros y alabeos. Esta patología afecta directamente la

estética de la parroquia, que se caracteriza por el concreto a la vista.

-Retracción y separación del concreto por eventual fundición a destiempo, lo cual genera fisuras o grietas horizontales en algunos elementos de la pérgola en concreto en el acceso lateral de la parroquia.

-Grietas generadas por asentamientos diferenciales del suelo a causa de la capilaridad, En el perímetro del campanario se generan pérdida del material de recubrimiento y separación de los elementos, ocasionando infiltraciones de grandes cantidades de agua lluvia.

-Fisuras verticales en la unión de viga y columnas de los pórticos, que evidencia falta de confinamiento en el nudo, es decir escasos de flejes o estribos, disminuyendo la capacidad de respuesta al esfuerzo a cortante.

-Procesos de pérdida de la capa superficial a causa de aumento de volumen interno por infiltración de agua lluvia en los hormigueros fisuras o intersticios del concreto. El espesor insuficiente del recubrimiento se presenta por sobrecarga por encima de lo previsto en el cálculo estructural, o insuficiencia de estribos o mala posición de estos. pandeo de la armadura vertical o resistencia baja del hormigón. Eventualmente se puede dar por falta de impermeabilización del concreto expuesto al medio ambiente.

-Las fachadas se ven afectadas por la presencia de palomas que depositan el excremento generando patologías por eflorescencias, y pérdida del material a largo plazo. El agua lluvia es otro factor que desencadena patologías en aleros y superficies superiores de las fachadas, en el templo y en el campanario.

7. Revisión del estado estructural

La edificación fue diseñada en una época en que no se contaba con la norma sismorresistente nacional, por lo cual, de acuerdo con los hallazgos de patologías, se consideran calidades de concreto mínimas de 21 MPa, cumpliendo con el requisito de la NSR-10 para concreto estructural.

Se realizó la exploración del acero de refuerzo usando un equipo de escaneo laser, con el fin de determinar la ubicación actual de los refuerzos en acero en las columnas, encontrando refuerzo vertical de diámetros ϕ 5/8", y flejes de ϕ 3/8".

Se realizaron mediciones con esclerómetro con el fin de evaluar la calidad del concreto, de forma aleatoria sobre la superficie de concreto de las columnas y vigas. De acuerdo con la norma NTC-3692, se realizaron 10 lecturas en las superficies seleccionadas, previa verificación por medio del ferro detector para evitar lecturas sobre aceros de refuerzo. Los índices de rebote arrojaron promedios de 50 con resistencias a la compresión entre de 50 MPa y 60 MPa en los elementos analizados.

Se realizaron lecturas con ultrasonido para cotejar los datos encontrados con el esclerómetro, Tipo de medición directa, en una longitud de trayectoria de 30 centímetros. Los resultados que se obtuvieron corresponden a resistencias a la compresión cercanos a 60 MPa. Debido a las altas resistencias del concreto obtenidas en por ultrasónico y por esclerómetro, se consideró pertinente no realizar ensayos invasivos para evitar deterioros en el bien patrimonial.

8. Evaluación de vulnerabilidad sísmica y modelación estructural

8.1 Estudio topográfico

En la inspección realizada al entorno de la edificación no se evidencian asentamientos en ninguno de los muros externos de la edificación

que puedan generar patologías externas, sin embargo, si se encuentran algunas fisuras en la plazoleta de entrada al templo que deben ser revisadas en una posible intervención a partir de los estudios de suelos.

8.2 Estudio geotécnico

Se efectuó una recopilación de información de diferentes entidades a la luz del Decreto 523 de 2010 que aporta información sobre microzonificación sísmica y geotécnica de Bogotá, encontrando la zona y descripción del suelo soporte de la edificación.

