

4

Evaluación Estructural De Una Edificación Del Casco Histórico De La Habana

Structural evaluation of a building in the historic center of Havana

Autores

Javier Muñagorri Pérez

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", monagorrijavier@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-7921-1996>

David Méndez Juliá

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" davidjuliamendez@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-3334-3897>

Ginet María Guerrero Porras

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". ginny050498@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-9114-6146>

Thalia Pérez Martínez

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", toty9809@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-3681-8687>

Gerardo Pérez Martínez

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", grar2pm@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-9311-0808>

Alejandro Miguel Guerra González

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", amgglez02@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0003-8142-8403>

Katia Luis García

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", katialuisg@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-1861-6017>

Alejandro López Llanusa

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", lopezllanusa@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-9938-837X>

4

Evaluación Estructural De Una Edificación Del Casco Histórico De La Habana

Resumen

Los trabajos de conservación del patrimonio histórico de la ciudad de La Habana comprenden actividades ingenieriles destinadas a mantener en óptimas condiciones las edificaciones. Las construcciones que integran el complejo histórico de La Habana Vieja presentan afectaciones estructurales debido a la degradación física de los materiales y a los cambios de uso de los inmuebles, entre otras razones. Cuando se requiere cambiar el uso de una edificación, es esencial evaluar su estado técnico y calcular su capacidad de carga. El proceso de evaluación estructural abarca la consulta de los planos originales, la inspección visual de la estructura, la identificación de los materiales utilizados y la aplicación de las normativas vigentes relacionadas con el diseño y la seguridad estructural. En la actualidad, la reutilización de edificios existentes ha ganado relevancia como una práctica común, impulsada por la necesidad de optimizar recursos, reducir costos y minimizar el impacto ambiental asociado a la construcción de nuevas estructuras. No obstante, estas acciones implican considerar aspectos técnicos y estructurales que deben ser evaluados para garantizar la seguridad, funcionalidad y el cumplimiento normativo del inmueble. El objetivo de esta investigación es la evaluación estructural de una edificación pública del casco histórico de La Habana Vieja mediante la determinación de su capacidad portante. El resultado final es la respuesta de la estructura en términos de desplazamientos, fuerzas interiores y la relación demanda/capacidad de los elementos estructurales. Finalmente, se dictamina sobre la posibilidad de incremento de las cargas en el inmueble.

Palabras Clave: capacidad de carga, conservación, deterioros, evaluación estructural, resistencia

Abstract

The conservation work on the Havana's historical heritage includes engineering activities aimed at maintaining buildings in optimal condition. The structures that make up the historic complex of Old Havana present structural damage due to the physical degradation of materials and changes in the use of the buildings, among other reasons. When a change in a building's use is required, it is essential to evaluate its technical condition and calculate its load-bearing capacity. The structural evaluation process involves consulting the original blueprints, a visual inspection of the structure, identifying the materials used, and applying current regulations related to design and structural safety. Currently, the reuse of existing buildings has gained relevance as a common practice, driven by the need to optimize resources, reduce costs, and minimize the environmental impact associated with the construction of new structures. However, these actions require considering technical and structural aspects that must be evaluated to guarantee the building's safety, functionality, and regulatory compliance. The objective of this work is the evaluation of the technical condition of a public building in the historic core of Old Havana and the determination of its load-bearing capacity. The final result is the structure's response in terms of displacements, internal forces, and the demand/capacity ratio of the structural elements. Finally, a ruling is made on the possibility of increasing the loads on the property.

Keywords: conservation, damages, load-bearing capacity, resistance, structural evaluation

Nota Editorial: Recibido: 13 de enero 2026 Aceptado: 25 de marzo 2026

1. INTRODUCCIÓN

En 1982, el Centro Histórico de La Habana fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, destacándose por su heterogeneidad constructiva y estilos arquitectónicos desarrollados a lo largo de su historia [1]. Desde entonces, el gobierno cubano se ha propuesto llevar a cabo acciones de conservación que permitan mantener en estado óptimo la mayor parte de la infraestructura del casco histórico de La Habana.

La conservación patrimonial ha evolucionado hacia un enfoque multidisciplinario donde la innovación científica resulta fundamental para desarrollar soluciones efectivas que mitiguen los procesos de deterioro [2-4]. En el caso de las edificaciones históricas, estas obedecen a múltiples factores como el envejecimiento natural de los materiales, la acción agresiva del ambiente costero, las intervenciones inadecuadas y la falta de mantenimiento sistemático, entre otros. En el contexto específico del casco histórico de La Habana Vieja, el ambiente costero acelera notablemente los deterioros en las estructuras [5], [6], [7]. A estos factores se suman las modificaciones estructurales realizadas sin los respectivos estudios de cargas, lo que compromete aún más la integridad de los inmuebles.

El cambio de uso de una edificación puede generar incrementos en las cargas de diseño original, lo cual precisa un estudio de la capacidad resistente actual de la estructura. Si se trata de una estructura con cierto grado de antigüedad, el primer paso es el levantamiento arquitectónico de la edificación y la identificación de los deterioros presentes. Posteriormente, se realiza la evaluación de los materiales que la componen y finalmente es posible obtener el comportamiento estructural de la edificación [8].

La estimación de la calidad de los materiales, así como la disposición de los aceros dentro de la masa de hormigón, se puede realizar mediante la ejecución de ensayos no destructivos [9], [10]. De esta forma se eliminan incertidumbres presentes en el proceso de simulación del estado actual de la estructura para predecir su comportamiento ya sea mediante métodos analíticos o la utilización de programas computacionales [11], [12]. Ortega et al. en su trabajo [13], describen ejemplos de calibración de modelos computacionales a partir de ensayos no destructivos tales como ensayos sónicos para evaluar la heterogeneidad de la mampostería y la obtención de las características dinámicas a partir de registros de aceleraciones. Estos últimos parámetros fueron empleados para detectar si algunas grietas existentes eran activas y qué influencia tenían en la respuesta de la estructura.

