



RECIBIDO EL 7 DE OCTUBRE DE 2022 - ACEPTADO EL 8 DE DICIEMBRE DE 2022

Method of analysis of the state of conservation and useful life for concrete buildings of the modern era in Colombia.

Método de análisis del estado de conservación y vida útil para edificaciones de hormigón de la época moderna en Colombia.

1 0 1

Florinda Sánchez Moreno¹

Nohora Beatriz Gómez Galindo²

Francisco Javier Lagos Bayona³

Juan Andrés Barbosa Ruiz⁴

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca,

Bogotá, Colombia

Resumen

Uno de los objetivos de la Agenda 2030 de desarrollo sostenible propone las denominadas ciudades sostenibles y resilientes, mediante el

uso eficiente de los recursos. En este contexto, las edificaciones de carácter patrimonial juegan un papel trascendental en esa búsqueda ya que propician la recuperación de edificaciones

¹ *Doctora en Nuevos Recursos y sustentabilidad en Turismo, especialista en Conservación y restauración del patrimonio arquitectónico, Ingeniera civil, Directora 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 *Especialista en Gerencia de proyectos, Administrador y constructor arquitectónico, docente investigador Programa Construcción y gestión en arquitectura, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. jabarbosa@unicolmayor.edu.co ORCID 0000-0001-8419-9536.*



históricas para su puesta en valor en el mundo contemporáneo, sin acudir a grandes consumos de recursos nuevos para construcción, gestionando de manera eficiente, armónica y responsable con otros recursos culturales y naturales. En el marco de los principios de la conservación preventiva de edificaciones patrimoniales, se presenta un estudio de caso en donde se evalúan los factores y se calcula la vida útil, a la luz de la norma ISO 15686, de un edificio de hormigón armado construido en la época moderna en Colombia. Los resultados aportarán en las fases del ciclo de vida con el diagnóstico, y posterior propuesta de intervención, orientada a la preservación de la materialidad de la edificación y la seguridad para sus habitantes sin detrimento de sus valores patrimoniales.

Abstract

One of the objectives of the 2030 Agenda for sustainable development proposes the so-called sustainable and resilient cities, through the efficient use of resources. In this context, heritage buildings play a transcendental role in this search, since they promote the recovery of historic buildings for their enhancement in the contemporary world, without resorting to large consumption of new resources for construction, efficiently managing, harmonious and responsible with other cultural and natural resources. Within the framework of the principles of preventive conservation of heritage buildings, a case study is presented where the factors are evaluated and the useful life is calculated, in light of the ISO 15686 standard, of a reinforced concrete building built in modern times in Colombia. The results will contribute in the phases of the life cycle with the diagnosis, and subsequent intervention proposal, aimed at preserving the materiality of the building and the safety for its inhabitants without detrimento to its heritage values.

Palabras clave

Sostenibilidad, ciclo de vida, edificación patrimonial

Keywords

Sustainability, life cycle, heritage building.

Introducción

El hormigón armado fue el material de elección para muchos arquitectos de la era moderna, y se refleja en diversas construcciones en donde se presenta el material en una multitud de formas creativas e innovadoras que otorgan un distintivo especial a los edificios construidos en la época moderna en Colombia. Muchas de las estructuras más extraordinarias de la era moderna demuestran el potencial del hormigón armado e ilustran la rápida evolución del material a lo largo del siglo XX. En Colombia, este tipo de material fue usado de manera masiva para la construcción de edificios, especialmente en la última mitad del siglo XX (Saldarriaga, Fonseca. 1989), por lo cual se encuentra un gran repertorio de edificios, asociado a la arquitectura de la época moderna, reconocidos en su génesis por las técnicas constructivas novedosas, gran rigor en el diseño y calidad superior en términos de habitabilidad (Niño, Reina.2010), que a lo largo del tiempo ha sido objeto de estudios de valoración patrimonial y de análisis de funcionamiento, a la luz de los nuevos requerimientos de uso y normativas vigentes. Estas edificaciones, en su momento de construcción funcionaron y respondieron de manera satisfactoria para los usos previstos, pero con el transcurrir del tiempo iniciaron un proceso de deterioro, con la presencia de patologías asociadas con agentes endógenos y exógenos que han alterado la vida útil proyectada en sus inicios (Sánchez.2015). A este respecto, en el marco de la construcción sostenible, el International Council con Monuments and Sites (ICOMOS, 2003), generó el planteamiento