Zonificación geotécnica Lacustre A Suelo, con una composición principal de Suelo lacustre blando en donde se encuentran arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba. Estos suelos presentan un comportamiento geotécnico general de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles. La velocidad onda promedio menor a 175 m/s, humedad promedio mayor a 80%, y efectos de amplificación asociados a la zona geotécnica. Se evidencia agua libre entre 3.0 y 3.5 m de profundidad. Este nivel puede variar de acuerdo con el régimen de lluvias

8.3 Modelación estructural

La estructura se evalúa bajo el sismo requerido por la norma NSR-10 para estructuras abiertas al público en la ciudad de Bogotá. De acuerdo con el diseño inicial la estructura está compuesta por pórticos resistentes a momentos, con cubierta en losa aligerada en una dirección. Para la evaluación de la edificación se emplearon levantamientos efectuados en sitio y cuantías mínimas estimadas para cada uno de los elementos estructurales.

De acuerdo con la NSR-10, y teniendo en cuenta la edad del proyecto, se verifica la estructura con un sismo seguridad limitada. Se empleó la metodología de resistencia última, así como los lineamientos del Reglamento Colombiano

de Construcción Sismo Resistente NSR-10, para construcciones en zonas de riesgo sísmico Intermedio.

De acuerdo con el uso de la estructura, se clasifica como grupo de uso II. El cálculo y análisis estructural se basa en el uso de hojas de cálculo tipo Excel, así como la modelación matemática en el software SAP2000, con los siguientes parámetros de diseño:

- Zona de riesgo sísmico: Intermedio para Bogotá
- Microzonificación sísmica: Lacustre 300
- Disipación de energía: DMO
- Grupo de uso II
- De acuerdo con la tipología de la estructura se establece un $R_0=5$ para pórticos resistentes a momento de acuerdo con la tabla A.3.3 NSR-10

De acuerdo con lo consignado en planos estructurales, se emplearon los siguientes materiales para el diseño estructural:

- CONCRETO: de acuerdo con los hallazgos de patología, se consideran calidades de concreto de 21 MPa, cumpliendo con el requisito de la NSR-10 para concreto estructural. Se estima un peso unitario de 2.4 ton/m³; y el módulo de elasticidad del concreto se calculó por medio de la siguiente expresión (C.8.5.1. de la NSR-10):

$$E_c = 3900 \sqrt{f'_c}$$

Usada como valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado.

- **ACERO DE REFUERZO:** se considera de tipo dúctil corrugado con un límite de fluencia de 240 MPa (grado 40) y un módulo de elasticidad de 200 GPa.

La estructura se analizó y diseñó utilizando el programa SAP2000 V14; los elementos del entrepiso se simularon como elementos tipo "Frame".

Los esfuerzos debidos a cargas verticales se combinan de acuerdo con los factores de carga indicadas en la norma para obtener las envolventes para el diseño de los elementos.

Todos los elementos metálicos que conforman la estructura se diseñan por la metodología LRFD, mientras que los elementos de concreto se diseñan por el método de la resistencia última.

Teniendo los resultados del análisis del modelo, se procedió al diseño de cada uno de los elementos, teniendo en cuenta las solicitaciones máximas a las que estaban sometidos.

La estructura se diseñó para soportar las siguientes cargas:

- Carga muerta: cargas de elementos permanentes como lo son muros, pisos, cubierta.
- Carga viva: cargas producidas por el uso y ocupación de la estructura.
- Cargas por sismo.
- Carga de Granizo, corresponde a 50 kg/m² por tratarse de una cubierta inclinada.

Resultados de la evaluación de vulnerabilidad

El sistema de resistencia sísmica de la estructura está compuesto por elementos que no tienen las dimensiones mínimas establecidas en el capítulo C21 de la NSR-10 para estructuras en zonas de amenaza sísmica intermedia y con grado de disipación moderada DMO

La estructura sin reforzar posee un índice de flexibilidad IFL, de 0.95 por lo tanto bajo el alcance de este estudio cumple con los índices de deriva determinados en el numeral A.10.9.2.4, en donde por diseño se limitaron los desplazamientos al 1.50% de la altura entre niveles estructurales, por esta razón no es necesario realizar una intervención para rigidizar la estructura y cumplir con la normativa vigente.

La estructura posee un índice de sobre resistencia ISE, en columnas de 2.77 dando como resultado que la estructura NO RESISTE los efectos de un sismo de seguridad limitada, teniendo en cuenta una cuantía por elemento de 1.33% del área bruta. Se debe establecer mediante un estudio de patología detallado las cuantías reales de cada uno de los elementos.

