



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Rober-Calzadilla, Margarita Carmen; González-
Fernández, Mayra Mónica; Roca-Fernández, Estrella Yadira
Evaluación estructural del hotel Perla de Cuba
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 1, 2022, Enero-Marzo, pp. 81-98
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181372324011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Structural evaluation of the Perla de Cuba hotel

Autores:

Margarita Carmen Rober-Calzadilla, maggy@emproy15.cu. Empresa de Proyectos-15 de Santiago de Cuba (Emproy-15). Teléfono: 54257562. Santiago de Cuba, Cuba.

Mayra Mónica González-Fernández, mayra@uo.edu.cu. Teléfono: 58150101.¹

Estrella Yadira Roca-Fernández, estrella@uo.edu.cu. Teléfono 52551038.¹

Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Identificada la ciudad de Santiago de Cuba como un producto turístico, demanda el rescate de inmuebles ubicados en el Centro Histórico Urbano con altas potencialidades. El objetivo de este trabajo fue la evaluación estructural del inmueble hotel Perla de Cuba. Esta edificación manifiesta un alto nivel de deterioro y el análisis de los ensayos realizados concluye que los elementos estructurales de la edificación presentan bajas resistencias del hormigón y cuantías de refuerzos, con un alto contenido de humedad y de corrosión en las barras de acero. Se evaluó la seguridad estructural de la edificación de acuerdo con su capacidad actual y el código sísmico vigente, utilizando el software profesional ETABS versión 18. Se obtuvo como resultado que el desempeño de esta será inadecuado ante los efectos de las acciones carga sísmica diseñada.

Palabras clave: edificios patrimoniales, comportamiento estructural, rehabilitación sismorresistente.

ABSTRACT

Identified the city of Santiago de Cuba as a Tourist product, it demands the rescue of properties located in the Historic Urban Center with high potentialities. The objective of this work is the structural evaluation of the hotel Perla de Cuba. This building shows a high level of deterioration and the analysis of the tests carried out concludes that the structural elements of the building have low concrete strengths and amounts of reinforcement, with a high moisture content and corrosion in the steel bars. The seismic safety of the building is evaluated according to its current capacity, and the current seismic code using the professional software ETABS version 18. The results are obtained shows that its performance will be inadequate, for the effects of the designed seismic load.

Keywords: heritage buildings, structural behavior, earthquake-resistant rehabilitation.

INTRODUCCIÓN

Cuba como país y el Ministerio de Turismo (Mintur) han priorizado inversiones que estimulen el turismo de ciudad. Santiago de Cuba es una de esas ciudades que, con sus manifestaciones culturales e idiosincrasia de sus habitantes, se convierte en un atractivo destino para los turistas que visitan Cuba. La empresa Inmobiliaria del Turismo en Santiago de Cuba (UBI Santiago de Cuba), ha tenido en sus prioridades invertir para recuperar inmuebles en el Centro Histórico Urbano de la ciudad para aumentar capacidades de alojamiento, entre estos se encuentra el edificio hotel Perla de Cuba. Actualmente se encuentra con alto grado de deterioro de sus componentes estructurales y formales, que unido a la falta de un estudio referente al comportamiento estructural del edificio no permite la ejecución de un proyecto que reduzca las vulnerabilidades y riesgo existente para su puesta en explotación. A partir de lo cual, se definió como ejecución de un proyecto de rehabilitación estructural sismorresistente, definiéndose como objetivo general evaluar la capacidad estructural del edificio hotel Perla de Cuba, de modo que permita identificar las vulnerabilidades y riesgo existente a partir del análisis con el *software* profesional ETABS versión 18.

MATERIALES Y MÉTODOS

La conservación de las estructuras patrimoniales no es una tarea sencilla, sobre todo cuando se debe proponer una intervención para mejorar el comportamiento estructural y este edificio está ubicado en zona de alta peligrosidad sísmica, de ahí la importancia que tiene el análisis de la capacidad estructural del edificio en sus condiciones actuales para, a partir de estos resultados, establecer los criterios que regirán la rehabilitación estructural sismorresistente. Para lograr mayor precisión es necesario el uso de equipamiento e instrumentos de tecnologías avanzadas que permitan realizar ensayos destructivos y no destructivos para alcanzar un diagnóstico eficaz. Estos ensayos facilitan el estudio de los procesos patológicos, así como la definición de las características de los elementos estructurales y sus materiales componentes.