teórico que, a nivel internacional fundamenta las tendencias actuales en el tema de la conservación y gestión patrimonial, y planteó la estructuración de principios en un ciclo de cuatro fases: el análisis, el diagnóstico, la terapia y el control (Hernández.2016), que se corresponden respectivamente con la búsqueda de datos e información, la individualización de las causas que provocan deterioro en el patrimonio, la elección de las medidas para revertir los daños, y el control eficaz de las intervenciones realizadas y planificadas (Heras & otros.2013). El citado ciclo, se convierte en una manera eficaz de conservar y reciclar edificaciones, con lo cual se evita la construcción de nuevas edificaciones, contribuyendo a la disminución de las emisiones mundiales del sector de la construcción, que entre 2017 y 2018 aumentaron un 2 %, para alcanzar un máximo histórico (2019 global status report for buildings and construction).

Metodología

103

El proyecto se enmarca dentro del tipo de investigación exploratoria de carácter mixto (cuantitativo - cualitativo), en razón al valor patrimonial que matiza el estudio y genera enfoques desde diversas disciplinas como la arquitectura, la ingeniería, y la gestión cultural entre otras. En este sentido, el proyecto será el punto de partida para investigaciones posteriores en ámbitos más específicos. El caso en la ciudad de Bogotá D.C., corresponde a edificación construida en hormigón armado en la primera mitad del siglo XX, seleccionada del inventario de los Bienes de Interés Cultural adoptado por el Decreto Distrital 606 de julio 26 de 2001. El análisis de la edificación inicia con una revisión de archivos históricos y planos que dan cuenta del ciclo de vida de esta construcción. Se continúa con el trabajo de campo, fichas de levantamiento, registros fotográficos, y ensayos no destructivos que arrojaron datos para identificación de lesiones y patologías en la edificación. Los ensayos y análisis fueron

útiles también para la caracterización de los materiales y técnicas constructivas propias de la época. La información es utilizada en el análisis de los factores para la estimación de la vida útil de las construcciones de la época moderna en Colombia con base en la Norma ISO 15686.

Diversos autores como han incursionado en la evaluación del estado de salud de los edificios patrimoniales; en 2021 Mayank Mishra aportó una revisión sistemática de diversas técnicas de evaluación de edificios de nominada: sistema de inferencia difuso, a partir de la recopilación de autores que se basan en la opinión de profesionales expertos en restauración e inspección, para estimar la vida útil de construcciones patrimoniales con fines de reparación. El sistema de inferencia difuso deja como conclusión que aún existe un margen de mejora de la capacidad predictiva de vida útil y la adopción de métodos de mantenimiento.

En relación a la estructura del edificio, el monitoreo de la salud estructural y la evaluación de daños requiere mayor análisis, ya que están influenciadas por varios factores, como la etapa de producción del material, el transporte, la colocación, la mano de obra, la remoción del encofrado y el curado del concreto. (Mayank Mishra, Paulo B. Lourenço, G.V. Ramana,2022, para lo cual es necesario acudir a diversos ensayos in situ para obtener datos que eventualmente pueden ser cotejados para llegar a resultados concluyentes.

Por su parte Jain, H., Thomas, A., Rajput, T.S. (2023), consideran que el análisis de costos y energía ayuda a los responsables de la toma de decisiones a decidir de manera equilibrada y viable la selección de materiales de construcción y la mejora del rendimiento energético de los edificios, en línea con lo planteado con Global Alliance for Buildings and Construction que en 2020 reportó que las emisiones mundiales del sector de la construcción aumentaron un 2 % entre 2017 y 2018, para alcanzar un máximo

histórico, mientras que la demanda final de energía aumentó un 1 % desde 2017 y un 7 % desde 2010; estos aumentos guardan relación directa con la fuerte expansión de la superficie construida.

Para el caso de las estructuras de hormigón armado, se debe iniciar con un análisis detallado de los componentes: acero y concreto, inicialmente con ensayos no destructivos que orientaran los siguientes pasos a seguir en la evaluación, para tomar decisiones sustentadas en datos y cifras que eviten mayores deterioros a las ya existentes en la edificación (Custance-Baker, A., & Macdonald, S. 2015). En edificaciones patrimoniales, los ensayos a los elementos de concreto son utilizados con mucha frecuencia para evaluar la calidad de los materiales constitutivos del sistema estructural, y determinar el cumplimiento de la

norma NSR 2010 o cualquiera otra vigente en el país (Villate, C. 2018), y también para verificar si las condiciones actuales del hormigón armado garantizan la seguridad de la estructura (Sanchez, Garces & García.2017).

