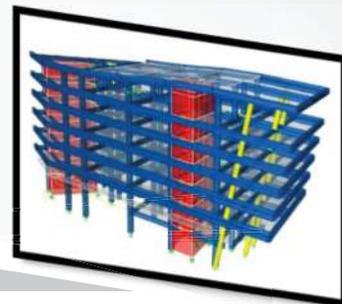


Caracterización sísmica del edificio de ocio del Hotel Habana SUNCUBA

Seismic characterization of the leisure building of the Habana SUNCUBA Hotel



Anaily Carbonell Álvarez¹, Annabel Ramos Castillo², Nelson Fundora Sautié³, Janet Otmara Martínez Cid⁴

¹Ingeniero Civil, Empresa de Ingeniería y Proyectos del Petróleo (EIPP). E-mail: anaily231097@gmail.com

²Ingeniero Civil, Empresa de Proyectos de La Habana (EPROB). E-mail: aramos@eprob.cu

³Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: nelsonfs@civil.cujae.edu.cu

⁴Ingeniero Civil, Doctora en Ciencias Técnicas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E-mail: jcid@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

Como parte del desarrollo constructivo actual de Cuba en el sector del turismo, se encuentra el hotel Habana SunCuba, que estará ubicado en el municipio Playa, provincia La Habana. La obra en general está compuesta por varias edificaciones entre las que se destacan los hoteles de ocio y negocios. El trabajo que se presenta se centra en el hotel de ocio cuya tipología estructural consiste en columnas y tímpanos como elementos verticales y dos posibles soluciones como soporte horizontal: losas de hormigón armado con y sin la presencia de vigas. Debido a las tipologías estructurales propuestas, la geometría de la edificación y la categoría ocupacional, se realiza la caracterización sísmica de la misma para la zona sísmica en la que se encuentra según la NC 46:2017. La caracterización sísmica se basa en el análisis de los requisitos de configuración en planta y elevación que establece la NC 46: 2017, la obtención del periodo de oscilación y la verificación del Estado Límite de Servicio en cuanto a deriva y desplazamiento máximo en el tope. Se realiza la modelación de la edificación con el empleo del programa ETABS. Se comparan los resultados de ambas tipologías estructurales. Se concluye que las dos variantes de tipologías propuestas cumplen el Estado Límite de Servicio y pueden ser empleadas como solución estructural de la edificación.

Palabras claves: Análisis sismorresistente, entrepiso sin vigas, ETABS.

ABSTRACT

As part of the current construction development in the tourism sector of Cuba, is the Habana SunCuba hotel, which will be located in Playa, in the city of La Habana. The Habana SunCuba hotel project includes a leisure and business hotels. The present paper focuses on the leisure hotel whose structural typology consists of columns and shear wall as vertical structure and two possible solutions as horizontal support: reinforced concrete slabs with and without beams systems (flat slab). Due to structural typologies, the geometry of the building and the occupational category, the seismic characterization of the building is carried out for the seismic zone in which it is located according to NC 46: 2017. The seismic characterization is based on the plan and vertical configuration requirements established in NC 46: 2017, the determination of the oscillation period and the verification of Serviceability requirements in terms of drifts and maximum story displacement of the building. The building is modeled using the ETABS program. The comparison of the two possible solutions of structural typologies is presented. It is concluded that both typologies comply the Serviceability requirements and can be used as a structural solution for the building.

Keywords: ETABS, flat slab, seismic analysis.

Nota Editorial: Recibido: septiembre 2021; Aceptado: septiembre 2021

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de estructuras sismorresistentes tiene peculiaridades y requisitos que lo diferencian totalmente del que se realiza para otros tipos de cargas como puede ser la de viento. A diferencia de este último, en el sismo, no puede ser previsto el instante en que va a suceder ni su magnitud. Resulta aún más complejo el hecho de que el sismo es una consecuencia directa del movimiento del suelo, por lo que implica un desequilibrio evidente para la edificación. La Norma Cubana (NC 46:2017) [1] plantea como filosofía básica del diseño de estructuras sismorresistentes: proteger la vida de las personas, asegurar la continuidad de los servicios vitales y minimizar los daños en las construcciones.

