

Comportamiento sísmico de edificios del sistema prefabricado Gran Panel Soviético en relación a factores del suelo

Buildings seismic behavior of Soviet Large Concrete Panel Housing System, in relation to soil factors

Yamila Concepción Socarrás-Cordoví^{1*}, Eduardo Rafael Álvarez-Deulofeu¹, Liber Galbán-Rodríguez¹

¹Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para la correspondencia: ysocarrascordovi@gmail.com

Resumen

La concepción estructural del sistema prefabricado Gran Panel Soviético, le confiere un alto grado de hiperestaticidad. Sin embargo, existen incertidumbres acerca del comportamiento sísmico de las edificaciones construidas con este sistema en la provincia Santiago de Cuba, por la presencia de daños patológicos en los elementos y juntas, así como por las modificaciones en el peso y la rigidez que han realizado los moradores. Dada la incidencia de los factores del suelo en el acrecentamiento de esta problemática se valora el comportamiento sísmico de estos edificios en relación al tipo de suelo, la resonancia y la susceptibilidad del deslizamiento, con la consecuente probabilidad del vuelco. Se recurre primeramente a un análisis documental de la zona de emplazamiento, y en una segunda etapa, se realiza la modelación estructural de dos variantes de un edificio, a través del software ETABSv18. Se concluye que, en ambas variantes no es posible el deslizamiento, pero concurre la posibilidad del vuelco. Igualmente, es poco probable la resonancia y la licuefacción del suelo.

Palabras clave: comportamiento sísmico; sistema prefabricado; factores del suelo; deslizamiento; licuefacción; resonancia; vuelco.

Abstract

The structural conception of Soviet Large Concrete Panel Housing System gives it a high degree of hyperstaticity. However, there are uncertainties about the seismic behavior of buildings built in Santiago de Cuba province, Cuba due to the presence of pathological damages in joints, elements, and also due to the modifications in weight and rigidity made by inhabitants. Given the incidence of soil factors that increase the problem, the seismic behavior of these buildings is evaluated in relation to the type of soil, resonance and landslide sensibility, with probability of overturning. Firstly, a documentary analysis of location area is used and a structural modeling of two variants of building is carried out in a second stage, by using the ETABSv18 software. It is concluded that, in both variants, landslide is not possible, but it is evident that overturning is really possible to occur. Similarly, resonance and soil liquefaction are unlikely.

Keywords: seismic behavior; soil factors; landslide; liquefaction; resonance; overturning.

1. INTRODUCCIÓN

En Santiago de Cuba, la zona de mayor peligrosidad sísmica de Cuba, se implementó desde la década del 60 del siglo XX el sistema prefabricado Gran Panel Soviético (GPS). Su concepción estructural le confiere un alto grado de hiperestaticidad y un buen comportamiento ante sismos de gran magnitud que ha sido validado en otros países como Chile y Armenia. Sin embargo, existen incertidumbres acerca del comportamiento sísmico de las edificaciones construidas en Santiago de Cuba, por la presencia de daños patológicos en los elementos y juntas, así como por las modificaciones en el peso y la rigidez realizadas por los moradores. Socarrás & Álvarez (2019) concluyen que el daño patológico distintivo es la humedad, con afectaciones que van desde la presencia de manchas y eflorescencia, hasta la corrosión del acero y mecanismos de desintegración del hormigón. Las modificaciones de peso y rigidez, según estos autores, se deben a la colocación de tanques y tabiques de mampostería, el relleno de las celosías de las fachadas, así como a las aberturas o eliminación de paneles y losas.

Al evaluar en 12 modelos estructurales las repercusiones de las contravenciones estructurales e incremento de peso en el comportamiento sísmico del sistema GPS, analizando como magnitudes de respuestas el peso sísmico, los períodos fundamentales y las cortantes basales (Socarrás *et al.* 2020a) se concluye que el período fundamental de oscilación de estas edificaciones se incrementa, así como el cortante basal. A la par, cuando se

evalúan los resultados (Pons *et al.* 2019) de los períodos obtenidos a través de las vibraciones ambientales de siete edificaciones se aprecia que superan entre 9,00-45,45 % los valores de los períodos empíricos para este sistema prefabricado (Oliva 2001). Por lo tanto, se avizoran cambios en el comportamiento sísmico de estas edificaciones con la consecuente aparición de daños sísmicos potenciales.

Los daños sísmicos potenciales son aquellos que se vislumbran puedan aparecer en una estructura después de un sismo y, dependen de la vulnerabilidad sísmica en relación a las condiciones preexistentes y factores del suelo. En las condiciones preexistentes, se incluyen los daños patológicos, las irregularidades en planta y elevación, la escasa separación entre edificios adyacentes que genera el efecto de golpeteo, entre otros. Dentro de los factores del suelo, se circunscriben el tipo de suelo y sus propiedades físico mecánicas, que inciden en la posibilidad de resonancia, los hundimientos diferenciales potenciales por efecto de asentamiento, el potencial de licuefacción y la susceptibilidad de deslizamiento.

La interrelación que existe entre las condiciones preexistentes y los factores del suelo, es un aspecto clave que no puede ser obviado desde la concepción de una edificación que va a estar emplazada en una zona de peligro sísmico. Por eso, Carreño (2015) enfatiza en la importancia de adaptar el proyecto a las características geomorfológicas, con el fin de disminuir riesgos y amenazas naturales, argumentando que, en suelos blandos, cobra mayor relevancia el efecto de golpeteo. Igualmente es probable la licuefacción del suelo.