La estructura posee un índice de sobre resistencia ISE, en vigas de 1.72 para refuerzo negativo y 0.77 dando como resultado que la estructura NO RESISTE los efectos de un sismo de seguridad limitada. Estos valores se basan en una cuantía supuesta de 0.50% de refuerzo superior e inferior el cual debe ser revisado mediante un estudio de patología detallado.

La estructura únicamente bajo cargas verticales posee un índice de sobre resistencia (ISE), en columnas de 1.47 dando como resultado que la estructura ES VULNERABLE con una cuantía estimada de 1.33%, Se debe verificar el refuerzo existente en los elementos para la validación de los resultados.

Algunas vigas de la estructura únicamente bajo cargas verticales SON VULNERABLES estimando una cuantía del 0.50%, dado que se presenta un índice de sobreesfuerzo (ISE) promedio de 1.05 para refuerzo negativo y 0.66 para refuerzo positivo. Se debe verificar el refuerzo existente en los elementos para la validación de los resultados.

9. Diagnóstico

La presencia de German Samper, reconocido arquitecto a nivel nacional durante la época moderna evidencia la calidad a nivel de diseños arquitectónicos del proyecto, y de la calidad de los detalles encontrados en el interior de la edificación.

Respecto a los materiales de construcción, se encuentra un gran trabajo de manejo de formaleas para el concreto a la vista, que hasta la fecha permanece en buen estado de conservación.

Las condiciones internas de la parroquia favorecen el buen estado arquitectónico de los elementos estructurales, ya que no se presentan goteras o presencia de agentes nocivos que afecten las superficies.

Las condiciones de uso son aspectos que desatacan ya que los administradores del inmueble han generado planes de acción permanente y mantenimiento preventivo al interior del templo, para la atención permanente de los feligreses y de las actividades propias del culto católico. Sin embargo, en el exterior se presentan patologías de origen mecánico y físico que pueden desencadenar en lesiones más graves, por lo cual se deben abordar acciones de primeros auxilios y prevención sumados al mantenimiento que se realiza al interior del templo.

Respecto al diseño estructural se evidencian algunas falencias a nivel de dimensionamiento de elementos estructurales, asociadas a las patologías presentes.

Si bien, la estructura cumple unas condiciones mínimas de derivas lo cual indica que no se requiere una intervención para rigidizar la estructura, en lo relacionado con índices de resistencia la estructura no cumple, por lo cual se hace necesario incrementar la cuantía de refuerzos en las columnas y en

algunas vigas. Para ello es necesario realizar ensayos invasivos para verificar las zonas de intervención y así revisar de manera detallada para verificar cantidades mínimas de acero de refuerzo longitudinal y transversal en cada uno de los elementos de los pórticos. De acuerdo con la normativa patrimonial, el inmueble puede ser intervenido con un reforzamiento estructural, que permita la reversibilidad de la intervención si en el futuro se considera necesario.

9.1 Propuesta de intervención

Para la propuesta de intervención se consideran las características del inmueble asociadas a este inmueble de conservación integral, como una muestra representativa de la arquitectura moderna en Bogotá, y como memoria histórica de la vida religiosa en la ciudad.

En este sentido, se presentan los criterios teniendo en cuenta lo señalado por la Ley 1185 de 2008 en lo relacionado con niveles de intervención permitidos para bienes declarados de conservación integral.

Tanto la estructura como la arquitectura no han tenido modificaciones con respecto al proyecto original. Con el fin de conservar los valores culturales del bien, se debe evitar pintura, enchapes o pañetes sobre los elementos de fachada que son característicos de la época de construcción y uno de los atributos de valoración del inmueble.

Para detener las patologías existentes, se recomienda implementar los primeros auxilios con verificación de avance, y evidencias en fichas con datos cuantitativos y cualitativos e imágenes del seguimiento.

-Generar mecanismos para evitar el ingreso y presencia permanente de palomas. Reparar fisuras y grietas y en general de las superficies del concreto, raíces o cualquier otro organismo vegetal, y asesorarse de un experto en plantas para evitar nuevamente su crecimiento.