En su trabajo de 2012, Chávez Hernández et al. [14] aplicaron la metodología "Procedimiento para el diagnóstico patológico de edificaciones patrimoniales de alta complejidad a través de técnicas computacionales", la cual combina las técnicas de simulación computacional y el uso de ensayos. La metodología establece cuatro etapas de trabajo, y dentro de estas una serie de acciones particulares. La etapa uno se enfoca en la inspección preliminar, la etapa dos consiste en obtener las características de los materiales que componen el objeto de estudio y para esto, cuando sea necesario, realizar ensayos destructivos o no destructivos. Con esta información se construyen modelos que permitan predecir el comportamiento de la estructura y posteriormente proceder a realizar el diagnóstico patológico. La etapa cuatro y final establece las propuestas de actuación para la conservación del inmueble.

Este enfoque metodológico, que integra la inspección, la caracterización de materiales mediante ensayos no destructivos y la simulación computacional, se alinea con las prácticas contemporáneas de monitorización de la salud estructural (SHM, por sus siglas en inglés) para patrimonio construido. Como señalan Rossi y Bournas en una reciente revisión del estado del arte [15], la combinación de técnicas de inspección in-situ con modelos numéricos calibrados constituye actualmente la vía más fiable para evaluar la capacidad portante y predecir el comportamiento de estructuras históricas, especialmente cuando se enfrentan a cambios de uso o a condiciones ambientales agresivas.

El objetivo de la presente investigación es la evaluación estructural de una edificación pública del casco histórico de La Habana Vieja y determinar su capacidad portante. El objeto de estudio fue un inmueble construido entre los años 1916 y 1920. La edificación cuenta con cuatro niveles, para una altura total de 21 m, está dividida en dos edificios con fachada continua. Dichos edificios presentan diferentes usos y se comunican en su interior a partir del tercer nivel y en este trabajo se denominan edificio A y edificio B.

2. DESARROLLO

La investigación se desarrolló según las siguientes tareas: 1. Inspección de los edificios y levantamiento de los elementos estructurales. 2. Consulta de la documentación existente (planos e informes) para complementar el levantamiento de los elementos estructurales. 3. Levantamiento de deterioros, identificación de causas y consecuencias. 4. Construcción del modelo 3D de los edificios en el software Revit para la extracción de planos arquitectónicos. 5. Construcción del modelo de elementos finitos en el software ETABS [16] para el análisis estructural de los edificios. 6. Estudio de cargas de uso existentes y nuevas propuestas de cargas. 7. Realización de ensayos no destructivos.

2.1 DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA Y ESTRUCTURAL DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

Construido entre los años 1916 y 1920, el edificio se encuentra ubicado en el centro de La Habana Vieja. Es un ejemplo representativo de la arquitectura colonial cubana, con influencias barrocas y neoclásicas, adaptada a las necesidades funcionales y simbólicas de su uso actual. Se sitúa dentro de un tejido urbano caracterizado por calles estrechas, plazas históricas y edificaciones que datan de los siglos XVIII y XIX. La construcción original responde a la tipología de vivienda colonial, con un patio central como elemento organizador de los espacios. Con el tiempo, el edificio ha sido objeto de intervenciones con modificaciones y adaptación para su uso, de las cuales no existe registro continuo. Debido a esto, la primera tarea planteada en este trabajo fue el levantamiento de la distribución real de elementos estructurales y la confección de los planos.

El inmueble presenta una volumetría ortogonal compacta, con altura de cuatro niveles, típica de la arquitectura colonial habanera. La fachada principal se caracteriza por su composición simétrica, la presencia de portal corrido de doble puntal y arcos de medio punto, elemento distintivo de la arquitectura barroca cubana. Los materiales empleados en el edificio son la piedra, madera y tras las intervenciones se ha incorporado el vidrio, el cual se ha empleado de modo racional siendo compatible con los esquemas tradicionales. Además, se han realizado refuerzos estructurales en áreas específicas para garantizar la estabilidad del edificio, respetando su configuración original.

El edificio A posee como estructura soporte principal en el interior columnas apoyadas en capiteles, y en el perímetro posee columnas y vigas. En el caso del edificio B la estructura principal es de columna con capitel, aunque en los niveles superiores existe refuerzo estructural con vigas metálicas. Dicho refuerzo se colocó en un estudio precedente con doble función, la primera como apuntalamiento para la sustitución de la losa y luego se dejó como elemento rigidizador. Para el levantamiento arquitectónico y la elaboración de los planos se empleó el software Autodesk Revit [17] (ver figura 1).



Fig. 1- Esquema en planta de los edificios objeto de estudio.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS, CAUSAS Y CONSECUENCIAS ESTRUCTURALES

En los estudios de defectación en edificaciones se pueden encontrar deterioros estructurales, no estructurales y de instalaciones ya sean hidráulicas o sanitarias [18], estos permiten identificar cuáles son las causas que inciden directamente en la capacidad estructural de una edificación. Con el objetivo de describir el estado técnico en que se encuentra la edificación objeto de estudio, se precisan a continuación una serie de afectaciones que se observaron durante los levantamientos realizados a la instalación. Estas se consideran lesiones que afectan de manera significativa la integridad de la edificación.

El fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón armado se identificó por el desprendimiento del recubrimiento que rodea el acero debido al aumento del volumen. Se traduce en una afectación considerable en los elementos estructurales conformados con este material, pues disminuye un 5% la sección transversal del acero. En uno de los locales de la planta baja del edificio, específicamente en la zona de las calderas (ver Figura 2), un área de entrepiso está afectada por la humedad, lo cual incide en los elementos estructurales.

En la Figura 3 se evidencian los síntomas referentes a la corrosión de los aceros de refuerzo en el lugar. Se aprecian las barras expuestas y la ruptura del hormigón en la losa de entrepiso debido al contacto del agua con el acero del elemento estructural, detectada como la causa principal del fenómeno corrosivo. En los niveles superiores se detectaron otras zonas afectadas por la corrosión, atribuidas a causas como la propia humedad, la insuficiencia de protección y el poco e inadecuado mantenimiento.

También se identificaron grietas longitudinales en los dinteles de las ventanas (Figura 4 y 5), asociadas a tres posibles causas: la deformación excesiva del dintel debido a la flexión del mismo, la corrosión de los aceros de refuerzo longitudinal y en consecuencia el incremento de volumen y el desplome vertical de los muros de los últimos niveles por falta de rigidez superior de estos elementos.

Las grietas en dirección diagonal en la esquina superior de los muros en el último nivel del edificio A están asociadas al desplome de dichos elementos estructurales como consecuencia de la falta de rigidez del nivel. Este fenómeno los hace susceptibles a los empujes horizontales produciéndose a su vez desplazamientos en los muros. El estado en dicho nivel es grave y puede originar desplomes en los niveles inferiores.



Fig. 2- Presencia de humedad en la planta baja del edificio B.



Fig. 3- Corrosión del acero de refuerzo en las vigas de la planta baja del edificio B.



Fig. 4- Presencia de grietas longitudinales en los dinteles de las ventanas del edificio A

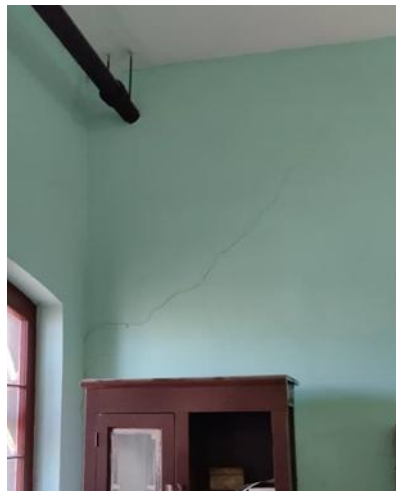


Fig. 5- Grietas en dirección diagonal en el último nivel del edificio A.

Se identificaron además humedades debido a filtraciones originadas por las instalaciones pluviales e hidrosanitarias, ver Figura 6. Estos provocaron daños estructurales representados por grietas en los muros y afectaciones en las fachadas de la edificación. Los signos patológicos se pueden detectar por la aparición de mancha de moho en los muros y en las fachadas, en estos también se aprecian humedades, manchas, pérdida de materiales de recubrimiento y daños en la pintura. Las afectaciones principales sobre los elementos estructurales son: corrosión y daño en los elementos estructurales metálicos, deterioro y daños en los materiales de construcción y afectaciones en los falsos techos.

Estas lesiones acumuladas debilitan la edificación y ponen en riesgo la funcionalidad de sus locales. La inclusión explícita de estas lesiones en el modelo numérico será objeto de futuras iteraciones analíticas, en caso de que los resultados iniciales lo justifiquen. La primera fase, y paso indispensable, consiste en la simulación del estado base o estado de referencia de la edificación, que representa su condición óptima con la geometría estructural actual y bajo las solicitaciones previstas.



Fig.6- Filtraciones en muros y losas.

2.3 MODELACIÓN COMPUTACIONAL

La construcción de un modelo computacional parte de la concepción de las invariantes del proceso de modelación. Dichos aspectos se desarrollan a continuación. El software que se empleó para la modelación fue el programa de análisis estructural ETABS, en el cual a partir de las invariantes del proceso de modelación (geometría, materiales, condiciones de apoyo y cargas) se realizó un modelo 3D (Figura 7).

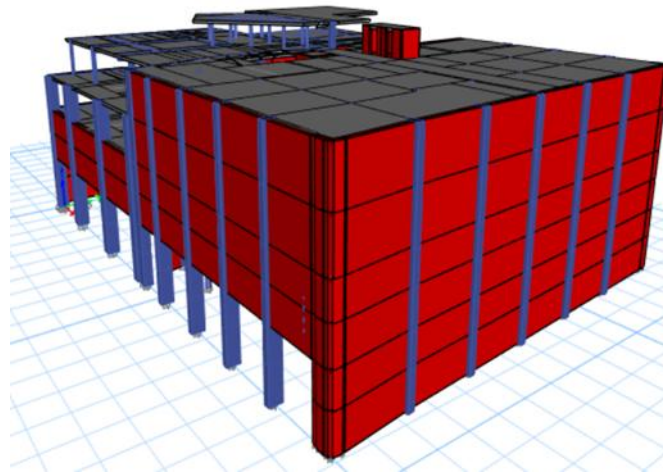


Fig. 7- Modelo 3D del inmueble.

La geometría del modelo se confeccionó a partir del levantamiento y de los planos realizados en el software Revit, donde se ubicaron las columnas con sus respectivas dimensiones y los muros diseñados como elemento tipo "wall". La Figura 8 muestra la distribución de elementos estructurales en dos niveles tomados como ejemplo.