Otros autores se refieren a la respuesta sísmica en relación a la frecuencia predominante del movimiento, la natural del suelo y la propia del edificio. Evidentemente, si todas ellas son del mismo orden la posibilidad de daños sísmicos potenciales aumenta notablemente. En este sentido, Candebat (2018) propone la comparación del período de la estructura con el período del suelo, como un indicador clave para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

Teniendo en cuenta la problemática actual de las edificaciones construidas con el sistema GPS, y la incidencia de los factores del suelo en el acrecentamiento de los daños sísmicos potenciales, esta investigación tiene como objetivo valorar el comportamiento sísmico en relación a estos aspectos. También se analiza la posibilidad del vuelco, como una de las manifestaciones de los daños sísmicos potenciales en las edificaciones a base de paneles y vinculado a los fenómenos inducidos por los factores del suelo. Se analiza para este propósito el porcentaje de nudos de la base en tracción y el factor de seguridad al vuelco. Se toma como caso de estudio el edificio

U-142-U-143, ubicado en el micro 9 del Distrito José Martí. Este edificio posee un estado técnico-constructivo malo y posee modificaciones en el peso y la rigidez.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en dos etapas. Primeramente se desarrolló un análisis documental de la zona de emplazamiento y en una segunda etapa se realizó la modelación estructural de dos variantes del edificio a través del software ETABSv18.

Etapa I: Caracterización de la zona de emplazamiento para precisar la posibilidad del deslizamiento y el tipo de suelo, particularizando su período de oscilación y las potencialidades de la licuación.

Se realizó un análisis documental utilizando el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100 000 presentado por el Instituto de Geología y Paleontología (2008) (Figura 1), conjuntamente con la valoraron de los aportes de Rosabal & Álvarez (2018a), Rosabal (2018b) y Pons *et al.* (2019).

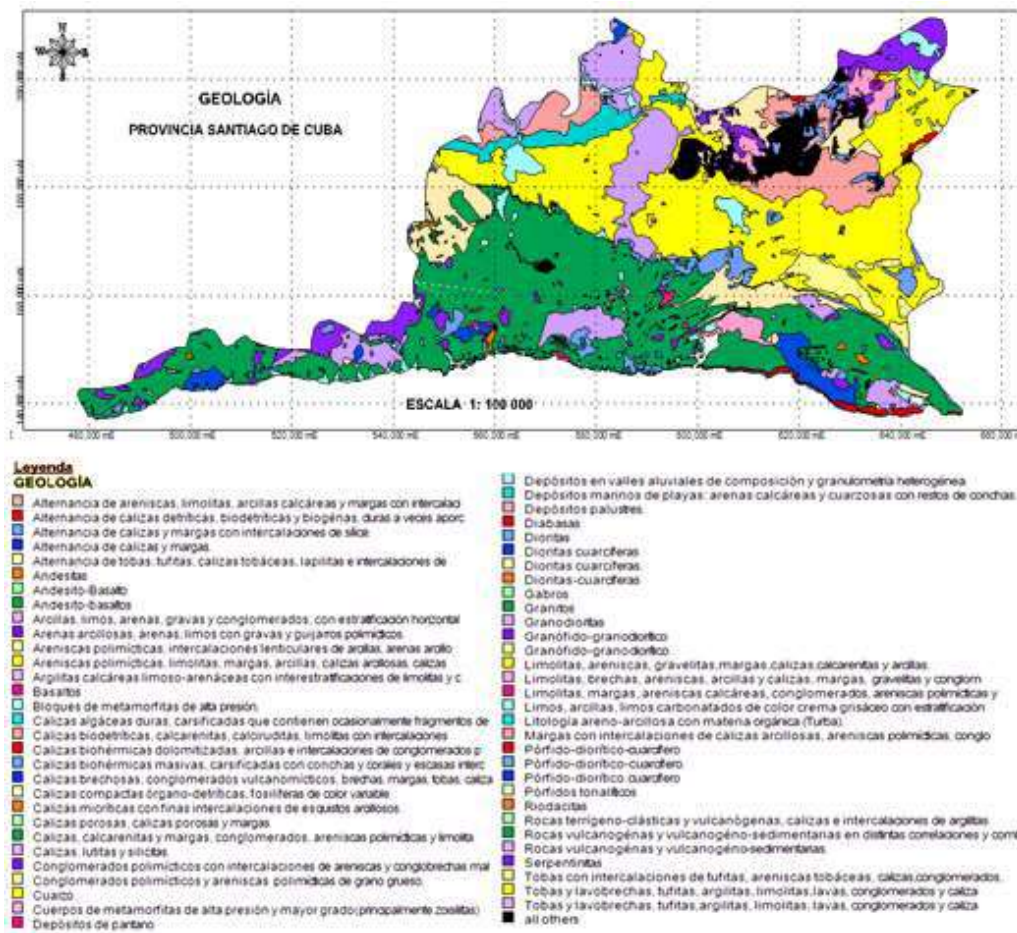


Figura 1. Imagen del mapa geológico actualizado de la provincia Santiago de Cuba. Fuente: Instituto de Geología y Paleontología (IGP), 2008.

Etapa II: Modelación estructural del edificio para obtener los períodos de oscilación fundamentales del edificio, las reacciones en la base y los factores de seguridad al vuelco.