En la fase inicial de la investigación se caracteriza el edificio, luego se hace el levantamiento de lesiones, evaluando posibles causas, y a partir de ahí se definen áreas y elementos a investigar mediante equipos e instrumentos especializados, permitiendo a través de sus resultados establecer los aspectos esenciales que caracterizan el diagnóstico del edificio, verificando las normativas asociadas a cada uno.

En la segunda fase, a partir de los resultados anteriores se evalúa el comportamiento estructural de edificio, con un nivel alto de precisión a través del uso del software profesional ETABS versión 18. Se obtienen parámetros que permiten evaluar el comportamiento del edificio ante el efecto de la carga sísmica, según los códigos actuales, llegando a concluir si el desempeño del edificio será adecuado o no, para las combinaciones más desfavorables.

Entre los principales métodos científicos empleados; se encuentran el método histórico – lógico, análisis y síntesis, abstracción – concreción, inducción – deducción, e hipotético – deductivo, el experimental y el de modelación profesional. También se emplean técnicas para el procesamiento de la información como: la revisión bibliográfica y el análisis documental.

RESULTADOS

Caracterización del edificio hotel Perla de Cuba

Según los registros históricos obtenidos en el registro de la propiedad No. 1 de la ciudad de Santiago de Cuba, este inmueble fue una vivienda ubicada en lo que antes se conoció como calle Lorraine No.551 y por Sánchez Hechavarría No. 4, Barrio Bravo, hoy llamado Ave. Jesús Menéndez y calle San Jerónimo. En el archivo municipal de la ciudad Santiago de Cuba aparece descrito como una casa de mampostería, hormigón y vigas de acero, edificada en su propio solar y posee el No. 7 moderno y el No. 10 antiguo, de la calle baja de Lawton Lorraine, antes Cristina, en esta ciudad, (figura 1).

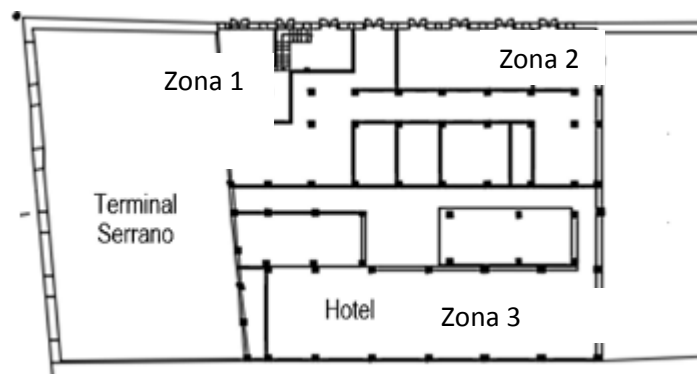
Figura 1. Ubicación espacial y fachada del hotel Perla de Cuba



Fuente: autores

Este edificio es ecléctico, presenta una fachada de balconaje ubicada hacia el norte. Fue construido en la primera mitad del siglo XX. El inmueble está compuesto por dos áreas construidas de forma independiente, una caracterizada por tener un sistema estructural de pórticos de hormigón armado en una dirección (zona 2), con dos niveles estructurales con puntales de aproximadamente 6m cada uno y luces que oscilan entre los 1.70 m y 3.15 m. La otra se caracteriza por tener un sistema estructural de pórticos de hormigón armado en dos direcciones (zona 3), con tres niveles estructurales con puntales de 3m aproximadamente y luces que oscilan entre los 4.11 m y 4.80 m. En ambas áreas los entrepisos son de hormigón armado y cubiertas ligeras, (figura 2).

Figura 2. Ubicación en planta de las diferentes zonas del edificio para su estudio



Fuente: Empresa de Proyectos-15 de Santiago de Cuba (2018, p.9)

A estas dos áreas se les une la zona 1 que corresponde a la antigua Terminal Serrano, aunque no pertenece al edificio principal, va a formar parte del nuevo

hotel, además de estar unida físicamente a este. Caracterizada por tener un solo puntal de aproximadamente 6m de altura, con luces que oscilan entre los 3.40 m y 4.80 m. En esta área la cubierta es una losa de hormigón armado sobre un sistema de vigas metálicas apoyadas en un extremo sobre el muro perimetral y en el otro, sobre columnas de hormigón armado.