-Reparar las fisuras y grietas iniciando con la remoción de todo el concreto deteriorado o carbonatado, hasta encontrar el material sano. Restituir o resanar con mezcla de baja relación agua –cemento y retracción.

-En los elementos que tengan los aceros en proceso de oxidación se recomienda picar el concreto, descubrir el refuerzo y aplicar inhibidor de corrosión, según indicación de expertos en el tema.

-En los casos de pérdida de sección de elementos como viga y viguetas se deben proteger con mortero estructural impermeabilizado para evitar mayor deterioro, asegurando el recubrimiento del acero de refuerzo.

-Impermeabilizar las cubiertas y fachadas para evitar humedades en muros internos con el fin de garantizar la estabilidad estructural y sanearlo de las fuentes de deterioro.

-Realizar seguimiento y monitoreo a los cambios de verticalidad sentido norte- sur y oriente- occidente, mediante un levantamiento topográfico de nivelación. Identificar asentamientos de la estructura, que se estén produciendo por cambio en el suelo de soporte.

Por ser una edificación de uso público, se recomienda realizar lo antes posible las acciones correspondientes al reforzamiento estructural, que se consideren necesarias para salvaguardar la vida de quienes frecuentan la parroquia.

En el proceso de reforzamiento estructural se deben intervenir, reemplazar o sustituir solamente los elementos que sean indispensables para mejorar la resistencia de la estructura. Para ello se deben identificar las columnas y vigas con déficit de resistencia, y proceder con alguno de los métodos aprobados por la Norma nacional como refuerzo con perfiles angulares de acero anclados con pernos en los extremos de los miembros a reforzar. Esta intervención es menos invasiva que otros métodos como el encamisado,

pero es requerida para el cumplimiento de la norma, y para la seguridad de los usuarios de la edificación. Los nuevos elementos deberán ser datados y distinguirse de los originales. Las intervenciones deben ser legibles y reversibles.

Existen otros métodos como el reforzamiento con fibras de carbono, que ofrecen ventajas en términos de limpieza y eficiencia en tiempo de la intervención, pero son igualmente invasivas con los valores arquitectónicos del concreto a la vista.

Previa al reforzamiento estructural, se recomienda el mantenimiento periódico, documentado con todas las acciones e intervenciones realizadas.

Conclusiones

La metodología planteada deja como evidencia la necesidad del conocimiento holístico para el análisis e intervención de edificaciones patrimoniales. Es de vital importancia identificar la génesis y desarrollo histórico del inmueble para realizar un diagnóstico certero y objetivo. La normativa de carácter patrimonial y los códigos de construcción asociados son indispensables al momento de integrar aspectos técnicos y sociales, ya que estos inmuebles deben permanecer como evidencia de una época en la historia del país, pero también prestar un servicio a la comunidad en el marco de las dinámicas de ciudad y a la luz de los requerimientos actuales.

Queda claro que los edificios patrimoniales son recursos que aportan en la sostenibilidad de las ciudades, en tanto pueden ser recuperados y actualizados para nuevos usos o para continuar con el uso para el cual fueron construidos. El análisis y propuestas presentadas pueden ser determinantes para la toma de decisión por parte de propietarios o administradores

que en algunas ocasiones se enfrentan a indecisiones ante la presión del mercado inmobiliario y la obligatoriedad de conservar los inmuebles por estar declarados patrimonio.