Son datos de partida, el tipo de suelo y su período de oscilación, que aportó el desarrollo de la etapa I. Los modelos multimasas del edificio se elaboraron con el software ETABSv18. Un modelo corresponde al edificio U-142-143 según el proyecto original (variante 1) y el otro modelo de acuerdo a las condiciones actuales de explotación (variante 2). A continuación, se detallan los aspectos relativos a las invariantes de la modelación.

Los paneles y las losas de entrepiso, cubierta y escaleras se modelan como elementos finitos tipo "Shell", unidos de forma continua entre sí para producir un sistema estructural rígido y homogéneo. Los zócalos se consideran simplemente apoyados en la base corrida de hormigón armado. En la Figura 2 se aprecia el isométrico del modelo geométrico del edificio. La longitud del edificio es 32,00 m, el ancho 9,60m y la altura 14,33m.

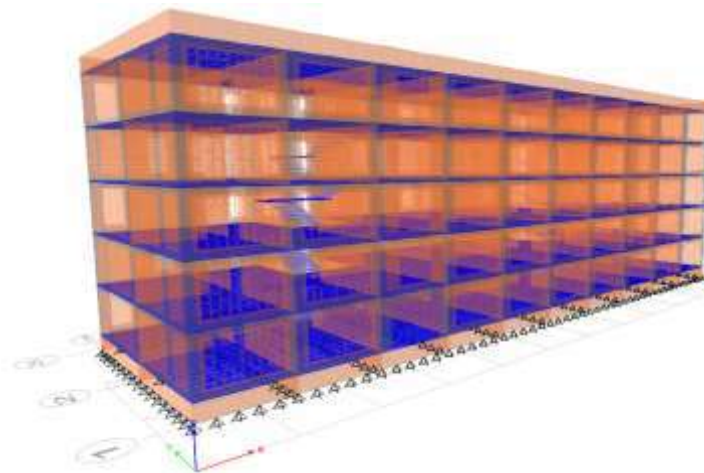


Figura 2. Modelo geométrico del edificio obtenido con el software ETABSv18.

Las resistencias de los materiales se obtuvieron de ensayos destructivos y no destructivos al hormigón y al acero según Tabla 1, donde se detallan los resultados de los ensayos al hormigón que se realizaron tanto a elementos que aún están en el área de almacén de la planta de prefabricado, como a elementos que están conformando las edificaciones.

Tabla 1. Características de los materiales. Adaptado de Socarrás et al. (2020b) y Socarrás et al. (2020c)

Acero	Diámetros (mm)	fy en elementos sin daños patológicos (MPa)	fy en elementos con daños patológicos (MPa)
Corrugado	9.5	328,72	205,45
	12	324,43	202,76
Liso	3	948,58	592,86
	6	397,40	248,37
	8	554,62	346,63
	f'c (MPa)	Módulo de deformación E (MPa)	
Hormigón Prefabricado en elementos sin daños patológicos	16,00	13536,00	
Hormigón Prefabricado en elementos con daños patológicos	12,79	12102,23	
Hormigón relleno de celosía	10,00	10701,14	

El módulo de elasticidad del hormigón prefabricado se calculó por la expresión recomendada por el *American Concrete Institute* (ACI 318R-19), pero con una reducción mayor del 40 %, según recomienda Lewicki (1968) para las edificaciones conformadas por paneles prefabricados. Por otra parte, se incrementa en un 20% por ser la acción sísmica de corta duración, totalizándose una penalización del 28%. El módulo de cortante G se obtuvo del módulo de elasticidad E, asumiendo para el hormigón un coeficiente de Poisson $\nu = 0,17$.

El empleo del análisis lineal obliga a introducir modificadores de rigidez para reflejar el grado de fisuración y de acción inelástica que ocurre en los elementos inmediatamente antes de la fluencia, según *Federal Emergency Management Agency* (FEMA-273) y *American Concrete Institute* (ACI:318-19). También se usan para visualizar en el modelo estructural de la variante 2, la incidencia de las aberturas de los elementos y los daños patológicos presentes.

Los modificadores de rigidez de la variante 2 se obtienen de forma iterativa, a través de la calibración del modelo hasta que el período fundamental del modelo sea mayor entre 1,02-1,15 el período de las vibraciones ambientales medido para este edificio por Pons et al. (2019), tomando en cuenta las

consideraciones de Polyakov (1974) y Chopra (2014). En la Tabla 2 se resumen los modificadores de rigidez a flexión empleados en el modelo estructural calibrado.

Tabla 2. Modificadores de rigidez en los modelos estructurales

Variante	Modificadores de rigidez								
	Zócalos	PLI	PLE	PTI	PTE	PDP	Losas	LDP	RC
1	0,70EI	0,70EI	0,70EI	0,70EI	0,70EI	-	0,50EI	-	-
2	0,35EI	0,35EI	0,35EI	0,35EI	0,35EI	0,15EI	0,25EI	0,10EI	0,15EI

Leyenda: PLI: Paneles Longitudinales Interiores, PLE: Paneles Longitudinales Exteriores, PTI: Paneles Transversales Interiores, PTE: Paneles Transversales Exteriores, PDP: Paneles con Daños Patológicos, LDP: Losas con Daños Patológicos y RC: Rellenos de Celosía

Las cargas permanentes y de utilización se definen según las normas NC 283: 2003 y NC 284: 2003, respetándose las consideraciones de los proyectos originales. (Tabla 3).