Desde hace varios años se vienen desarrollando en la ciudad proyectos variados destinados a hoteles. Uno de estos es el hotel Habana SunCuba ubicado dentro del Polo Turístico " Marina Hemingway" en el municipio Playa, provincia La Habana, que tiene como inversionista principal a la Empresa Mixta Habana SunCuba S.A. La obra en general está compuesta por varias edificaciones entre las que se destacan los hoteles de ocio y negocios.

El presente trabajo se centra en el hotel de ocio. La tipología estructural del edificio objeto de estudio consiste en columnas y tímpanos como elementos verticales. Como soporte horizontal se proponen dos soluciones: losas de hormigón armado con y sin la presencia de vigas.

La tipología estructural mixta presenta columnas y tímpanos como elementos de soporte vertical y losas con vigas como elementos de soporte horizontal. Esta tipología estructural ha tenido amplias recomendaciones de uso en países donde existe un alto riesgo sísmico, producto de las disímiles ventajas que este proporciona, entre ellas: permite realizar edificaciones de pequeña y mediana altura, ya que al presentar tímpanos rígidos el periodo natural es más corto, y por lo tanto los desplazamientos son mucho menores que en edificios con sistemas porticados [2], [3]. Además, minimiza la posibilidad de falla por lo que se conoce como piso blando, debido a que al ser los tímpanos elementos de gran rigidez absorben la mayor parte de la acción sísmica [4] .

Para el caso de la tipología de entrepisos sin vigas, la respuesta frente a cargas sísmicas se caracteriza por un comportamiento desfavorable. La principal limitación de esta solución estructural es que tienen una rigidez lateral muy baja debido al poco peralte de la losa y el reducido ancho de la misma que funciona como viga equivalente sobre la columna. Esto provoca un ínfimo acoplamiento con las columnas generando que estas se flexionen como voladizos y eliminan el punto de inflexión en cada entrepiso, lo que dificulta cumplir con los requisitos de desplazamientos laterales admisibles, excepto en edificios de muy pocos pisos.

Para garantizar una adecuada respuesta de las estructuras ante las cargas sísmicas, se plantean recomendaciones de configuración en planta y elevación. Estas recomendaciones se basan en concebir estructuras regulares en cuanto a geometría y disposición de elementos verticales y horizontales, para lograr un equilibrio de masas y rigideces [1], [5] evitando así posibles torsiones que puedan surgir ante la acción de las cargas alternadas que inducen los sismos a las estructuras [6], [7].

La norma cubana de sismo NC 46:2017 [1] clasifica al municipio Playa como zona sísmica 2, caracterizada por riesgo sísmico bajo que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. La categoría ocupacional de la obra es importante y atendiendo a la zona sísmica en la que está enclavada, no se requiere aplicar el diseño sismorresistente a la misma. No obstante, atendiendo a la categoría ocupacional y las tipologías estructurales que se proponen en la edificación, se solicita, por parte de la entidad proyectista, realizar una evaluación de la respuesta estructural de la edificación bajo la acción de la carga sísmica para ambas tipologías. Para ello, se realizó el análisis de las irregularidades existentes en planta y elevación de la edificación, así como la comprobación del Estado Límite de Servicio. Se aplicó el Método Estático Equivalente para la determinación de la carga sísmica y se realizó la modelación de la edificación con el empleo del programa ETABS v17. Los resultados incluyeron la determinación del periodo fundamental de oscilación, el desplazamiento en el tope de la edificación y las derivas. Se verificó que los resultados obtenidos para ambas tipologías cumplieran con los requisitos para el Estado Límite de Servicio establecido en la NC 46: 2017 [1] y se compararon los resultados de ambas tipologías estructurales.