Como material se definió para las columnas, vigas y losas, el hormigón armado. Para los muros el material empleado fue mampostería [19], al cual se le definió una resistencia de 3,36 MPa, según establece el software ETABS; valor que se encuentra en correspondencia con la norma de mampostería NC: 774-2012 [20]. En el caso de los elementos de hormigón armado el valor del módulo de elasticidad se obtuvo mediante la expresión $4700\sqrt{f'c}$, mientras que para los elementos de mampostería la propia norma establece que se calcule como $1000f'c$. La unión entre las vigas y columnas se tomó como elemento continuo y la base de las columnas se consideró empotrada.



a) Nivel mezzanine, ubicación de columnas y muros.



b) Nivel Tercera Planta en el edificio B y Cuarta Planta en el edificio A.

Fig. 8- Distribución de los elementos estructurales: columnas y muros.

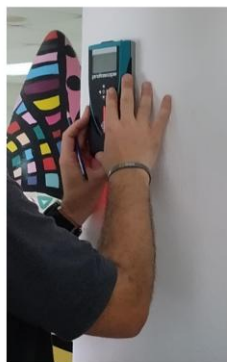
Las cargas de uso fueron determinadas a partir de la NC 284: 2003 [21]. Para los locales de oficina se adoptó un valor de 2 kN/m², para los locales de archivos se tomó un valor de 5 kN/m², para las salas de exposición se adoptó el valor de 5 kN/m², en el caso de los locales de almacén de libros se tomó un valor de 6 kN/m² y para los teatros se adoptó un valor de 4 kN/m². Se consideró el peso propio de los elementos estructurales. Además, se incluyó la terminación de piso, los elementos de falso techo e instalaciones eléctricas y sanitarias para un valor de carga de 2 kN/m². En la cubierta se consideró como carga permanente la solución de impermeabilización (enrajonado y soldadura) para un valor de carga de 2,5 kN/m².

De los dos edificios que conforman el inmueble objeto de estudio, el edificio A mantiene su uso desde hace varias décadas; sin embargo, el edificio B ha sufrido múltiples modificaciones tanto en la distribución de elementos divisorios como en los tipos de cargas. Además, en ausencia de datos más precisos sobre la calidad actual del hormigón y la disposición de los refuerzos de acero, se introdujeron modificaciones al modelo. Por todo esto se establecieron dos etapas preliminares de modelación. En la primera etapa se consideró la edificación en su estado técnico óptimo, es decir, sin la incorporación de los deterioros, y se consideraron las cargas que existen actualmente en el edificio B. Aunque el estado técnico simulado es el óptimo, se introdujo la resistencia del hormigón en correspondencia con las resistencias con las que se construía en el período de concepción del inmueble. Según la ACI 562-15 [22], la resistencia a compresión del hormigón de los elementos tipo losa, columnas y vigas en la década de 1910 era de 14 MPa.

En una segunda etapa de modelación se consideró la resistencia del hormigón estimada mediante ensayos no destructivos y se ajustó la distribución de los refuerzos de acero en las vigas y columnas. Los detalles de los ensayos no destructivos realizados se describen en la sección 2.4. En la primera etapa los muros de borde se consideraron como carga uniformemente distribuida en la misma zona del muro, mientras que en la segunda etapa se modelaron como elementos tipo "wall" de forma tal que se considera la rigidez que estos elementos aportan al modelo estructural. Esta consideración se aplicó en todos los niveles, con excepción de aquellos donde el deterioro o la pérdida de verticalidad de los muros lo hicieron inviable: específicamente, los muros del cuarto y quinto nivel del edificio A, y el muro Norte del quinto nivel del edificio B. De este modo, se logró representar que estos elementos no contribuyen a la rigidez, ni a la resistencia de la estructura.

2.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Debido a las bajas resistencias obtenidas en la primera etapa de modelación y análisis (detalles en epígrafe 3), se decidió realizar una nueva visita al inmueble con el objetivo de determinar de forma más precisa algunos parámetros del modelo. Se emplearon dos equipos para la realización de ensayos no destructivos: el Pacómetro y el Esclerómetro, ver Figura 9. El Pacómetro permite localizar las barras de acero dentro del hormigón armado a partir de un impulso electromagnético y de esta manera estimar su diámetro y recubrimiento [23]. En el caso del esclerómetro se utiliza para medir la dureza superficial del hormigón y a partir de esta se estima la resistencia a compresión. El esclerómetro es un equipo menos empleado en hormigones de grandes edades, pero permite estimar de forma conservadora las resistencias [23]. La propia norma NC: 246 [24], Resistencia a la compresión con esclerómetros, 2003 sugiere su empleo para hormigones entre 14 y 56 días. Para los ensayos fueron seleccionadas las columnas del segundo nivel del edificio A y columnas del tercer nivel del edificio B. La selección de elementos a medir está basada en que estos elementos estructurales son los que mayor relación demanda/capacidad poseen como resultado de la primera etapa de modelación.



a) Pacómetro



b) Esclerómetro

Fig. 9- Imágenes de equipos para ensayos no destructivos.

Las columnas del segundo nivel del edificio A tienen sección cuadrada de 50x50 cm y se obtuvo mediante el Pacómetro una distribución de barras de acero de 8 barras de diámetro estimado $\phi 16$ mm con recubrimiento de 30 mm. En el caso de las columnas del tercer nivel del edificio B, tienen forma hexagonal y se identificó una distribución de acero de 8 barras de diámetro estimado $\phi 16$ mm con recubrimiento de 70 mm. Estos parámetros se incorporaron en el modelo de elementos finitos durante la segunda etapa de modelación, con el objetivo de obtener una respuesta estructural más precisa y representativa del comportamiento real de la edificación. Además, los resultados del esclerómetro también fueron incorporados a la simulación. Aunque los valores de este equipo son conservadores para hormigones con más de 56 días, los resultados permiten interpretar que el valor inicial de 14 MPa es bajo y por ello se asignó un nuevo valor de resistencia a compresión del hormigón de 25 MPa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados analizados en la primera etapa se concentran en los desplazamientos en las losas, las fuerzas axiales en las columnas y la relación demanda/capacidad de los elementos estructurales. Los valores de desplazamientos que presentan los diferentes niveles de losas se muestran en la Figura 10 (a la izquierda de la línea vertical, el edificio A, a la derecha, el edificio B). Para la zona del edificio A se registran valores de 5 cm y en la zona del edificio B, valores de 4 cm. El desplazamiento admisible según la ACI 318-19 [25] para losas es de $\frac{L}{360}$, lo cual para las luces de los edificios arroja un valor de 2,42 cm, siendo los valores de desplazamientos máximos obtenidos superiores a este.