Tabla 3. Cargas permanentes y de utilización

Cargas Permanentes (G)		
Cubierta	Tres capas de asfalto gravilla	0,280 kN/m ²
Entrepiso	Relleno	0,180 kN/m ² /cm
	Mortero	20,00 kN/m ³
	Mosaico	0,230 kN/m ² /cm
Escalera		1,960 kN/m ²
Cargas de utilización (Q)		
Cubierta	Desagüe por tragante	2,000 kN/m ²
Entrepiso	Habitaciones de viviendas comunes	1,500 kN/m ²

Las consideraciones adicionales en las invariantes de la modelación estructural en cuanto a la modelación de las cargas en la variante 2 son: tanques de agua con una altura de 1,20 m en los patios de servicio; paredes de bloques de 15 cm de espesor que se adicionaron en las áreas multipropósitos y el relleno de celosías con hormigón de 10 MPa. El peso propio de todos los elementos es generado por el software a partir del peso específico del material (25 kN/m³).

Se modelan las cargas sísmicas según la NC 46:2017 (código sismorresistente vigente en Cuba), con el Método del Espectro de Respuesta (MER) y el Método Estático Equivalente (MEE) utilizándose los períodos fundamentales del análisis modal. Se consideran las tres componentes fundamentales de un sismo, los dos horizontales y la vertical,

combinando el 100% de la carga sísmica en una de las direcciones principales, simultáneamente con el 30% en las restantes direcciones. La carga sísmica, según refiere la norma NC 46-2017, en la dirección vertical se modela como un incremento de la carga permanente total que incluye el peso propio de la estructura, se estima en un 20% de la carga permanente por la aceleración de respuesta para un período corto determinado en el Espectro de Diseño para el perfil de suelo que se obtuvo, que es un perfil D.

El espectro de respuesta de diseño se elabora para edificios de viviendas en la región de análisis, considerando la ubicación del edificio y reducciones de las ordenadas espectrales para la disipación de energía del sistema GPS. A continuación, se detallan las consideraciones para la elaboración del espectro mostrado en la Figura 3:

- Zona de peligro sísmico muy alto (5), donde las aceleraciones horizontales máximas del suelo (0,3 g) para el sismo de diseño se deben no solo a la zona sísmica sino también a la categoría de la obra. En el caso de edificios de viviendas, clasificados como "ordinarios", se recomienda un "sismo básico", el cual para períodos de vida útil de 50 años y una probabilidad de excedencia aceptada de un 10 % según un nivel de protección sísmica D, se corresponden con un período de retorno de 475 años del sismo de diseño.
- Tipo de suelo: perfil D, asociados a suelos rígidos de cualquier espesor que cumpla con el criterio de velocidad de la onda de cortante ($180 \text{ m/s} \leq V_s \leq 360 \text{ m/s}$), o perfiles de suelos rígidos de cualquier espesor que cumpla cualquiera de las dos condiciones mostradas:
 - $15 \leq N \leq 50$ N: número medio de golpes del ensayo de penetración estándar, [golpes/píe]
 - $50 \text{ kPa} \leq S_u \leq 100 \text{ kPa}$ S_u : resistencia media al corte del ensayo no drenado en los estratos de suelos cohesivos.
- Sistema estructural: E2 (sistema de muros)
- Factor de reducción por ductilidad $R = 1.5$, porque se valora que son estructuras prefabricadas proyectadas por códigos derogados, con poca ductilidad del acero de los elementos estructurales y un detallado inadecuado de las secciones de los elementos.

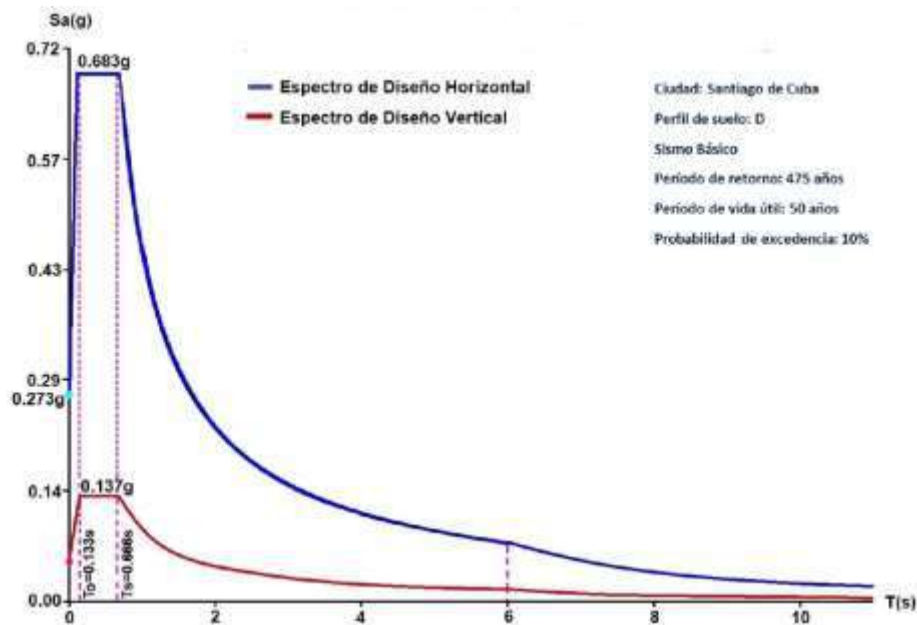


Figura 3. Espectro de Diseño para cargas horizontales y verticales.