2. METODOLOGÍA

La edificación se ubica en el bloque norte en el Polo Turístico "Marina Hemingway", en la faja litoral de la parte occidental de La Habana, correspondiente a la zona 2 según los requisitos de la NC 46: 2017 [1]. El hotel de ocio objeto de estudio estará destinado en sus dos primeros niveles a salones de reuniones, oficinas y locales de servicio. El resto de los niveles están destinados a las habitaciones. Dado que el área de la parcela se encuentra dominada su emplazamiento por el mar y por la tierra y teniendo en cuenta la experiencia de los efectos del cambio climático a lo largo de 30 años, se considera necesario fijar como $\pm 0,00$ la cota 5,40, la cual representa 2,60m por encima del nivel de inundación máximo [8]. (Figura 1)

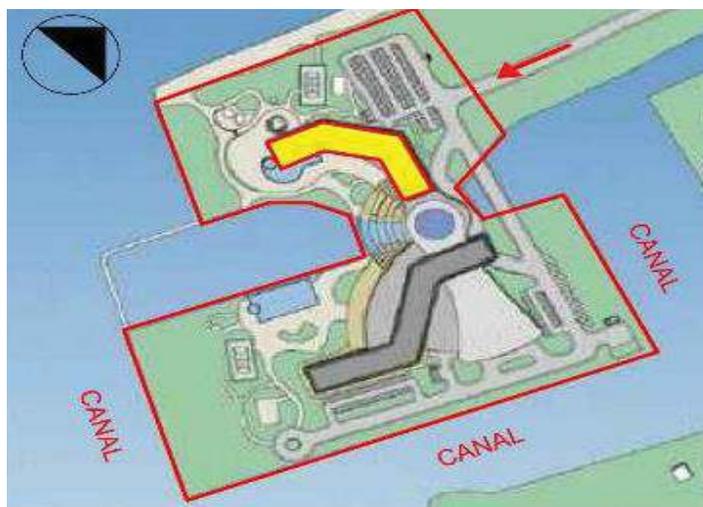


FIGURA 1: MICROLOCALIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN. FUENTE: [8].

El hotel de ocio (Figura 2) posee seis pisos de altura con nivel de cubierta +27,0 m (+29,28 m para la suite presidencial). Según el diseño arquitectónico y las cargas, se adopta una estructura de pórticos de hormigón armado y tímpanos. Este sistema estructural se encuentra determinado en la NC 46:2017 [1] como E3: losas actuando como diafragmas horizontales, sostenida por una combinación de muros estructurales y pórticos. Las cargas horizontales se distribuyen entre los tímpanos y los pórticos en función de sus rigideces en el plano vertical y las vigas tienen función sismorresistente. Los pórticos están compuestos por columnas de diferente sección transversal, atendiendo a sus dimensiones, y el edificio cuenta además con columnas de sección circular en la parte trasera. Los tímpanos, ubicados en las escaleras y ascensores, están concebidos para resistir las acciones de las cargas horizontales. Las columnas, vigas, tímpanos y losas estructurales serán elementos hormigonados in situ.