Los peraltos de las losas de los entrepisos varían según la zona donde se ubican, en las zonas 1 y 2, son de 10 cm de espesor, mientras que en la zona 3, el espesor es de 15 cm. Los muros que se tienen en cuenta en la modelación son los de las fachadas de la zona 1, con 70 cm de espesor, en las zonas 2 y 3, son de 20 cm de espesor, el resto de los muros interiores son de 10 cm de espesor y dentro de este análisis se consideran como cargas. La cimentación de la edificación en la zona 1, está formada por un pedestal de 0.30 m de altura, apoyado sobre una viga zapata de ladrillos de 1.50 m de peralto, que se encuentra sobre una zapata corrida de hormigón ciclópeo (Empresa Nacional de Investigaciones aplicadas (ENIA), 2019, p. 10).

Las secciones transversales de los elementos estructurales (columnas, vigas) se obtuvieron del levantamiento arquitectónico de la edificación realizado por la Emproy-15, y son resumidas en la tabla 1 que se muestra a continuación.

Tabla 1. Características de las secciones transversales de los elementos estructurales

Zona	Elemento	Material	A (mm)	B (mm)	Espesor Alma (mm)	Espesor Ala (mm)
1	Columnas	hormigón	400	400		
	Vigas		600	400		
	Columnas	ladrillos	650	650		
	Vigas		500	400		
	Columnas*	acero	450	190	9.4	14.6
	Vigas *		200	200	-	-
	Vigas **		200	200	-	-
2	Columnas	hormigón	400	400		
	Vigas entrepiso	hormigón	600	400		
	Vigas cubierta		500	400		
3	Columnas (1er Nivel)	hormigón	450	450		
	Columnas (Mezannine)	ladrillos	250	250		
	Columnas (2do Nivel)	hormigón	150	150		
	Vigas entrepiso (1er Nivel)	hormigón	500	300		
	Vigas entrepiso (Mezannine)		450	300		
	Vigas cubierta (2do Nivel)		250	150		

* Elementos del pórtico secundario ** IPE-Viga metálica sección I de producción europea

Fuente: autores

Luego, en trabajos posteriores, se pudo observar que el nivel de piso de la edificación en esta zona fue levantado alrededor de 0.50 m, presuntamente por las frecuentes inundaciones producidas por las lluvias y el mal drenaje existentes en esta zona de la ciudad. En las zonas 2 y 3 se comprueba que, las cimentaciones también incluyen vigas zapatas de hormigón armado en ambas direcciones ortogonales.

Caracterización geológica del lugar de emplazamiento del inmueble

El sitio localizado en las coordenadas $X = 604570$, $Y = 152754$, donde se ubica geográficamente esta edificación, se caracteriza por suelos blandos y la presencia del nivel freático a profundidades que oscilan entre 0.90 m y 1.42 m, con tendencia a subir y bajar en dependencia de la marea, tomándose como valor promedio 1.30 m. Geológicamente esta región está representada por depósitos marinos, arenas, guijarros de playas y bancos de tormenta. Los fenómenos físicos geológicos más importantes atendiendo a las características topográficas de la zona, están relacionados con las fluctuaciones de los niveles freáticos próximos a la superficie que pueden provocar inundaciones y los efectos inducidos por el sismo, NC-46: 2017 (Comité Estatal de Normalización, 2017).

Peligrosidad sísmica puntual

Para el análisis del comportamiento estructural del edificio se trabajó con el estudio de peligro sísmico puntual, elaborado para el hotel Enramadas (Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais), 2018, pág. 12), asumiendo que las características del sitio son similares a las de esa edificación, debido a la proximidad entre ambas edificaciones. Esta decisión fue posible a partir de consulta realizada con especialistas del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). El edificio se encuentra enclavado en la zona 5. Esta zona es una de las áreas de mayor peligrosidad sísmica de Cuba con aceleraciones superiores a 300 cm/seg^2 , NC-46: 2017 (Comité Estatal de Normalización, 2017, p. 24), cerca de la zona costera de la ciudad, donde por las características de los suelos en esta área, existen grandes posibilidades de amplificación de las ondas sísmicas como se evidenció en terremotos del siglo pasado.