Las combinaciones de cargas empleadas fueron:

- Combo 1: $1.2G+0.25Q+1.0S_x+0.3S_y +0.3S_z$
 Combo 2: $1.2G+0.25Q+0.3S_x +1.0S_y +0.3S_z$
 Combo 3: $1.2G+0.25Q+0.3S_x+0.3S_y +1.0S_z$
 Combo 4: $0.9G+1.0S_x +0.3S_y +0.3S_z$
 Combo 5: $0.9G+0.3S_x +1.0S_y +0.3S_z$
 Combo 6: $0.9G+0.3S_x +0.3S_y +1.0S_z$
 Combo 7: $1.2G+1.6Q$

3. RESULTADOS

Etapa I: Caracterización de la zona de emplazamiento

Rosabal & Álvarez (2018a) y Rosabal (2018b) investigaron la susceptibilidad al deslizamiento y licuación de los sectores Guamá, Santiago y Guantánamo, que conforman la zona suroriental de Cuba. Para definir la categoría de los deslizamientos, consideran variables condicionantes como la geomorfología, hidrología, geología y geotecnia, a través del método de zonación pasiva.

El edificio objeto de estudio está emplazado en el bloque Santiago del sector Santiago, como se aprecia en la Figura 4. Según Rosabal (2018b), el bloque Santiago se ubica al centro del sector. Limita al norte con la falla Mar Verde, de dirección SW-NE, y al este con la falla San Juan, de dirección NNE-SSW. Este bloque experimenta movimientos neotectónicos relativos de descenso, bajos valores de pendiente, disección vertical (50 m/km^2), isobasitas de 2do

(50 m) y 3er (50 m) órdenes. La dirección del agrietamiento es hacia el NE-SW. El relieve desarrollado es de llanuras; además, presenta suelos susceptibles a la licuefacción en los alrededores de las bahías de Santiago de Cuba y Cabañas y en las proximidades del río San Juan. Existe alta susceptibilidad a los deslizamientos en los repartos Altamira y Van Van, desprendimientos de rocas al este de la bahía de Santiago de Cuba y en la antigua cantera de la fábrica de cemento José Mercerón.

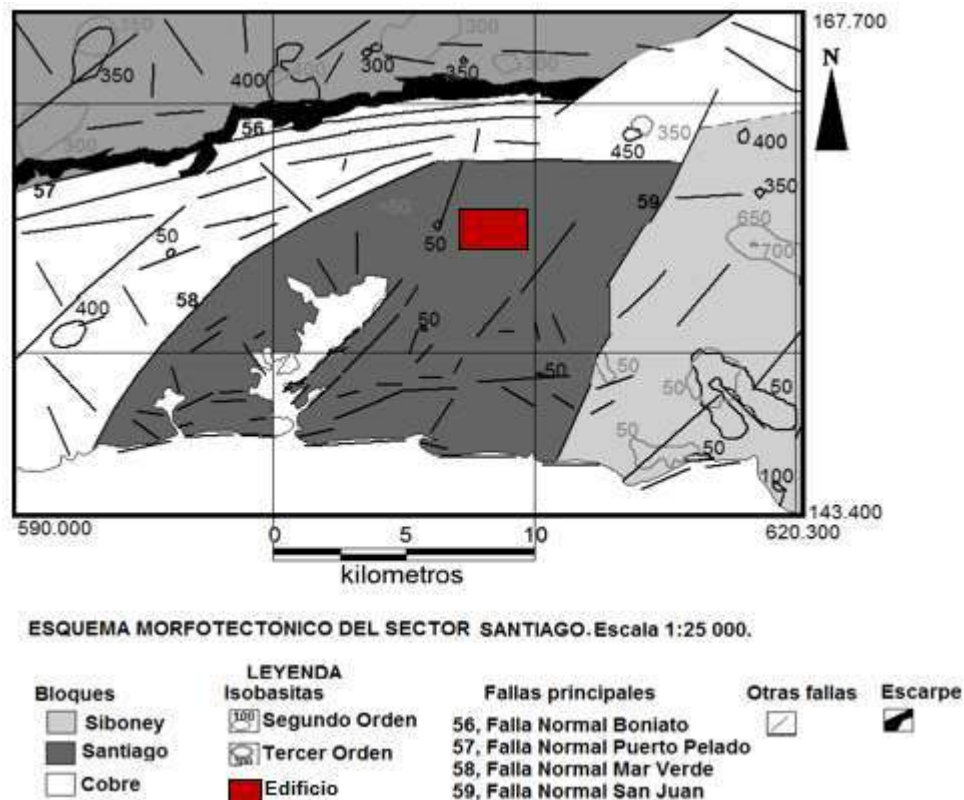


Figura 4. Mapa morfoestructural del sector Santiago de Cuba a escala 1:25 000. Fuente: Rosabal (2018b)

Específicamente en la zona de emplazamiento del edificio, no se esperan deslizamientos ni licuefacción. Rosabal (2018b) precisa que existe una baja susceptibilidad a ambos fenómenos, por las características de la geomorfología, hidrología, geología y geotecnia, como se describe a continuación:

Hidrología (km/km²): 2,5-5 5-7,5

Pendiente: 0-15 (°).