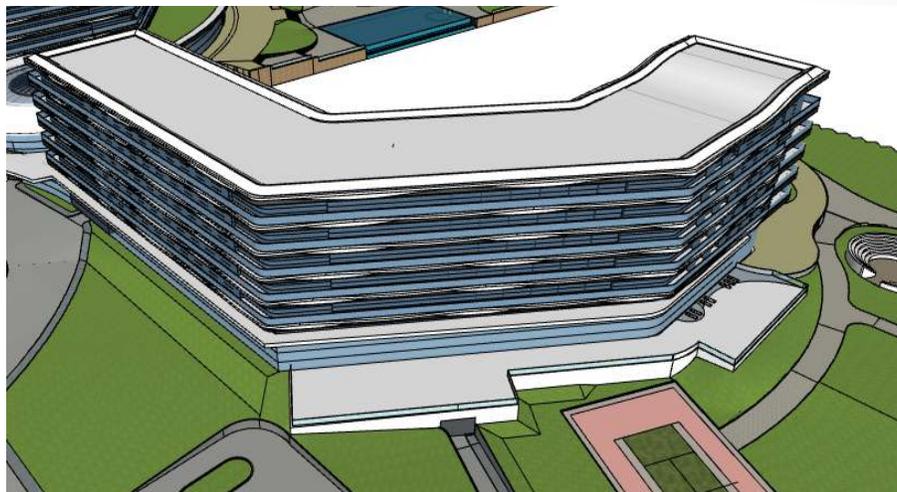


FIGURA 2: BLOQUE NORTE DEL HOTEL HABANA SUNCUBA. HOTEL DE OCIO. FUENTE:[8] .

2.1 Caracterización de la edificación según requisitos de estructuración en planta y elevación

Teniendo en cuenta los criterios de la NC 46: 2017 [1], se llevó a cabo el análisis de la edificación para detallar los requisitos de estructuración en planta y elevación. El análisis se realizó para la variante de entepiso con presencia de vigas. La edificación se dividirá en tres bloques por juntas de dilatación definidas por proyecto.

Los criterios establecidos en la NC 46: 2017 [1] son los siguientes:

El uso de sistemas estructurales que aporten rigidez y resistencia a la estructura en dos direcciones ortogonales entre sí

El hotel de ocio contiene tímpanos con continuidad a lo largo de toda su altura, que constituyen a la vez cajas de ascensores y escaleras y por tanto se encuentran rigidizando la estructura en las dos direcciones y asumen así gran parte de las cargas horizontales (Figura 3).

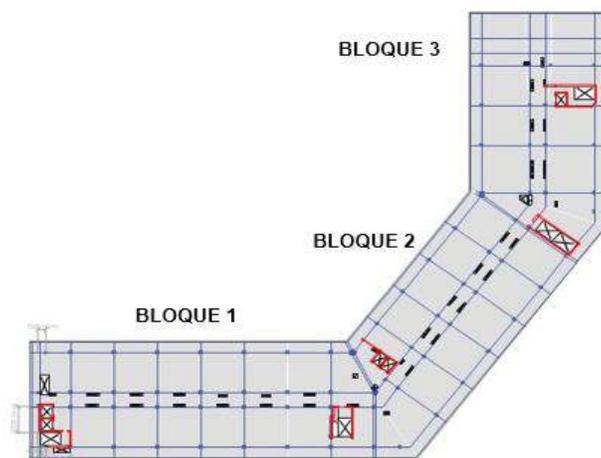


FIGURA 3: DISTRIBUCIÓN DE TÍMPANOS EN CADA BLOQUE.

En los tres bloques existe una distribución asimétrica de los tímpanos. A partir de la determinación de las coordenadas de los centros de masas y rigidez, así como los valores de excentricidad, se demuestra en los tres bloques la existencia de altos valores de excentricidad en las plantas que varían en la altura debido a la poca uniformidad de la rigidez, lo que implica la ocurrencia de torsiones bajo la acción de cargas horizontales, específicamente la carga sísmica. En la tabla 1 se muestran las coordenadas del centro de masa (X_{CM} , Y_{CM}) y

rigidez (X_{CR} , Y_{CR}) y los valores de la excentricidad (e_x , e_y) para el bloque 1.

TABLA 1: COORDENADAS DE LOS CENTROS DE MASAS Y RIGIDEZ DEL BLOQUE 1. VALORES DE EXCENTRICIDAD EN CADA NIVEL.

Nivel	X_{CM} (m)	Y_{CM} (m)	X_{CR} (m)	Y_{CR} (m)	e_x (m)	e_y (m)
Nivel + 27.10	32,02	12,29	35,900	9,55	-3,88	2,74
Nivel + 23.41	31,83	12,01	36,54	9,52	-4,71	2,49
Nivel + 19.80	31,85	12,02	37,22	9,48	-5,37	2,54
Nivel + 16.20	31,85	12,02	37,89	9,41	-6,03	2,61
Nivel + 12.60	31,85	12,02	38,45	9,25	-6,60	2,77
Nivel + 9.00	29,59	11,86	38,83	8,90	-9,23	2,97

Forma regular en elevación

Las fuertes reducciones del tamaño de la planta después de cierto número de pisos provocan amplificaciones locales del movimiento. La concentración de masas importantes a gran altura es poco adecuada, debido a que se incrementan notablemente las fuerzas de inercia y los momentos de volteo.