Evaluación del estado de conservación

De la inspección técnica realizada y corroborada por la ENIA y especialistas del laboratorio de la Universidad de Oriente, de Santiago de Cuba, se pudo apreciar el nivel de deterioro encontrado en la edificación, identificándose las lesiones, fundamentalmente, en columnas, vigas, losas de entrepiso y cubierta. Estas

lesiones se han incrementado con el decurso de los años por falta de mantenimiento periódico, el desuso y las acciones de vandalismo. Los deterioros detectados fueron: un alto grado de humedad, pérdida de recubrimiento y sección transversal en diferentes elementos estructurales, corrosión en los aceros de los refuerzos, presencia de fisuras y grietas, eflorescencias, vegetación parasitaria y pudrición en las cerchas de madera, deformaciones en losas y perfiles metálicos y destrucción total de las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias.

Es importante destacar que esta área presenta una alta contaminación ambiental debido a la agresividad del ambiente, debido a la ubicación geográfica, a menos de 100 m de la línea del mar de la ciudad, y el transitar de los automóviles, el polvo ambiental, además de estar sujeto a la presencia de iones cloruros provocados por los altos niveles freáticos en el suelo. Se pudo observar que la corrosión y la humedad son las lesiones más frecuentes y de mayor incidencia en el deterioro del edificio, estas presentan la condición de graves y muy graves y representan el 70% del total de las lesiones identificadas (Suárez, 2018, p. 51).

Con el levantamiento de las principales lesiones se demuestra que el tiempo de explotación del inmueble, la ausencia de mantenimiento y las inclemencias del tiempo, son las causas fundamentales de la evolución de los procesos patológicos en el inmueble. Teniendo en cuenta las características de las lesiones y sus posibles causas se concluye que el principal deterioro de la edificación es producto a la humedad por filtración proveniente de la cubierta y las roturas en las redes hidrosanitarias, lo que ha provocado entre las principales lesiones la pérdida del recubrimiento y la corrosión del acero de los elementos que conforman su sistema estructural. El estado técnico-constructivo del edificio se evalúa como malo.

Ensayos destructivos y no destructivos ejecutados

La Emproy-15, entidad encargada del proyecto de intervención del inmueble, hizo solicitud de servicios técnicos a la Empresa Nacional de Investigaciones aplicadas (ENIA) y esta subcontrató al Laboratorio integrado de tecnologías avanzadas para la conservación del patrimonio del Oriente de Cuba (PCI), de la Universidad de Oriente, para ejecutar ensayos destructivos y no destructivos (ENIA, 2019, p. 21),

que permitieran elaborar el diagnóstico estructural de la edificación. La ENIA, para caracterizar la cimentación, decidió ejecutar calicatas en diferentes puntos de la edificación, previa coordinación con los proyectistas. También se realizó la extracción de testigos para investigar la resistencia a compresión del hormigón de los elementos estructurales y correlacionar estos valores con mayor exactitud.

Los tipos de ensayos no destructivos realizados por el PCI responden a la necesidad de conocer las características de los elementos estructurales y materiales (hormigón y acero). Los equipos utilizados fueron el detector de armaduras Profometer 5+, el analizador de corrosión Canin+, el humidímetro digital T600, el ultrasonido o medición de velocidad de propagación de ondas PunditLab, el medidor Láser Leica "Disto D5". Los resultados obtenidos evidencian que los hormigones de los elementos estructurales que conforman el edificio presentan baja resistencia, con oquedades por retracciones internas y segregación. Los valores de humedad se encuentran entre el 30 % y 60 %, lo cual implica una durabilidad inadecuada. Se comprobó también la baja cuantía o ausencia del refuerzo transversal, la corrosión de los aceros y los altos contenidos de humedad presentes en los diferentes elementos estructurales.