Diseción vertical: 0-175(m/km²)

Relieve: 0-50 (m)

Clasificación de las rocas: Rocas relativamente duras–semiduras. Roca débil granular

Litología: Formación La Cruz

Por otro lado, de Pons *et al.* (2019) se conoce que el período del suelo en la zona del edificio es 0,463 s.

Etapas II: Modelación estructural del edificio

En la Tabla 4 se recogen los valores de las magnitudes de respuesta: períodos fundamentales de oscilación, cortantes basales y peso sísmico, para las dos variantes.

Tabla 4. Magnitudes de respuestas para las dos variantes

Magnitudes de respuestas	Variante 1	Variante 2
Peso del edificio (kN)	19005,91	20 198,150
Período Longitudinal (s)	0,163687	0,270
Período Transversal (s)	0,135001	0,221
Período de Torsión (s)	0,107607	0,188
Método Estático Equivalente (MEE)		
Cortante Basal Long (kN)	8742,72	9 291,15
Cortante Basal Trans (kN)	8071,18	9 291,15
Método Espectro de Respuesta (MER)		
Cortante Basal Long (kN)	7431,31	7 897,60
Cortante Basal Trans (kN)	6860,50	7 897,60

La Figura 5 muestra las reacciones de la base en tracción de la variante 2 y la Figura 6, la reducción de esas reacciones al centro de gravedad de la cimentación. Las coordenadas del centro de gravedad son 16,00 m ; 4,80 m y las del centro de presión 5,33 m; 1,60 m. En la Tabla 5 se muestran los factores de seguridad al vuelco.

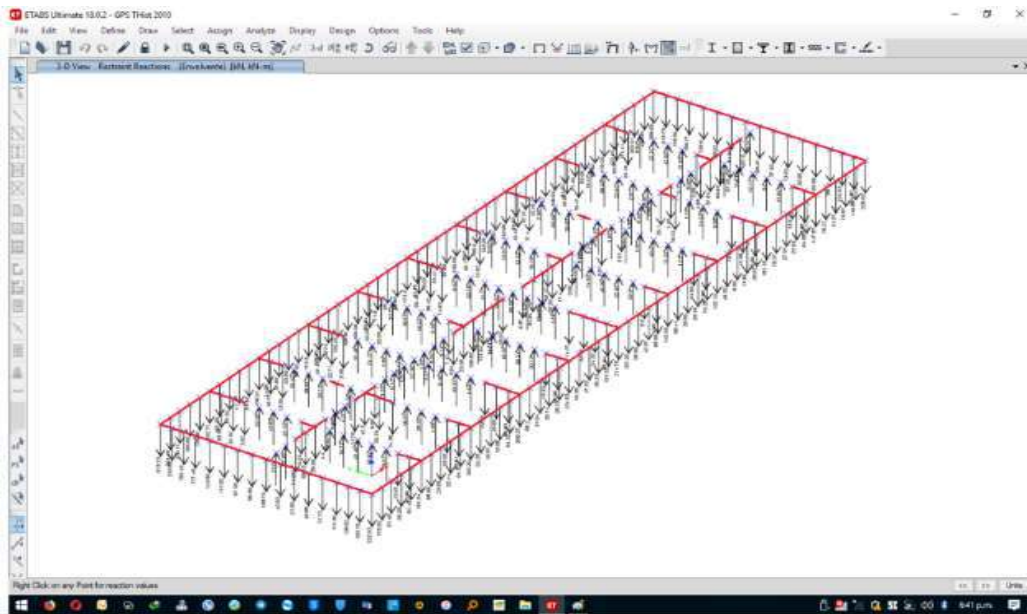


Figura 5. Reacciones en la base en la variante 2.

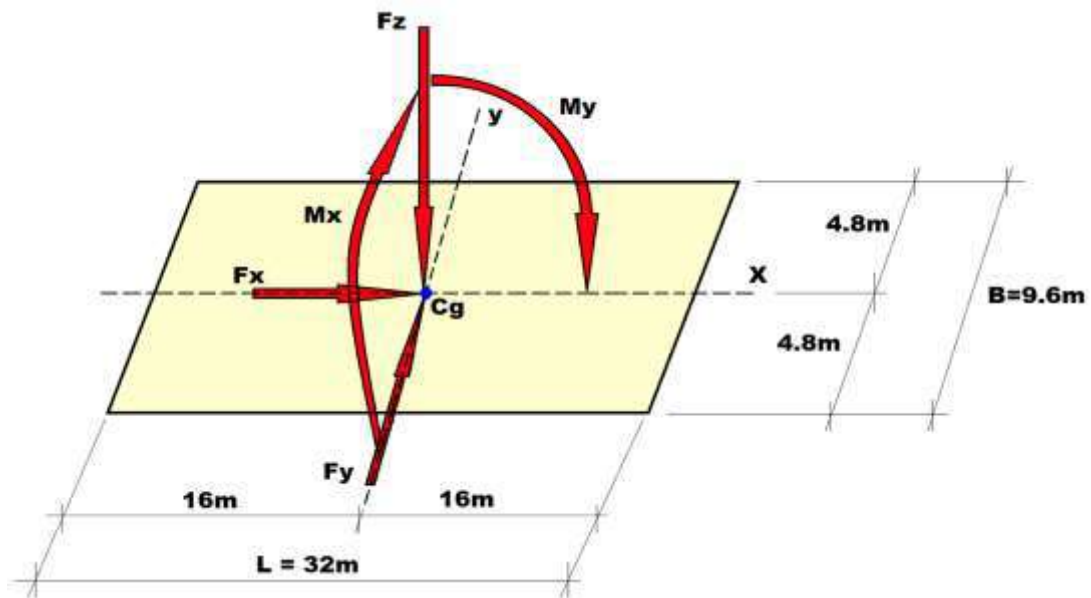


Figura 6. Reducción de las reacciones en la base al centro de gravedad de la cimentación.