La NC 46:2017 [1] plantea las siguientes irregularidades:

- Piso suave (V1-A): dado por la reducción de rigidez lateral que experimenta el piso. Se considera como irregularidad cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la del piso superior o menor que el 80% del promedio de la rigidez lateral de los tres niveles superiores.
- Masa irregular verticalmente (V2): El peso sísmico de un piso es más del 150% del peso sísmico de cada piso adyacente.

A partir de la comparación entre niveles de rigidez y masa de los entrepisos se concluye que los tres bloques presentan la irregularidad de piso suave. Los bloques 2 y 3 presentan la irregularidad V2.

Forma regular en planta

En ninguno de los bloques del edificio hay irregularidades en planta por diafragma discontinuo (H3) pues no existe un cambio de rigidez superior al 50% de un piso con relación al siguiente [1].

2.2 Descripción del modelo

Para el análisis, se dividió la edificación en los tres bloques definidos por proyecto (Figura 4), separados por las juntas de expansión de 50mm.

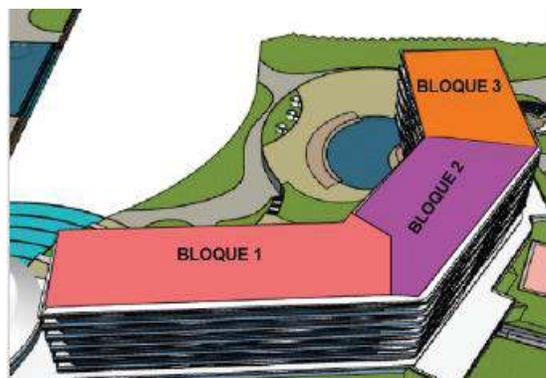


FIGURA 4: VISTA EN 3D DEL HOTEL DE OCIO CON LAS DIVISIONES REALIZADAS PARA EL ANÁLISIS. FUENTE: [8].

Geometría

El bloque 1 tiene 24,70 m de ancho y una inclinación de 00 respecto a la horizontal; el bloque 2, 25,70 m de ancho y una inclinación de 530 respecto a la horizontal y el bloque 3, 26,70 m de ancho y una inclinación de 900 respecto a la horizontal, (Figura 5).

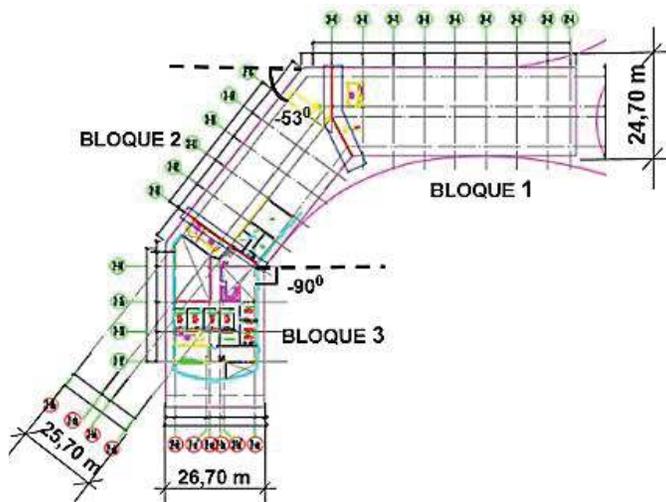


FIGURA 5: VISTA EN PLANTA DEL HOTEL DE OCIO.