Referencias Bibliográficas

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica
- Berlinov, M., Berlinova, M., Grigorjan, A. (2019). Operational durability of reinforced concrete structures. Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russia <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102012>
- Broto I Comerma, C. (2005). Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción. (A. Mostaedi, Ed.) Barcelona: Structure.
- Calavera Ruiz José Luis (1980). Diseño de estructuras de concreto Armado. Madrid España. Intemac
- Chiné-Polito, B; Cuevas-Kauffmann, R; Jiménez-Salas, R; Ortiz-Quesada, G. (2019). Experimental study of the concrete carbonation. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-2. Abril-Junio 2019. Pág 68-81. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i2.4350>
- Donini, H. Orlor, J. R. (2016). Análisis de las patologías en las estructuras de hormigón armado: causas, inspección, diagnóstico, refuerzo y reparación. Primera edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Fernández Luco L. (2005). Non-destructive evaluation of the concrete cover: Comparative test – Part II: Comparative test of covermeters, *Materials and Structures*, v.38, n.284.
- Frontera, A., & Cladera, A. (2024). Predicción a largo plazo de la resistencia a cortante de vigas de hormigón armado basada en un modelo mecánico considerando la corrosión de la armadura. *Hormigón y Acero*, 75(302-303), 79-90. <https://doi.org/10.33586/hya.2024.3136>
- González M., Humberto, Ojeda F. Omar., Baltazar Z., M.; Arroyo A., Barranco W., García O. (2015). Evaluación de la carbonatación en estructuras de concreto ubicadas en la región Centro-Norte de Veracruz. *Revista Ingeniantes* Año 2 No. 2 Vol. 1
- Hernández Ávila, J. R., Orozco Herazo, Álvaro R., Almanza Mercado, D. J., & Ramírez Montoya, J. (2018). Relación entre resistencia a compresión en cilindros de concreto y los rebotes con esclerómetro digital. *Ingeniare*, (22), 59–68. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.22.1342>
- Iloro, F. H., Ortega, N. O., Esperjesi, L., & Traversa, L. P. (2017). Resistencia a la carbonatación de puentes de hormigón armado con 50 años de vida en servicio en ambiente rural/Carbontacion resistance of concrete bridges with 50 years of life in service in rural environment. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20(1), 1-8. Retrieved from <https://ezproxy.unicolmayor.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/resistencia-la-carbonatación-de-puentes-hormigón/docview/1867931465/se-2>

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2018). NTC-3658. Ingeniería civil y arquitectura. Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas. Bogotá D.C. Primera actualización. Recuperado de: <https://tienda.icontec.org/gp-ingenieria-civil-y-arquitectura-metodo-para-la-obtencion-y-ensayo-de-nucleos-extraidos-y-vigas-de-concreto-aserradas-ntc3658-2018.html>
- Macdonald S., Arato G., A. (2021). Principios de conservación del hormigón de relevancia cultural. Getty Conservation Institute. Recuperado de: https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/GCI_PrinciplesForConcrete%20Spanish_HR.pdf
- Ministerio de Cultura (2023). Resolución 093 de 2023 Plan Especial de Manejo y Protección PEMP del Centro Histórico de Bogotá,
- Rochel Roberto. (2007). Hormigón reforzado Tomo II. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Maldonado L., Rivera G. D., Vela C. Fernando. (2005). Los estudios preliminares en la restauración del patrimonio arquitectónico. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Mairera Libros. Madrid España.
- Saldarriaga, Roa, A., y Fonseca, Martínez, L. (1989). Un siglo de arquitectura colombiana. En A. Tirado Mejía, Nueva historia de Colombia (Vol. VI, pp. 181-212). Bogotá: Planeta.
- Sánchez de Guzmán D. (2006). Durabilidad y patología del concreto. Asocreto. 2da. Reimpresión. Bogotá.
- Sánchez M, F. Garcés C., S. García, C. (2017). Aproximación a las nuevas tecnologías y materiales aplicados en la consolidación y restauración de edificaciones de carácter patrimonial. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
- Serrano-Lanzarote, B., Fenellosa Forner, E., Arnau Paltor, F. (2016). Evaluación de daños y actuaciones de rehabilitación en la iglesia de San Nicolás de Eduardo Torroja (Gandía, 1962). Informes de la Construcción, 68(541): e130, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.139>.
- Solís Romel (2021). Evaluation of concrete columns with the ultrasonic technique. Ingeniería y Desarrollo, vol. 39, núm. 1, pp. 7-24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14482/inde.39.1.624.189>
- Tolosa, R., Arias, N., Giraldo, O., Galindo, J., Cardona, C. (2016). Estudio patológico con empleo de técnicas avanzadas de análisis de materiales de una edificación de concreto reforzado tipo pórtico losa-columna. Revista Internacional TechITT. Nº 38 - JAN 2016 VOL. 14 <https://issuu.com/techitt/docs/rit39/1>.