Ahora bien, la norma ISO 15686 recoge muchos de los conceptos aquí planteados, y genera un marco sistemático para llevar a cabo la planificación del ciclo de vida restante de edificios u obras de construcción existentes de la cual hacen parte las edificaciones patrimoniales, con el análisis de siete factores que, ponderados por un valor de vida útil de referencia, arroja la vida útil estimada del edificio en cuestión. Los factores a analizar son: Calidad de los componentes, nivel de diseño, nivel de calidad en la ejecución de las obras, condiciones interiores, condiciones de exposición exteriores, Condiciones de uso, y nivel de mantenimiento. (Norma ISO 15686.2011).

Tabla 1

Factores para análisis del ciclo de vida de una edificación patrimonial

FACTOR	Principales aspectos a analizar
1 Nivel de diseño	Calidad a nivel de diseños del proyecto, en las especialidades requeridas.
2 Calidad de los componentes	Cumplimiento de normas técnicas en todos materiales utilizados. Otros componentes que deben cubrir las necesidades funcionales y ambientales de la edificación
3 Nivel de calidad de la ejecución de las obras	Procesos constructivos acorde a las normas vigentes, y según requerimientos de la técnica utilizada para el momento de construcción.
4 Condiciones interiores	Cambios de temperatura, ventilación, iluminación, capilaridad, filtraciones, fallas por diseño, presencia de insectos, y otros factores que puedan generar deterioro en los materiales de la edificación, en sus componentes o en sus elementos patrimoniales.
5 Condiciones de exposición exteriores	Viento, lluvia ácida, radiación, esfuerzos mecánicos por presencia de plantas, contaminación ambiental, asentamientos por construcciones vecinas, u otros que puedan generar de manera directa o indirecta en el deterioro de los componentes constructivos o en el funcionamiento de la edificación, o en alguna de sus fachadas.



6	Condiciones de uso	Cambio excesivo en las cargas vivas esperadas, adición de carga muerta, eliminación de vanos de ventilación, eliminación de elementos de soporte estructural, modificación de sistemas sin el recalcu respectivo. Modificación o eliminación de elementos patrimoniales que alteren el valor histórico del edificio.
7	Nivel de mantenimiento	Inspecciones visuales y técnicas según un plan de mantenimiento programado, que orienten las labores de limpieza trabajos de reposición, primeros auxilios y conservación en general.

Nota: Adaptado de Norma ISO 15686 International Standards Organization (2011)

Para cada uno de estos factores, se asignan valores de 0,8 -1 -1,2 en función del efecto sobre el elemento así: baja media, o alta respectivamente (Hernández.2016. p.72). Según la norma, la vida útil estimada puede expresarse mediante la formula:

$$VUE = VUR \times \text{factor 1} \times \text{factor 2} \times \text{factor 3} \times \text{factor 4} \times \text{factor 5} \times \text{factor 6} \times \text{factor 7}.$$

VUE= Vida útil estimada

VUR= Vida útil de referencia

Tabla 2

Valoración para factores del ciclo de vida de una edificación patrimonial

Valoración cualitativa	Valoración cuantitativa
Baja	0.8
Media	1.0
Alta	1.2

Nota: Adaptado de Hernández.2016.p.72

Si bien, para construcciones nuevas el ciclo de vida incluye el inicio, la definición del proyecto, el diseño, la construcción, la puesta en servicio, la operación, el mantenimiento, la restauración, el reemplazo, la deconstrucción y la disposición final y el reciclaje (Hernandez.2019), para el caso de las edificaciones consideradas históricas o declaradas como patrimoniales, la aplicación de la norma ISO 15686 es útil en la medida en que se estiman principalmente la vida útil de los componentes que aún están en servicio, la pérdida de desempeño de algún componente para una respuesta satisfactoria según especificaciones, y la identificación de aquellos que requieran procesos de intervención o mantenimiento, entendidas

como la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas durante el ciclo de vida. Para el valor de la vida útil de referencia VUR, se adoptan valores sugeridos por (Hernandez.2019), a partir de datos emitidos por Canadian Standards Association, 2001 Australian Building Codes Board, 2006; International Standards Organization, (2000); que para edificios residenciales, comerciales, de oficinas, de salud, de educación plantea un valor entre 50 y 99 años.