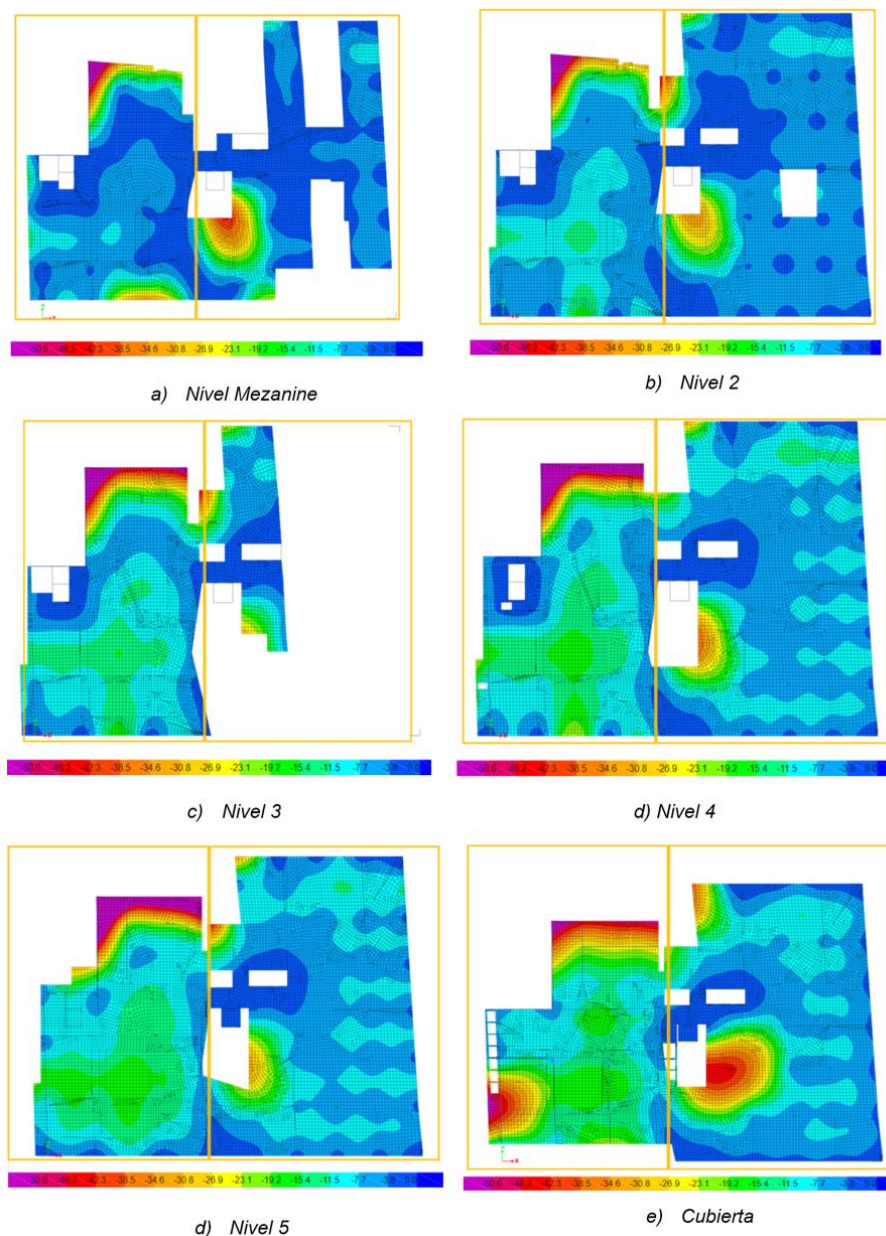


Fig. 10- Desplazamiento en losas (unidades en milímetros).

Se determinaron los valores de fuerza axial en la planta baja de ambas zonas de la edificación (Figura 11). Se observa que en la zona del edificio A, la fuerza axial máxima es de 7147 kN y en el edificio B el valor máximo de fuerza axial es de 5500 kN. A partir de estos resultados se puede concluir que, de las dos zonas estudiadas, el edificio A es el más cargado actualmente, aunque cabe resaltar, que en estos momentos hay varios locales en desuso en los niveles superiores del mismo edificio.