En cuanto a la altimetría, la planta baja tiene un puntal de 9 m, el cual es interrumpido parcialmente por un mezzanine a la altura de 4,45 m y un puntal de 4,55 m. Luego están los bloques habitacionales que tienen un puntal de 3,60 m, exceptuando el último piso que tiene un puntal de 3,70 m, y al final del edificio, en la zona de la suite presidencial, el puntal es de 5,88 m, (Figura 6).

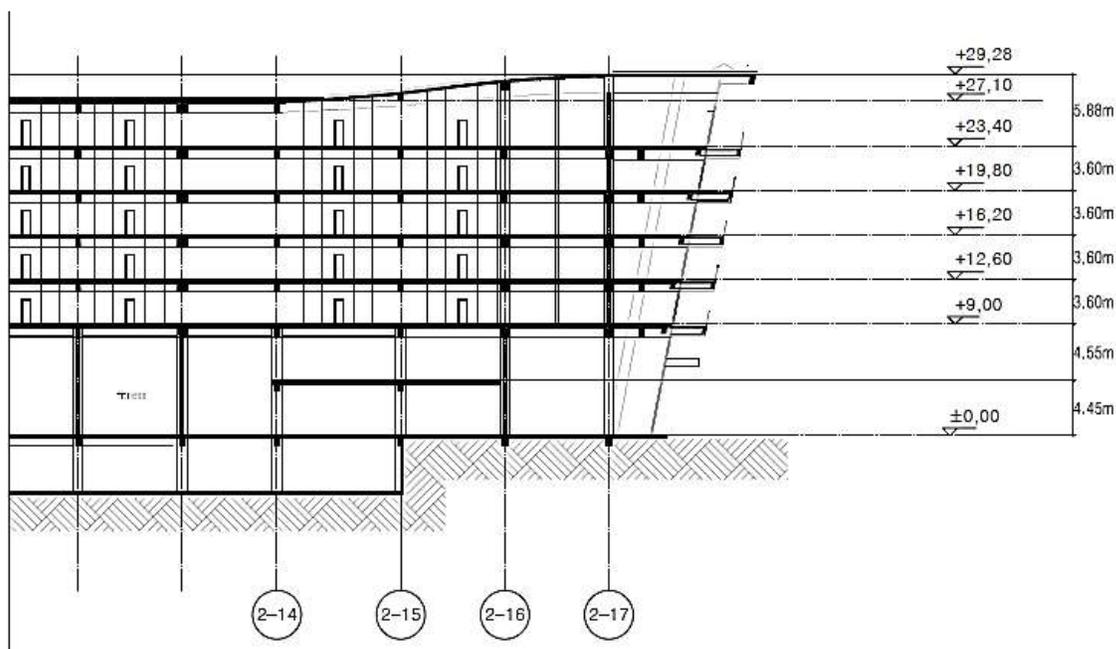


FIGURA 6: SOLUCIÓN ALTIMÉTRICA DEL BLOQUE DE OCIO DEL HOTEL HABANA SUNCUBA. FUENTE: [8]

La estructura posee pórticos de hormigón armado y tímpanos. Existe variedad en las dimensiones y secciones de las columnas y algunos ejes de la planta no se encuentran en toda la altura del edificio. Los tímpanos están localizados en las cajas de escaleras y ascensores. Tienen continuidad en la altura del edificio y 20 cm o 30 cm de espesor. Con relación a las vigas, existen en el edificio varios tipos, atendiendo a su sección transversal.

Las losas presentan peraltos de 15 cm y 20 cm, las cuales se encuentran divididas en paños con diversidad en sus dimensiones debido al funcionamiento de los distintos locales. En algunas hay presencia de huecos destinados, fundamentalmente, al pase de conductos de climatización.