Resultados

De acuerdo a la metodología planteada, según la norma ISO 15686, se presenta a continuación



el análisis realizado a cada factor de acuerdo a las condiciones específicas del caso de estudio. El edificio, localizado en la ciudad de Bogotá, fue construido en hormigón armado entre los años 1952 y 1958 y hace parte del inventario de Bienes de Interés Cultural adoptado por el Decreto Distrital 606 de julio 26 de 2001. El edificio hace parte de un centro urbano de uso residencial diseñado por Rafael Esguerra, Enrique García Merlano, Daniel Suárez, Juan Meléndez y Néstor Gutiérrez, reconocidos arquitectos de la época moderna en Colombia (Ulloa.2018). Permanece con uso residencial del nivel 7 al 13, y en desuso en ellos niveles 6 al 1. Clasificada como grupo de uso I, sistema estructural combinado columnas pantallas y vigas en concreto resistentes a momentos, con 13 niveles, placas aligeradas en una dirección. cimentación superficial combinada con pilotes. Los elementos del pórtico estructural tienen columnas de sección mínima de 25 cm y vigas de altura de 40cm.

1 0 6

1. Nivel de diseño

El diseño arquitectónico fue liderado por el reconocido arquitecto Rafael Esguerra García. Arquitecto por la Universidad Nacional de Colombia, socio fundador de Esguerra Sáenz Urdaneta y Suárez, y director del Departamento de estructuras de la misma firma. Fue, junto con Germán Samper, Doménico Parma y Antonio Páez, pionero en desarrollo técnico de edificios como la torre Avianca, el desplazamiento del edificio Cudecóm, obras que hoy en día son iconos de la arquitectura colombiana (Villate Matiz.2013).

El diseño estructural fue realizado bajo la dirección de Doménico Parma Marré, ingeniero mecánico de origen italiano, quien llegó a Bogotá en 1946, reconocido por su aporte al diseño estructural especialmente en relación con técnicas de postensado y sistemas de losas de reticular celular RET-CEL (Villate Matiz, 2013). En 1947, el ingeniero Doménico Parma inicio el

diseño estructural del edificio sobre los planos arquitectónicos del arquitecto Rafael Urdaneta, con la propuesta de un sistema reticular para entrepisos armados en dos direcciones (Vargas Caicedo.2009).

La presencia de estos profesionales de la arquitectura y la ingeniería, reconocidos a nivel nacional durante la época moderna, evidencia la calidad a nivel de diseños del proyecto, en las especialidades requeridas.

Valoración Factor No. 1, valoración alta =1,2

2. Calidad de los componentes

El hormigón armado es una mezcla de cemento, agregados, arena y agua, componentes estos que aportan a la resistencia a la compresión, sumados a elementos de acero que complementan su resistencia a la tracción. En este sentido la vida útil del hormigón depende del buen comportamiento de estos materiales a lo largo de tiempo, siendo necesario revisar las diversas fuentes de patologías de sus componentes y del conjunto en general.

Carbonatación: corresponde a un proceso químico que afecta la resistencia mecánica del concreto. La carbonatación en el concreto es la disminución de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad relativa media dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio (con alto pH) a carbonato de calcio, el cual tiene un pH más neutral. Según Posada (2012.p.87), se pueden encontrar concretos carbonatados debido a la presencia de grietas que permiten el ingreso de dióxido de carbono provenientes del aire o de la lluvia, que reaccionan con el hidróxido de calcio para formar carbonato, el cual, por hidrólisis genera ácidos. En los casos en que la carbonatación penetre en el concreto el recubrimiento mínimo, puede afectar también el acero de refuerzo. Para edificios construidos a partir de año 2010, el recubrimiento mínimo

requerido para vigas y columnas no expuestas a la intemperie, es de 40 mm, según la Norma colombiana de sismoresistencia NSR 2010. El grado de carbonatación se establece mediante la aplicación de fenolftaleína sobre el elemento de concreto (Donini Hugo Juan & Orlor Rodolfo.2016). En un elemento de concreto, la carbonatación se detecta aplicando el reactivo denominado fenolftaleína en hidro-alcohol (70% de alcohol y 30% de agua), directamente en la superficie del concreto, y sobre núcleos

extraídos del frente de carbonatación. El test consiste en rociar un hormigón recién fracturado (es decir, no expuesto anteriormente al aire), con una solución al 1% de fenolftaleína en hidro-alcohol. Si el color del hormigón impregnado vira a un púrpura intenso, se interpreta como No carbonatado, y si no cambia de color se interpreta como carbonatado.

La siguiente tabla presenta los resultados de carbonatación hallados en el caso estudiado.

Tabla 3

Valoración para factores del ciclo de vida de una edificación patrimonial

Elemento	Costado	Recubrimiento existente	Frente de carbonatación
Columna 1.	Norte	39 mm	15 mm
Columna 2	Sur	50 mm	34 mm

Nota: Datos estudio de caso. Fuente: autores

107

Una vez impregnados los dos elementos, permanecieron con el color original en mínimas medidas tal como lo indica la table No. 3, lo que indica bajo nivel de carbonatación. De otra parte, siendo los recubrimientos de 39 mm y 50 mm respectivamente para los dos elementos analizados, el frente de carbonatación no llega al recubrimiento mínimo, por lo cual se deduce que no genera afectación en el acero de refuerzo.