Tabla 5. Chequeo de la estabilidad al vuelco

Variante 1							
Combo	Fz, kN	Mx, kNm	My, kNm	FSx, Adim.		FSy, Adim.	
Combo 1	23326,3	25120,6	85398,1	4,4	Cumple	4,5	Cumple
Combo 2	23326,3	85132,8	25385,9	14,7	Cumple	1,3	Cumple
Combo 3	25087,3	25081,9	25359,9	15,8	Cumple	4,8	Cumple
Combo 4	15604,6	25377,2	85501,8	2,9	Cumple	3,0	Cumple
Combo 5	15604,6	85389,5	25489,6	9,8	Cumple	0,9	No Cumple
Combo 6	13891,1	25414,8	25514,8	8,7	Cumple	2,6	Cumple
Combo 7	26329,6	1136,3	323,5	1302,4	Cumple	111,2	Cumple
Variante 2							
Combo 1	24809,9	21772,5	93142,5	4,3	Cumple	5,5	Cumple
Combo 2	24809,9	85469,2	29445,7	13,5	Cumple	1,4	Cumple
Combo 3	26686,3	21350,4	29612,8	14,4	Cumple	6,0	Cumple
Combo 4	16627,6	23558,8	92475,9	2,9	Cumple	3,4	Cumple
Combo 5	16627,6	87255,5	28779,2	9,2	Cumple	0,9	No Cumple
Combo 6	14801,7	23969,4	28616,6	8,3	Cumple	3,0	Cumple
Combo 7	27764,1	-5898,6	2075,5	214,0	Cumple	22,6	Cumple

Las expresiones siguientes se emplean en la determinación de los factores de seguridad al vuelco (FS):

$$FS_x = (M_{estx}) / (M_{desx}) = (F_z)(B/6) / (M_y)$$

$$FS_y = (M_{esty}) / (M_{desy}) = (F_z)(L/6) / (M_x)$$

Donde:

$M_{estx,y}$: Momento Estabilizante alrededor del eje considerado (x o y)

$M_{desx,y}$: Momento Desestabilizante alrededor del eje considerado (x o y)

Los momentos estabilizantes dependen de las cargas gravitatorias y los momentos desestabilizantes de los cortantes basales. Se tienen en cuenta los siguientes criterios para definir la posibilidad del vuelco:

- $FS \geq 3,0$: La base de suelo sometida solo a compresión, ya que la excentricidad será menor al centro de presión en la dirección analizada. No existe riesgo al vuelco.

- $3.0 > FS \geq 1.5$: La cimentación tiene tendencia a levantarse, ya que la excentricidad es mayor al centro de presión. No obstante, la excentricidad está dentro de rangos permisibles ($\leq L/3$ ó $\leq B/3$).
- $1.5 > FS \geq 1.0$: La cimentación tiene tendencia a levantarse con riesgo inminente al vuelco, ya que la excentricidad no está dentro de rangos permisibles ($> L/3$ ó $> B/3$).
- $FS < 1.0$: Se produce el vuelco de la edificación en la dirección analizada.

4. DISCUSIÓN

Al analizar las características de la zona de emplazamiento se concluye que no son probables el deslizamiento ni la licuación. En este último aspecto incide que el suelo es del tipo D (semiduro-duro), acorde a la clasificación de la norma NC46:2017.

La aparición de la resonancia depende de los períodos del suelo y de la edificación. En caso de suelos duros, el valor pico de aceleración se obtiene para altas frecuencias o bajos períodos, por lo que el movimiento será más dañino para estructuras bajas y rígidas, que vibren con este periodo natural. Es decir, que en edificios del sistema prefabricado GPS, que son edificios rígidos de 4 o 5 niveles, cuando se ubiquen en suelos duros, puede ocurrir la resonancia. Sin embargo, en el edificio analizado para ambas variantes, no es probable la resonancia, ya que el período del suelo es 0,463s y los mayores períodos de oscilación de los modelos son 0,163687s en la variante 1 y 0,270s en la variante 2. No obstante, si la rigidez del edificio sigue disminuyendo, no se puede descartar la resonancia en un futuro.

El análisis de los porcentajes de nudos de la base en tracción es un parámetro de control que refleja la magnitud de las demandas sísmicas. Es también un indicador importante de la vulnerabilidad sísmica porque supone además incrementos considerables de las presiones en el suelo en la cara opuesta a donde estas se presentan, ocasionando el vuelco de las edificaciones. Sobre todo, cuando exista el riesgo de fenómenos que generen inestabilidad de la cimentación.

En esta investigación se aprecia que en ambas variantes pueden presentarse reacciones de tracción. Aunque en la variante 1 el porcentaje de nudos en tracción es de 72,53% mayor que en la variante 2, de 68,83 %. Consecuentemente, cuando se analizan los resultados de la Tabla 5, se concluye que es posible el vuelco en ambas variantes, mostrándose la dirección "y", como la crítica debido a las dimensiones en planta de la edificación. Los factores de seguridad (FS) en esa dirección son ligeramente

mayores en la variante actual, debido a que se incrementan tanto las cargas gravitatorias como los cortantes basales. La combinación crítica es la 5, porque los momentos estabilizantes son menores, ya que no se consideran las cargas de utilización y al mismo tiempo son mayores los momentos desestabilizadores al considerarse el 100% de la carga sísmica en "y".