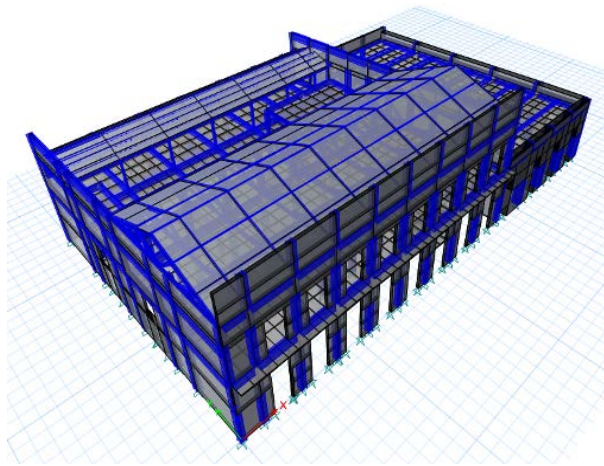
Evaluación de la capacidad estructural del edificio

En el análisis se considera la edificación original en el estado actual en el momento de la inspección, rellenos existentes, considerando un 10% de probabilidad de ser excedido el sismo básico de diseño en un periodo de 50 años, según el nivel mínimo de protección sísmica para obras ordinarias NC-46: 2017 (Comité Estatal de Normalización, 2017, p. 15). Los resultados se obtendrán a partir de un modelo físico, utilizando como herramienta de cálculo el software profesional ETABS versión 18, para lograr que el modelo se ajuste lo mejor posible a la realidad y garantizar la invariabilidad cinemática del sistema mecánico. Para ello se realiza un análisis modal simplificado el método del espectro de respuesta, considerando en el modelo los cuatro factores que constituyen el sistema de invariantes del proceso de modelación mecánica de las estructuras: forma o geometría, materiales, condiciones de apoyo y conexiones entre elementos y cargas. A continuación, se explicarán cada una de ellas.

Modelación de la geometría

Este paso se realiza basado en la geometría del edificio obtenida del levantamiento planimétrico y altimétrico, y se tiene en cuenta en la modelación, las secciones transversales y la longitud de cada elemento. Las columnas y vigas se modelan como elementos lineales, los muros de fachada y las losas de entrepiso son considerados como elementos “Shell”, debidamente discretizados para la transmisión de las cargas y para poder lograr mejores resultados en la respuesta, (figura 3).

Figura 3. Modelo físico del edificio existente



Fuente: autores

Las secciones transversales de los elementos estructurales (columnas, vigas) se obtienen del levantamiento arquitectónico de la edificación realizado por la Emproy-15, y se resumen en la tabla 1 mostrada anteriormente.

Modelación de los materiales

El modelo de análisis tiene en cuenta los diferentes materiales presentes en la edificación. No se pudo conocer el valor de la resistencia de los muros de albañilería ya que no se realizaron ensayos para definir la resistencia de este material, por lo que se utiliza para ello la Norma Mexicana (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2004, p. 14), que considera un peso de 15 kN/m^3 y un módulo de deformación de 3600000 kN/m^2 . Cuando no existen valores indicativos de ensayos experimentales, este código recomienda emplear, para mortero Tipo I, con una

resistencia de diseño a compresión de la mampostería, referidas al área bruta (f^*m) de 1.5 MPa, tabiques de barro recocido, con una resistencia a compresión de las piezas, referidas al área bruta (fp^*) mayor o igual a 6 MPa.

Tampoco se pudieron determinar las características de la madera de las cerchas, por lo que se considera un peso de 11 kN/m^3 , según la norma cubana 283:2003 (Comité Estatal de Normalización, 2003). Se utilizaron los valores del módulo de elasticidad de la Norma Mexicana (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2004, p. 62), que considera un valor de 12000000 kN/m^2 . A continuación, en la tabla 2 se resumen las características de los materiales utilizados en el análisis.

Tabla 2. Características mecánicas de los materiales

Material	Acero	Hormigón armado	Ladrillo	Madera
Masa por unidad de volumen (kN/m^3)	7.85	2.4	1.5	1.1
Peso por unidad de volumen (kN /m^3)	78.5	24	15	11
Módulo de elasticidad (kN /m^2)	21 000 000	15 200 000	36 000 000	12 000 000
Coefficiente de Poisson	0.30	0.17	0.30	0.15

Fuente: autores

En el análisis, los módulos de elasticidad que se tomaron fueron los correspondientes a la resistencia a la compresión de cada elemento analizado por niveles.