Resistencia a la compresión

La evaluación de resistencia por medio de cilindros de concreto es una de las maneras más comunes de obtener información precisa acerca de la resistencia de una estructura en concreto en el transcurso de la obra, bien sea para verificación de cumplimiento en especificaciones, cuando han ocurrido anomalías en el desarrollo de la construcción, por fallas de curado, o por aplicación temprana de cargas. Para obras nuevas, este ensayo es el único aprobado por la NSR 2010, y la resistencia mínima comprobada debe ser 17 megapascales Mp. Según

McCormac, J. C.& Brown, R. H. (2017.p.12), la mayoría de concretos de alta resistencia usados en la práctica cuentan con valores de resistencia que oscilan entre las 2.500 y las 7.000 libras/pulg². Para obtener la resistencia del concreto envejecido, se obtienen tres muestras representativas o testigos del concreto, extraídas por medio de un taladro, en conjunto con brocas diamantadas de forma cilíndrica. Dichas muestras obtenidas, se someten a un proceso de preparación y alistamiento para su respectiva falla a compresión, máximo en los 7 días siguientes a su extracción (NTC-2018).

En estructuras de edificaciones históricas se realizan estas pruebas cuando no se cuenta con registros de resistencia, cuando se han incrementado las cargas vivas o muertas, cuando ha ocurrido un incendio, o cuando se presentan diversas patologías asociadas a la degradación del concreto. Este test forma parte del grupo de ensayos destructivos para identificar patologías en estructuras envejecidas.



La tabla No. 4 presenta los resultados de resistencia a la compresión en 3 testigos fallados para el caso de estudio.

Tabla 4
Resistencia a la compresión de núcleos de concreto

Elemento	Costado	Resistencia de referencia $f'c$ (libras/pulg ²)	Resistencia a la compresión $f'c$ (libras/pulg ²)
Columna 1	Norte	2500	3774
Columna 2	Sur	2500	3288
Viga 1	Norte	2500	3530
Viga 2	Sur	2500	3588

Nota: Datos estudio de caso. Fuente: autores

Los resultados presentados en la tabla No. 4 evidencia valores de resistencia a la compresión que superan los valores de referencia recomendados para concretos de alta resistencia, especialmente para elementos principales de la estructura como lo son las columnas y las vigas.

Acero de refuerzo

Las estructuras en concreto (hormigón armado), se refuerzan con varillas de acero lisas o corrugadas de sección redonda, estas últimas dispuestas de manera longitudinal, con protuberancias en sus superficies para aumentar la adherencia entre concreto y acero. Por su parte, las varillas lisas se usan para rodear las varillas longitudinales, especialmente en columnas (McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2017.p.23,24). La NSR 2010 indica que, para el concreto estructural, el refuerzo debe ser corrugado, y que el refuerzo liso solo puede utilizarse en estribos, espirales o tendones. Los aceros de las varillas se presentan en diferentes grados 50,60, que corresponden al límite de fluencia del acero, expresado en libras/pulg².

Según la NTC 2289, las barras corrugadas tienen una única resistencia a la fluencia mínima, conocida como 60 000 psi (420 MPa), designado como grado 60 (420).

Únicamente las varillas corrugadas cuentan con marcas características en alto relieve, en donde se identifican el diámetro de la varilla en octavos de pulgada, y el grado en número arábigo.

Con el fin de conocer información del acero de refuerzo para el caso de estudio se empleó el equipo de escaneo con el cual se identificó la posición de las barras de acero. El escáner o detector de corrugados, permitió la inspección no destructiva, y proporcionó información relacionada con diámetro nominal de las varillas, disposición en sentido horizontal y vertical, separación entre varillas, su profundidad en el concreto y presencia de corrosión. De igual manera el escáner de corrugados facilitó la extracción de núcleos de concreto, ya que se generó el diagrama completo de la ubicación de aceros, evitando así daños en las brocas utilizadas para la extracción de núcleos.