5. CONCLUSIONES

- En ninguna de las dos variantes analizadas es posible el deslizamiento aunque concurre la posibilidad del vuelco, no obstante, los factores de seguridad al vuelco son menores en el edificio en las condiciones actuales. Esto se debe a que se incrementan tanto las cargas como los cortantes basales.
- La resonancia y la licuefacción son poco probables; sin embargo, si continúa disminuyendo la rigidez del edificio, los períodos de oscilación seguirán aumentando y puede originarse la resonancia.

6. REFERENCIAS

- American Concrete Institute. 2019: *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19)*.
- Candebat-Sánchez, D. 2018: Metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón armado. *Informes de la construcción*, 70(549): e247. <https://doi.org/10.3989/id.55418>
- Carreño-Bustos, A.D. 2015: *Estudio de la prefabricación en concreto reforzado y su influencia en la construcción de estructuras en Colombia*. Jorge Ignacio Segura Franco (Tutor). Tesis de maestría. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C, Colombia.317 p.
- Chopra, A. 2014: *Dinámica de Estructuras*. Pearson Educación, México, 756 p.
- Comité Estatal de Normalización. 2017: *Construcciones sismo resistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción (NC 46)*. La Habana, Cuba.
- Comité Estatal de Normalización. 2003: *Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño (NC 283: 2003)*. La Habana. Cuba
- Comité Estatal de Normalización. 2003: *Edificaciones. Cargas de uso. (NC 284: 2003)*. La Habana. Cuba
- Federal Emergency Management Agency. 1997: *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 273)*.

- Instituto de Geología y Paleontología (IGP). 2008: *Mapa Geológico Digital de la República de Cuba escala 1:100 000*. Centro Nacional de Información Geológica.
- Lewicki, B. 1968: *Edificios de viviendas prefabricadas con elementos de grandes dimensiones*. Arkady, Polonia, 615 p.
- Oliva-Álvarez, R. 2001: *Determinación experimental del periodo fundamental de vibración de estructuras para la evaluación de la vulnerabilidad en Cuba*. Grupo de Ingeniería Sísmica. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba.
- Polyakov, S. 1974: *Design of earthquake resistant structures*. MIR Publishers, Moscow, 368 p.
- Pons-Gascón, W., Lora-Alonso, F., Montenegro-Moracén, C. Y Poveda-Brossard, V. 2019: *Mediciones Instrumentales de período en edificios construidos con el Sistema Prefabricado Gran Panel Soviético ubicados en la provincia de Santiago de Cuba*. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Cuba.
- Rosabal-Domínguez, S.Y. y Oliva-Álvarez, R. 2018a: Susceptibilidad por deslizamientos en el sector Baracoa-Cajobabo, provincia Guantánamo, Cuba. *Revista GEOS*, 38(2): 1-15.
- Rosabal-Domínguez, S.Y. 2018b: *Evaluación de peligros de deslizamientos y licuefacción de suelos, inducidos por la actividad sísmica, en Cuba suroriental*. Alina Rodríguez Infante y José Alejandro Zapata Balanqué (Tutores). Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 230 p.
- Socarrás-Cordoví, Y. C. Y Álvarez-Deulofeu, E. 2019: *Factores causantes de daños potenciales en el Gran Panel Soviético*. En: VI Jornada Internacional de Ingeniería Civil. Holguín, Cuba, 20-23 noviembre. ISBN: 978-959-247-183-2
- Socarrás-Cordoví, Y.C., Álvarez-Deulofeu, E. & Moreno-Roche, E. 2020a: Repercusiones de las contravenciones estructurales e incremento de peso en el Gran Panel Soviético en Santiago de Cuba. *Revista Obras Públicas*, 3623: 74-82.
- Socarrás-Cordoví Y.C, Gonzalez-Diaz, L., Álvarez-Deulofeu, E. Gonzalez Fernandez, M.M., Roca-Fernandez, E.& Torres-Shoembert, R. 2020b: Valuation of the Durability of the Concrete Used in the Precast Great Soviet Panel System. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29(54): e10486, DOI: 10.19053/01211129.v29.n54.2020.10486
- Socarrás-Cordoví Y.C, Gonzalez-Diaz, L., Álvarez-Deulofeu, E. Gonzalez Fernandez, M.M. & Roca-Fernandez, E 2020c: Evaluación de la calidad del hormigón en edificaciones construidas con el sistema prefabricado gran panel soviético. *Tecnología Química*, 40(2): 264-277. ISSN: 2224-6185

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

YCSC: búsqueda de información y realización de la modelación estructural. Redacción del manuscrito. Aprobación de la versión final. EAD: modelación estructural. Revisión del original y aprobación de la versión final. LGR: caracterización del sitio. Aprobación de la versión final del artículo.

ORCID

YCSC, <https://orcid.org/0000-0002-3198-3543>

ERAD, <https://orcid.org/0000-0003-1819-263X>

LGR, <https://orcid.org/0000-0002-2377-9008>

Recibido: 30/10/2020

Aceptado: 25/03/2021