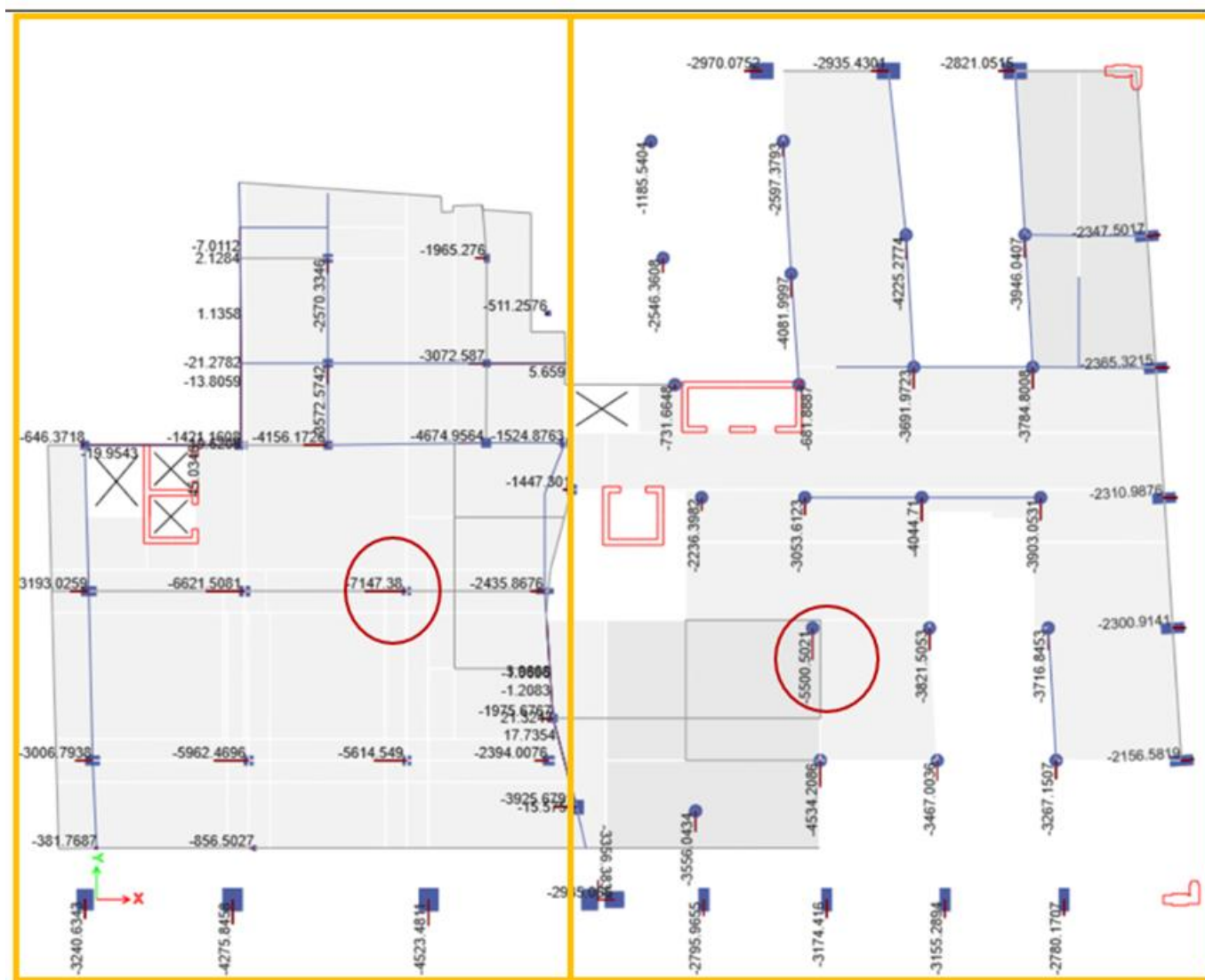
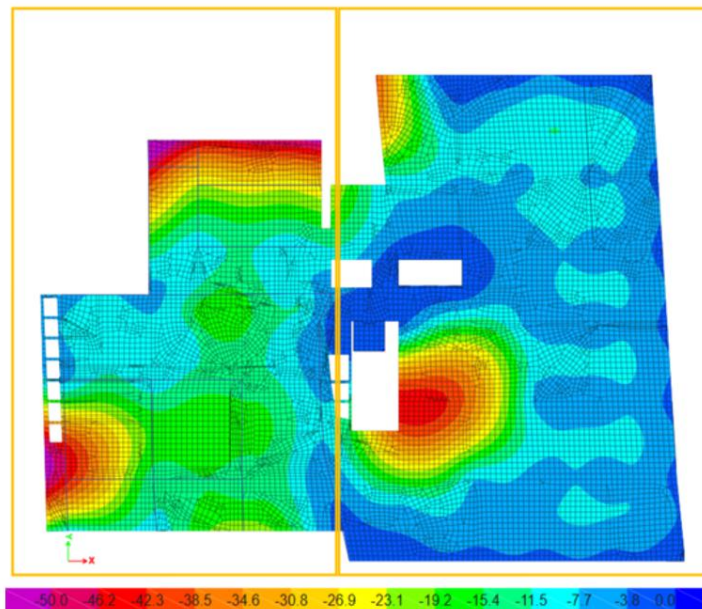


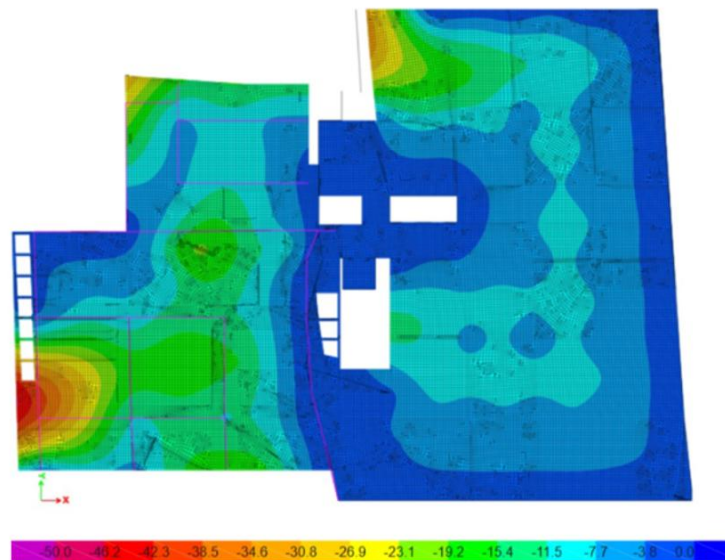
Fig. 11- Distribución de las fuerzas axiales en las columnas de la planta baja (kN).