**Tabla 5**

Acero de refuerzo encontrado en las columnas del caso de estudio

Elemento	Costado	Diámetro varilla corrugada longitudinal	Resistencia a la fluencia f'_{y} (libras/pulg ²)	Diámetro refuerzo liso para estribos
Columna 1	Norte	#7- 22.2 mm	60.000	#3- 9.5 mm
Columna 2	Sur	#7- 22.2 mm	60.000	#3- 9.5 mm

Nota: Datos estudio de caso. Fuente: autores

La tabla No.5 presenta los diámetros encontrados en varillas de refuerzo longitudinal y en acero liso de estribos para los elementos analizados. En este sentido, y de acuerdo a las normas citadas por diversas fuentes, la estructura fue construida con aceros de refuerzo que cumplen estándares de diámetro y resistencia a la fluencia. De otra parte, de acuerdo con en el informe entregado por el laboratorio, no se evidencia corrosión en los elementos de acero, y el recubrimiento de concreto supera los límites mínimos queridos.

A la luz de lo descrito, el cumplimiento de normas técnicas en los materiales utilizados se cumple en grado medio, ya que, a pesar de haber sido construido antes de la entrada en vigencia de la NSR 2010, se evidencia buena calidad del concreto y acero de los elementos estructurales.

Valoración Factor No. 2, valoración media=1

3. Nivel de calidad de la ejecución de obras

El sistema constructivo se ajusta a lo consignado en la propuesta arquitectónica y al diseño estructural de la época de origen del edificio. Se encuentra una construcción de losas reticulares celuladas sobre columnas de concreto reforzado a la vista, que evidencia calidad en la formaleta y en el proceso de fundida del concreto. Las fachadas compuestas por muros en ladrillo a la vista presentan alineación y niveles apropiados, sin desplomes evidentes, con juntas tanto verticales como horizontales con

espesor uniforme, y pintadas de color amarillo homogéneo. Las unidades de mampostería se encuentran sanas y sin fisuras. En los puntos fijos, las fachadas se encuentran recubiertas completamente por aplacados en piedra amarilla, con un alto nivel de detalle constructivo. Estos puntos fijos de escaleras, se ventilan por paramentos en celosía de concreto confinadas entre las vigas y columnas de concreto. Al interior, el edificio presenta modificaciones al diseño original, ya que fueron demolidos los muros divisorios y los recubrimientos de las polacas de entrepiso. Igualmente, en el primer piso, se adosaron otros elementos como locales en la planta del primer piso, lo cual genero la pérdida de la principal caracterisca que era la planta libre y la comunicación con las áreas abiertas del conjunto.

Valoración Factor No. 3, valoración media=1

4. Condiciones interiores

Si bien, el edificio aún conserva el uso original residencial en los niveles superiores (piso 7 al 13), los niveles bajos (del 6 al 1) permanecen en desuso y en estado de aparente abandono, ya que se evidencia la perdida de muros de la fechada posterior lo cual genera ingreso de agua lluvia, y sustancias nocivas del medio ambiente, que han ocasionado el deterior de algunos recubrimientos en muros y placas de entrepiso. La presencia permanente de palomas



es otro factor que afecta de manera negativa a la edificación, ya que el ácido de los excrementos ha deteriorado algunos morteros de pega generando desprendimientos de mampostería al interior, y desprendimientos de piezas del aplicado de piedra en el exterior. Algunos de los ductos originales se encuentran en de uso y con fisuras por lo cual se perciben diversos puntos de humedad por agua descendente y por capilaridad. La estructura no presenta problemas estructuras, debido entre otros, al generoso tamaño de los elementos estructurales.

Valoración Factor No. 4, valoración baja =0,8

5. Condiciones de exposición exteriores

El edificio se encuentra separado por justas de dilación por lo cual funciona de manera independiente y no presenta asentamientos o desniveles representativo en su conjunto. No se presentan proceso de construcciones vecinas que puedan afecta de manera directa o indirecta el suelo o subsuelo de la edificación. La fachada tiene algunas afectaciones, como ya se mencionó, por efecto del excremento de palomas que tomaron posesión al interior de la edificación en los pisos inferiores.

Valoración Factor No. 5, valoración media =1,0

6. Condiciones de uso

El edificio tiene uso residencial en los pisos superiores, pero en los pisos inferiores se encuentra en abandono con las consecuencias que esto genera, altos niveles de residuos, escasa iluminación, vientos cruzados por la ausencia de fachada posterior, eliminación de algunos muros interiores. Se encuentra también afectación a las cargas originales, por balcones adosados en reformas posteriores a su construcción, y muros en bloque que cierran vanos originales y adicionan carga muerta a la estructura original.