✓ **Modelación de los vínculos entre los elementos y condiciones de apoyo**

Para conformar el modelo físico de la estructura del edificio, además de los resultados obtenidos del estudio de diagnóstico de la estructura y de las inspecciones realizadas, se tuvieron en cuenta las consideraciones siguientes: columnas: empotradas en la base y continuas en el extremo superior, vigas empotradas en sus dos extremos y entrepiso infinitamente rígido en su plano.

Modelación de las cargas

Las cargas permanentes fueron definidas a partir de la norma cubana de peso de materiales NC-283: 2003 (Comité Estatal de Normalización, 2003, p. 4-7) para las características de los entrepisos y cubierta utilizadas en el inmueble. Los espesores de rellenos encontrados en las losas fueron de 40 cm, aunque en la zona 1 llegan a alcanzar valores de hasta 50 cm, lo que genera una carga total por piso de 11.20 kN/m² en el primer nivel y en el mezzanine, mientras que en el entrepiso de la zona I es de 13.00 kN/m². La carga de uso se tomó con un valor de 1.50 kN/m², de acuerdo con lo que indica la norma cubana NC-284: 2003 (Comité estatal de Normalización, 2003, p. 3) para la zona de habitaciones y pasillos interiores, zona de vestíbulo y galería de circulación.

La carga ecológica de sismo se modela como cargas actuantes en el plano horizontal, actuando el 100% de la carga sísmica en una de las direcciones principales del edificio simultáneamente con el 30% en la dirección ortogonal. Las cargas sísmicas son generadas por el ETABS versión 18, a partir del espectro de diseño construido según se establece en la norma de sismo, para suelo soportante tipo E, sismo básico, 10% de probabilidad en un período de 50 años, correspondiente al municipio Santiago de Cuba, que clasifica como zona 5. Aunque en este análisis se incluyen los valores de aceleración pico (PGA) y aceleración espectral (Sa), emitidos para el área de ubicación de la instalación y sus períodos de retorno correspondientes (Evaluación del peligro sísmico del sitio de emplazamiento del hotel Enramadas (Cenais, 2018, p. 12). Según (ecuación 1), en la propuesta de norma, el cortante basal es igual:

$$V_c = \frac{S_a(T)}{R} \times g \times W \quad (1)$$

Donde:

- ✓ Sa (T) es la demanda sísmica de diseño para estructura con período T
- ✓ R-es el factor de reducción y W es el peso de la edificación

Se considera que la estructura tiene un bajo nivel de ductilidad, por esta razón y amparado en los resultados obtenidos en el diagnóstico realizado se decide adoptar, para el análisis, un valor de factor de reducción de 1.5.

Por ser una edificación que ha cumplido el tiempo de vida útil para la que fue diseñada, el análisis no deberá realizarse para los valores de demanda sísmica obtenida del código vigente. Por tanto, se aplica el método Scarlat III que permite reducir esta demanda sísmica a través de un coeficiente adicional, como se explica en la ecuación 2 a continuación.

$$F = 0.7F_o (1 + m_d + m_c + m_p + m_h) \quad (2)$$

Donde:

F_o ---- Es la fuerza dada por los códigos de diseño de estructuras existentes.

m_d ---- coeficiente que tiene en cuenta la documentación.

m_c ---- coeficiente que tiene en cuenta el estado de los elementos estructurales de la edificación.

m_p ---- coeficiente que tiene en cuenta los elementos prefabricados.

m_h ---- coeficiente que tiene en cuenta el efecto del martilleo.

Valores de coeficientes seleccionados:

- ✓ $m_d=0$ (No se tiene acceso a la documentación)
- ✓ $m_c=0.1$ (estado satisfactorio de los elementos estructurales de la edificación)
- ✓ $m_p=0$ (no hay elementos prefabricados)
- ✓ $m_h=0.1$ (tiene en cuenta el efecto del martilleo)

Por tanto:

$$F = 0.7F_o (1 + m_d + m_c + m_p + m_h) = 0.7 (1 + 0 + 0.1 + 0 + 0.1) F_o = 0.84 F_o$$

Sustituyendo el factor de escala, se obtiene:

$$F = 0.84 \left(\frac{g}{R} \right) = 0.84 \left(\frac{9.81}{1.5} \right) = 6.54$$