Con respecto a la relación demanda/capacidad de los elementos estructurales, en esta primera etapa, se obtuvieron 38 elementos columnas con relación superior a la unidad (del total de 369 columnas), concentradas en el edificio A, lo que indica que se encuentran en fallo. La columna con mayor relación demanda/capacidad posee un valor de 2,8. Estos resultados parciales de la primera etapa de la modelación arrojan que, la edificación no tiene capacidad portante de carga en varios de sus elementos estructurales. Dadas estas deficiencias, se procede a mostrar los resultados de la segunda etapa de modelación en busca de eliminar incertidumbres en la modelación computacional y obtener resultados más precisos.

En la Figura 12 se muestra la comparación de los desplazamientos en la cubierta para la primera y segunda etapa de modelación. Los valores de desplazamientos disminuyeron con respecto a la primera etapa de modelación; el edificio A registró un desplazamiento máximo en las losas de 4,5 cm en comparación al máximo de la primera etapa de 5 cm y en el caso del edificio B se obtuvo una disminución de 4 cm en la primera etapa a 3,35 cm en la segunda. Estas diferencias no son significativas y los valores de desplazamiento continúan siendo mayor con respecto al desplazamiento admisible.



a) Primera etapa



b) Segunda etapa

Fig. 12- Comparación de los desplazamientos en la cubierta para ambas etapas de modelación (mm).

En el comportamiento que se observa en la Figura 12, se puede verificar que existen diferencias en la distribución de los desplazamientos entre las etapas de modelación. En la primera etapa (Figura 12a), al no existir vigas de cierre en la modelación, se obtienen los máximos desplazamientos en los bordes. Este comportamiento está en concordancia con la falta de vigas de cierre en el nivel que se muestra y la falta de rigidez. En la segunda etapa (Figura 12b), el edificio B se encuentra rigidizado y disminuyen los desplazamientos, además, los valores máximos tienden a localizarse en el centro de las losas. Sin embargo, el edificio A y la pared norte del edificio B que no poseen vigas muestran concentración de máximos desplazamientos en los bordes.

En cuanto a la fuerza axial, el edificio A disminuyó la máxima fuerza axial máxima a 5646 kN y en el edificio B disminuyó a 4245 kN. Respecto a los elementos en fallo estos aumentaron a 57, se sumaron 19 elementos en fallo del edificio B a los 38 existentes del edificio A. Este comportamiento se debe a los deterioros añadidos al modelo y a redistribuciones de esfuerzos en consecuencia a las rigideces no añadidas en las zonas donde se aprecia pérdida de estabilidad en los muros de las edificaciones. La relación demanda/capacidad de la columna más esforzada se mantuvo en 2,8, en ella cambió de un modelo a otro el tipo de fallo. Esta columna se localiza en la región central de ambos edificios donde existe la mayor concentración de cargas y siendo esta una de las zonas donde más deterioros existen.

4. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron redistribución de esfuerzos y modificación en las solicitaciones de ambas edificaciones luego de ajustar la primera etapa de modelación a la segunda. Los valores máximos de fuerza axial disminuyeron, lo que demuestra la redistribución de esfuerzos, ya que el valor de fuerza axial en otras columnas aumentó provocando que 19 nuevos elementos del edificio B sobrepasaran su relación demanda/capacidad en el modelo creado. Los valores de desplazamiento, aunque disminuyeron de una etapa a otra, sobrepasan el valor límite establecido.

La evaluación estructural evidenció un estado técnico diferenciado entre ambas edificaciones. El edificio A presenta la situación más comprometida, con desplazamientos máximos en cubierta de 4,5 cm y un grupo de columnas centrales cuya relación demanda/capacidad supera la unidad, lo que indica el fallo de estas bajo las cargas actuales. Estas deficiencias están relacionadas con los deterioros severos observados, grietas diagonales por desplome y corrosión de las armaduras de refuerzo. Se recomienda reforzar la totalidad de los pisos superiores del edificio A mediante la colocación de un entramado de perfiles metálicos que rigidicen la fachada y evite el desplome de la misma. En la zona de la cubierta, se propone levantar la impermeabilización existente (enrajonado y soldadura), sustituyéndose por relleno ligero (hormigón celular) y mantas transitables, para lograr una disminución de las cargas.