Valoración Factor No. 6, valoración baja =0,8

7. Nivel de mantenimiento

La patología en términos médicos es aplicada en el área de la salud para estudiar las enfermedades y sus causas. Por extensión, según Broto (2005), la patología constructiva de la edificación se orienta al estudio de los problemas constructivos que aparecen en el edificio o en alguna de sus unidades con posterioridad a su ejecución, manifestadas mediante lesiones de origen físico, mecánico o químico, consideradas el síntoma final del proceso patológico. En el contexto de análisis para la vida útil de una edificación, "la patología preventiva consiste en considerar la funcionalidad constructiva de los elementos y unidades que componen un edificio, su durabilidad e integridad" (Broto.2005.pa.g.31), lo cual debe ser previsto desde el mismo momento del diseño, en la etapa de construcción con procesos de calidad y selección de materiales que cumplan las especificaciones técnicas establecidas en el diseño, y en etapas posteriores de uso para su correcto mantenimiento, control y seguimiento. En el caso estudiado se presentan patologías de origen mecánico y físico que conducen a lesiones cada vez más graves, en la medida en que no se cuenta con un plan de primeros auxilios o de conservación preventiva:

-Elementos de concreto cercanos a las fachadas están expuestos a la intemperie, lo cual ha generado el crecimiento de musgos, vegetación y hongos que deterioran el concreto o viven del material cementante que se encuentra en él.

-Algunas placas de borde de 70 cms, adicionadas a la placa original para aumentar área, no generan cohesión con la placa original, y amenazan con desprendimientos y caída.

-Desprendimiento del recubrimiento de concreto en placas de contrapiso cercanas a las fachadas,



dejando expuesto el acero de refuerzo, con el inicio de procesos de oxidación.

No se encuentra ningún tipo de adecuación o plan de mantenimiento que propenda por la eliminación de las patologías o disminución de las lesiones existentes.

Valoración Factor No. 7, valoración baja =0,8

Vida útil estimada

Tabla 6

Valoración de factores para el cálculo de la vida útil del caso de estudio

FACTOR	Valoración cualitativa	Valoración cualitativa
1 Nivel de diseño	Alto	1,2
2 Calidad de los componentes	Medio	1,0
3 Nivel de calidad de la ejecución de las obras	Medio	1,0
4 Condiciones interiores	Bajo	0,8
5 Condiciones de exposición exteriores	Medio	1,0
6 Condiciones de uso	Bajo	0,8
7 Nivel de mantenimiento	Bajo	0,8

Nota: Datos compilados a partir del análisis de cada factor

VUE = VUR x factor 1 x factor 2 x factor 3 x factor 4 x factor 5 x factor 6 x factor 7.

VUE = 99 x 1,2 x 1 x 1 x 0,8 x 1 x 0,8 x 0,8

VUE = 60 **AÑOS**

Conclusiones

La vida útil de la edificación alcanzó un máximo de 60 años, determinado por los factores evaluados según la metodología propuesta por la ISO 15686. Se evidencia el peso que tienen los factores de condiciones interiores, condiciones de uso y nivel de mantenimiento, que, al contar con la valoración más baja, inciden en la drástica disminución de la vida útil de la edificación. Igualmente, se evidencia la importancia que representa contar con un buen nivel de diseños, y de calidad en los procesos constructivos y en los materiales de construcción, que, para el caso de edificaciones históricas, son

procesos irreversibles que no pueden mejorar la valoración, como si es posible en la proyección de vida útil de edificaciones por construir. Las condiciones externas son también un factor determinante que no depende de manera directa de los usuarios o administradores del bien inmueble, lo cual genera reflexiones frente a la responsabilidad de la comunidad sobre los bienes de interés patrimonial y su conservación para generaciones futuras. De otra parte, de acuerdo al año de construcción (1958), el edificio analizado ha pervivido por más de 60 años, y se espera que perdure por otros 60 años, según el resultado obtenido, sin embargo, al mejorar a "Alto" las condiciones de uso y el nivel de



mantenimiento, la vida útil incrementaría a 95 años, según la fórmula planteada.

La metodología aplicada evidencia que la vida útil de las edificaciones antiguas depende en gran medida de la apropiación del bien inmueble por parte de todos los actores inmersos en su gestión, y su incorporación para nuevos usos a la luz de las dinámicas actuales de revitalización y sostenibilidad. El abandono de un bien inmueble puede llevar a la ruina y a la pérdida de los valores patrimoniales, con saldo negativo para la comunidad en general. Ante este panorama, se deben abordar sin pérdida de tiempo, las siguientes etapas del ciclo de vida planteadas por Hernández (2019): el diagnóstico, la terapia y el control, de tal manera que la próxima evaluación genere resultados alentadores de vida útil, en beneficio del bien inmueble y de la comunidad. Todas las acciones deben estar orientadas a detener las patologías identificadas y disminuir las lesiones existentes, de tal manera que se recuperen las condiciones de uso para la puesta en marcha de un proyecto sostenible y eficiente.