Los cortantes basales dinámicos de la iteración inicial para cada dirección ortogonal horizontal V_{1x} y V_{1y} no deben utilizarse sin antes ser calibrados, por lo que los nuevos cortantes de diseño serán afectados por el factor de calibración:

Por tanto, los cortantes estáticos quedarían de la siguiente manera:

$$V_{Dx} = \max(0.85 V_{ex}, V_{1x}) = 6.54 \times 1.5862 = 10.374$$

$$V_{Dy} = \max(0.85 V_{ey}, V_{1y}) = 6.54 \times 1.6674 = 10.905$$

Combinaciones de cargas

Para el análisis se estudian las combinaciones de cargas que define la Norma Cubana NC-450: 2006 (Comité Estatal de Normalización, 2006, p. 6), considerando como predominantes las que incluyen el efecto del sismo en las dos direcciones ortogonales. Se trabaja con 5 combinaciones.

Peso a considerar ante la ocurrencia de un sismo

El peso de la edificación influye directamente en la componente horizontal de la fuerza sísmica, por tanto se deben definir cuáles son los porcentajes de cargas a considerar en este análisis para introducirlo en el programa de análisis (ecuación 3).

$$W = 100\% CP + 50\%CUE + 20\%CUC \quad (3)$$

Donde:

W- Peso total de la edificación en (kN) CUC- Carga de uso en cubierta (kN)

CP- Carga Permanente en (kN) CUE- Carga de uso entrepiso (kN)

El método de cálculo utilizado es el de análisis modal, simplificado como Método del espectro de respuesta, utilizando como fórmula de superposición de las formas propias de oscilación de sistemas con varios grados de libertad la CQC (Combinación Cuadrática Completa), resolviendo el problema de los valores propios por el método de los vectores de Ritz, considerándose en el análisis los primeros 9 modos de oscilación, que garantizan, como mínimo, del 90-95 % de participación de las masas en la respuesta.

Resultados de la evaluación del edificio

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos en el chequeo de los parámetros de control global del edificio.

Período fundamental de la estructura

El edificio, que se analiza, está conformado por una estructura mixta compuesta por pórticos de hormigón armado, trabajando en una o en las dos direcciones ortogonales, según la zona de análisis de la edificación. Los muros de las fachadas que aportan gran rigidez al edificio. Para el cálculo y la evaluación del

período fundamental de la estructura se toma la ecuación 4 referida en la NC-46:2017 para la tipología E1 (Comité Estatal de Normalización, 2017).

$$T = CT (h_n)^X \quad (4)$$

Donde h_n es la altura del edificio en metros desde la base. Para para sistema estructural E1, E3, E4 o E5, $CT = 0.049$, $X = 0.75$ por tanto, se obtendrá que:

$$T = 0.049 (15)^{0.75} = 0.3735$$

Según la norma $T_c \leq 1.4T_a$, por lo que quedaría que $T_a = 0.523$ s.

Para la obtención de los valores de los parámetros de control y el nivel de demanda de las solicitaciones de los elementos de la estructura portante del edificio estudiado, se utiliza el software ETABS versión 18, en el cual están implementados los métodos de solución correspondientes a los modelos y métodos de cálculos adoptados. Se obtiene que los valores de períodos obtenidos para los tres primeros niveles de oscilación del análisis, los cuales son adecuados según lo especificado en la norma NC-46:2017 (Comité Estatal de Normalización, 2017).

Se verifica que participen en la respuesta dinámica, más de un 90% de la masa del edificio. Otro parámetro importante en el análisis es el peso de la estructura, el coeficiente sísmico y la fuerza cortante que se produce en la base, aspecto que se incumple ya que los coeficientes superan el 20 % de lo que recomienda el código (IBC), ver tabla 3.

Tabla 3. Reacciones en la base y coeficiente sísmico

Carga Vertical (kN)	Cortante Basal en X (kN)	Cortante Basal en Y (kN)	Coeficiente sísmico en X (%)	Coeficiente sísmico en Y (%)
30 575.83	7 309.9949	7 289.3484	23.91	23.84

Fuente: autores

Chequeo de los desplazamientos extremos totales

En la tabla 4 se exponen los resultados de los desplazamientos absolutos en el tope del edificio para las diferentes combinaciones de cargas, actuando el sismo

en las dos direcciones principales, donde se aprecia que se superan los valores de desplazamientos admisibles del edificio, según el código cubano NC-46: 2017 (Comité Estatal de Normalización, 2017, p. 79).