Por el contrario, el edificio B, aunque posee patologías importantes por humedad, mostró un comportamiento global más favorable. En esta edificación con trabajos de mantenimiento sencillos se refuerza su estado técnico. Además, los trabajos recomendados para el edificio A deben mejorar el comportamiento global de la edificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Naranjo-Ramírez y A. López Ontiveros, «La Habana, Patrimonio de la Humanidad. Evolución, causas de su conformación y algunos caracteres urbanos», Ayunt. Córdoba Gerenc. Urban., 1996. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10396/13693>
- [2] J. P. Chacón Sánchez, B. J. Suquillo Ronquillo, D. A. Sosa Caiza y C. A. Celi Sánchez, «Evaluación y Reforzamiento de una Estructura Patrimonial de Adobe con Irregularidad en Planta», Rev. Politécnica, vol. 47, n.º 1, pp. 43-56, feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n1.05>
- [3] N. Melero Lazo, «El levantamiento arquitectónico del patrimonio construido. Un instrumento preciso de la realidad», Mimesis.jasd, vol. 2, n.º 1, pp. 4-14, dic. 2022, doi: <https://doi.org/10.56205/mim.2-1.1>
- [4] E. Sesana, A. S. Gagnon, C. Ciantelli, J. Cassar y J. J. Hughes, «Climate change impacts on cultural heritage: A literature review», WIREs Clim. Change, vol. 12, n.º 4, p. e710, 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.710>
- [5] M. Diaz Mendoza, E. De la Hoz y J. Gómez, «Technologies for the Preservation of Cultural Heritage—A Systematic Review of the Literature», Sustainability, vol. 15, p. 1059, ene. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/su15021059>
- [6] J. C. Guerra-Mera, P.-M. René, C.-V. Abel y B.-C. B. Patricio, «ESTADO DEL ARTE SOBRE DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN PERFILES COSTEROS», Rev. Científica “INGENIAR” Ing. Tecnol. E Investig., vol. 6, 2023
- [7] R. Rodrigues, S. Gaboreau, J. Gance, I. Ignatiadis y S. Betelu, «Reinforced concrete structures: A review of corrosion mechanisms and advances in electrical methods for corrosion monitoring», Constr. Build. Mater., vol. 269, p. 121240, feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121240>
- [8] W. Giraldo-Castañeda, A. Guerrero-Torrenegra y A. F. D. L. Ríos-Arce, «Metodología para valoración del patrimonio construido: una mirada desde la relación sol-edificio. Caso de estudio: Universidad del Valle», Rev. Arquít. Bogotá, vol. 26, n.º 2, pp. 219-233, 2024
- [9] G. Ergueta y M. Quino, «Estudio patológico empleando ensayos de ultrasonido aplicado a estructuras en construcción», Rev. ALCONPAT, vol. 14, n.º 1, pp. 82-95, ene. 2024, doi: <https://doi.org/10.21041/ra.v14i1.715>
- [10] M. Parente, N. Bruno y F. Ottoni, «HBIM and Information Management for Knowledge and Conservation of Architectural Heritage: A Review», Heritage, vol. 8, n.º 8, p. 306, jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/heritage8080306>
- [11] A. Çelik et al., «Understanding roots of failure of historical Ottoman monumental buildings by means of advanced finite element modelling: The effect of the 1939 Erzincan earthquake on Nafiz Pasha Bath-house and Izzet Pasha Mosque», Eng. Fail. Anal., vol. 179, p. 109811, sep. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.109811>
- [12] B. Tefera y A. Tarekegn, «Non-Destructive Testing Techniques for Condition Assessment of Concrete Structures: A Review», Am. J. Civ. Eng., vol. 13, pp. 10-31, ene. 2025, doi: <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20251301.12>
- [13] J. Ortega, F. Greco, M. Núñez García, C. Aranha y S. Saloustros, «Lidiar con la incertidumbre en la evaluación estructural del patrimonio construido», en II Simposio de Patrimonio Cultural ICOMOS España, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València, nov. 2022. doi: <https://doi.org/10.4995/icomos2022.2022.15406>
- [14] J. A. Chávez Hernández, J. L. Broche Lorenzo, C. A. Recarey Morfa, F. Sánchez García, M. A. Maestre Mesa y N. Pérez Martínez, «Técnicas de avanzada en el diagnóstico patológico de edificaciones: “El TempLETE” de la Habana Vieja», Rev. Ing. Constr., vol. 27, n.º 2, pp. 19-33, ago. 2012, doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-50732012000200002>
- [15] M. Rossi y D. Bournas, «Structural Health Monitoring and Management of Cultural Heritage Structures: A State-of-the-Art Review», Appl. Sci., vol. 13, n.º 11, p. 6450, may 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app13116450>

- [16] P. Zhu, H. Wang, X. Yan, L. Yang, L. Zhu y H. Liu, «Recycled coarse aggregate from parent concrete with supplementary cementitious materials under freeze-thaw environment: Recyclability, environment and economic evaluation», *J. Build. Eng.*, vol. 84, p. 108699, may 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108699>
- [17] R. Angulo-Fornos, M. Castellano-Román y F. Pinto-Puerto, «Estrategias de modelado patrimonial en HBIM, aplicación a la lectura estratigráfica del muro de fachada del cuadrante renacentista de la catedral de Sevilla», *Arqueol. Archit.*, n.º 18, p. e109, abr. 2021, doi: <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.001>
- [18] L. Pérez Quiñones, M. Llanes Pérez y A. López Llanusa, «Aplicación de herramientas de la confiabilidad operacional en la evaluación de edificios», *Rev. Ciencia y Construcción*. [En línea]. Disponible en: <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/171/131> (Accedido: 1 de diciembre de 2025)
- [19] K. Zheng, B. Chen, K. Yang, Y. Deng, J. Shi y G. Zhou, «Structural failure assessment system exemplified by dumbbell-shaped CFST arch», *Eng. Struct.*, vol. 284, p. 115987, jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115987>
- [20] Código de buenas prácticas para obras de Mampostería, Norma NC 774, 2012
- [21] Edificaciones. Cargas de uso, Norma NC 284, 2003
- [22] ACI 562, «The Concrete Repair Code», en *Forensic Engineering 2015*, Miami, Florida: American Society of Civil Engineers, nov. 2015, pp. 1-9. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784479711.001>
- [23] G. Boccacci, F. Frasca, C. Bertolin y A. M. Siani, «Diagnosis of Historic Reinforced Concrete Buildings: A Literature Review of Non-Destructive Testing (NDT) Techniques», *Procedia Struct. Integr.*, vol. 55, pp. 160-167, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.02.021>
- [24] Resistencia a la compresión con esclerómetros, Norma NC 246, 2003
- [25] Building code requirements for structural concrete and commentary, Norma ACI 318-19, 2019. doi: <https://doi.org/10.14359/51716937>