Referencias Bibliográficas

- Anaya Estévez, P. E. Castellanos, Rojas, H. A. Ceballos, Molina, J. A. (sf) *Propuesta matriz de factores para la estimación de la vida útil de las construcciones en Colombia con base en la Norma ISO 15686*
- Aseem, A., Baloch, W. L., Khushnood, R. A., & Mushtaq, A. (2019). Structural health assessment of fire damaged building using non-destructive testing and micro-graphical forensic analysis: a case study. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00258.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica
- Buildings and constructed assets-Service Life Planning, part 8: General Principles, Ginebra, ISO
- Broto I Comerma, C. (2005). *Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción*. (A. Mostaedi, Ed.) Barcelona: Structure.
- Cuban National Bureau of Standards (2015) *Edificios y bienes inmobiliarios construidos. Planificación de la vida de servicio — parte 1: principios generales y estructura (ISO 15686-1: 2011, IDT) 1ª Edición*. La Habana Cuba.
- Custance-Baker, A., & Macdonald, S. (2015). *Reunión de expertos en conservación del patrimonio concreto: The Getty Center, Los Ángeles, California, del 9 al 11 de junio de 2014*. Obtenido de Los Ángeles: Getty Conservation Institute: <http://hdl.handle.net/10020/gc>
- Donini, H. Orler, 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.
- Getty Research Institute. (28 de 07 de 2020). *Art & Architecture Thesaurus® Online*. Obtenido de Vocabularios Getty: https://www.getty.edu/vow/AATFullDisplay?find=hormigon&logic=AND¬e=&english=N&prev_page=1&subjectid=300010737



- Global Alliance for Buildings and Construction (2020). Emisiones del sector de los edificios alcanzaron nivel récord en 2019: informe de la ONU. <https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction>.
- Hager, I. Colour Change in Heated Concrete. *Fire Technol* 50, 945–958 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10694-012-0320-7>
- Hernández, S. (2016) Cómo se mide la vida útil de los edificios. En *Revista Ciencia* págs. 68-73. Octubre-diciembre 2016 volumen 67 número 4. Universidad autónoma del Estado de México.
- 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>
- 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>
- International Standards Organization (2008), ISO 15686- 8:2008, Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 8
- Jain, H., Thomas, A., Rajput, T.S. (2022). A Multi-objective Optimization Framework for Sustainable Retrofit of Indian Buildings. In: Saha, S., Sajith, A.S., Sahoo, D.R., Sarkar, P. (eds) *Recent Advances in Materials, Mechanics and Structures. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 269. Springer, Singapore. https://ezproxy.unicolmayor.edu.co:2162/10.1007/978-981-19-3371-4_7
- McCormac, J. C. Brown, R. H. (2017). *Diseño de concreto reforzado*. Edición 1 0 . Editor Alpha Editorial.
- Mayank Mishra (2021). Machine learning techniques for structural health monitoring of heritage buildings: A state-of-the-art review and case studies, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 47, Pages 227-245, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.005>.
- Mayank Mishra, Paulo B. Lourenço, G.V. Ramana (2022). Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review, *Journal of Building Engineering*, Volume 48, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103954>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022101812X>)
- Niño, C. Mendoza, S. (2010). *La carrera de la modernidad. Construcción de la carrera Décima*. Bogotá (1945-1960). Primera Edición. Instituto distrital de patrimonio cultural. Bogotá.
- Parra, H. / Periódico El Tiempo (2018). Centro Antonio Nariño, la primera ciudadela del país cumple 60 años. Documento web. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/bogota/centro-antonio-narino-cumple-60-anos-274704>



Posada, B. (2012). La degradación del concreto armado. *Revista Universidad EAFIT*, 30(93), 83–98. Recuperado a partir de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1417>

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 Moreno, F. Garcés Corzo, S. García Montoya, L. (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.

Vargas Caicedo, H. (2011). *Arquitectos y constructores: notas sobre el trabajo de equipo en Esguerra Sáenz y Samper*. M. Escobar (Ed.), Germán Samper. Bogotá: Diego Samper Ediciones.

Villate Matiz, C. (2013) *Innovaciones técnicas del edificio Pan American Life en Bogotá. Caso de estudio*. En blanco. *Revista de arquitectura*, Vol. 5 No. 12, pp. 13-17. Universidad Politécnica de Valencia.