Tabla 4. Desplazamientos absolutos

Desplazamiento	Combinación Sísmica	
	Sentido transversal (CSx)	Sentido longitudinal (CSy)
Máximo Desp.(m)	0.038231	0.074782
Desp.Máx.Permisible ($1.2\Delta u/cd$) (m)	0.06	

Fuente: autores

DISCUSIÓN

De los resultados se aprecia que la estructura tiene un comportamiento inadecuado ante el efecto de la carga sísmica. Se cumple con el período fundamental pues no sobrepasa los valores establecidos por norma, sin embargo, se incumple con los coeficientes sísmicos debido a que superan el 20 % que recomiendan los códigos (IBC). Se incumple también con el desplazamiento en el sentido longitudinal, que supera el valor permisible.

Una vez verificadas las características dinámicas de la estructura se revisa la capacidad resistente de sus elementos, a partir del análisis demanda-capacidad por el Método de estado límite último. Para las columnas se obtienen los diagramas de interacción fuerza axial-momento (P_n-M_n) que indican la máxima capacidad resistente de la sección, teniendo en cuenta la información que ofrece el diagnóstico en cuanto a calidad del hormigón y refuerzo de las secciones transversales, obteniendo como resultado que las columnas fallan por capacidad.

A partir de los resultados en la evaluación de la capacidad estructural de la edificación se hace necesario proponer variantes de intervención que respondan a los requerimientos de inversión, de arquitectura y de ingeniería estructural.

CONCLUSIONES

1. El edificio estudiado es ecléctico, de tres niveles, de mitad del siglo XX, con solución estructural de pórticos de hormigón armado, uso original de vivienda; posteriormente se adaptó a hotel.
2. Del análisis de los parámetros de control global realizado al edificio en las condiciones actuales, se concluye que la respuesta dinámica es inadecuada; lo cual condiciona una elevada demanda sísmica que supera la capacidad en las columnas y vigas ubicadas en las zonas 2 y 3 (columnas y vigas).
3. Se recomienda como medida necesaria para mejorar el comportamiento de la estructura la disminución de cargas impuestas por los pesos muertos producidos por los espesores de relleno de piso originales y los elementos no estructurales, mediante el uso de paneles ligeros y rellenos aligerados en entrepisos y cubierta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comité Estatal de Normalización (2017). *NC 46: 2017. Construcciones sismo resistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción*. La Habana: autor.
- Empresa de Proyectos–15 de Santiago de Cuba (Emproy-15). (2018). *Anteproyecto hotel Perla de Cuba*. Santiago de Cuba, Cuba. (Inédito).
- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). (2018). *Evaluación del peligro sísmico del sitio de emplazamiento del hotel Enramadas, ciudad de Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba, Cuba. (Inédito).
- Comité Estatal de Normalización (2003). *NC-283: 2003. Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño. ICS 91.08, 1*. La Habana, Cuba: autor.
- Comité Estatal de Normalización (2003). *NC-284: 2003. Edificaciones. Cargas de uso. ICS 91.08 1*. La Habana, Cuba: autor.
- Comité Estatal de Normalización (2006). *NC-450: 2006. Edificaciones-Factores de cargas o ponderación-Combinaciones*. La Habana, Cuba: autor.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, Órgano del Gobierno del Distrito Federal. (2004). *Norma Mexicana*, XIV época, Tomo I, No 103+ BIS. México.

Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA). (2019). *Informe ingeniero geológico del hotel Perla de Cuba*. Santiago de Cuba, Cuba. (Inédito).

Suárez Norbert, A.M. (2018). *Diagnóstico de las lesiones como patologías en el “hotel Perla de Cuba” del Centro Histórico Urbano de la ciudad de Santiago de Cuba* (Tesis presentada en opción al título de arquitecto). Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Recibido: 24 de septiembre de 2021

Aprobado: 15 de noviembre de 2021