Material

Los elementos vigas, columnas, losas, tímpanos y losa de cimentación, fueron considerados de hormigón armado fundido in situ, con una resistencia característica del hormigón de $f'c = 30 \text{ MPa}$, peso específico de 24 kN/m^3 , módulo de elasticidad $E = 25\,742 \text{ MPa}$ y coeficiente de Poisson $\nu = 0,20$. Las barras de refuerzo estructural a emplear son grado G-40 con una resistencia de 400 MPa y un módulo de deformación de $2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

Condiciones de borde

Las uniones entre los diferentes elementos estructurales están concebidas de forma tal que la estructura sea capaz de disipar energía ante la acción de cargas horizontales, así como aportar suficiente rigidez a la edificación para resistir el resto de las acciones sin deformarse excesivamente. Se concibe el siguiente esquema de análisis: unión cimiento a elementos de la superestructura: empotrada, se mantiene la continuidad de las losas hormigonadas in situ, las columnas son continuas en toda la altura y la unión viga- columna es continua.

Cargas

Cargas Permanentes

En la Tabla 1 se resumen los valores de carga permanente que le corresponde a cada nivel según la NC 283:2003 [9]. En el caso del peso propio de los elementos, el software ETABS se encarga de calcularlo automáticamente.

TABLA 2: CARGAS PERMANENTES.

Nivel	Material	Carga (kN/m ²)
Entrepisos y Mezzanine	Instalaciones	0,50
	Falso techo	0,24
	Estructura soporte de falso techo	0,02
	Relleno de piso	3,60
	Mortero de colocación	0,40
	Piso	0,52
	Total	5,28
Cubierta	Instalaciones (Paneles solares)	2,00
	Falso techo	0,24
	Estructura soporte de falso techo	0,02
	Impermeabilización (Enrajonado, mortero de colocación, soldadura)	4,04
	Total	6,30

Cargas de uso

En la tabla 3 se resumen los valores de carga de uso dispuestas en cada nivel según lo que establece la NC 284:2003 [10].

TABLA 3: CARGAS DE USO.

Nivel	Material	Carga (kN/m ²)
Nivel +4,45	Gimnasio, sauna	4,0
	Escaleras	4,0
	Almacenamiento	5,0
	Tabiques ligeros	0,5
Niveles +9,00 a +19,80	Cuarto de huéspedes	2,0
	Escaleras	4,0
	Tabiques ligeros	0,5
	Balcones	4,0
	Pasillo interior de acceso a las habitaciones	2,0
	Restaurante	4,0
	Bar	3,0
Niveles +27,10 a +29,28	Cubiertas	2,0

Carga sísmica

Para realizar el análisis de la carga de sismo se tomó como referencia la NC 46:2017 [1]. En el caso de la edificación objeto de estudio, dado que se encuentra en zona sísmica dos y clasifica como tipo ordinaria, no es preciso un diseño sismorresistente atendiendo al Nivel de Protección Sísmica (NPS) A, que establece la NC 46:2017 [1]. Lo anterior justifica la posibilidad de aplicación del Método Estático Equivalente en la determinación de las fuerzas sísmicas.

Perfil de suelo en cuestión: Tipo C. perfiles de suelos muy densos o roca blanda

La tabla 4 muestra los coeficientes de peligro sísmico que responden a la zona en la que se encuentran ubicadas las edificaciones.

TABLA 4: PELIGRO SÍSMICO EN LA ZONA DE UBICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES SEGÚN NC 46:2017 [1].

Provincia	Municipio	So (g)	Ss (g)	S1 (g)	TL (s)	Zona
La Habana	Playa	0,179	0,324	0,076	3,0	2

Donde:

S₀: Aceleración pico del suelo para T=0.

S_s: Ordenada espectral de periodo corto.

S₁: Ordenada espectral con periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

TL(s): Periodo de transición del periodo largo.

Ajustes por clase de sitio

Los ajustes por clase de sitio se realizan por las expresiones 1 y 2:

$$S_{CS} = S_S \cdot F_a \quad (1)$$

$$S_{1S} = S_1 \cdot F_v \quad (2)$$

F_a : Coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos: 1,20

F_v : Coeficiente de sitio para periodos largos: 1,69

Ajustes por intensidades sísmicas especiales

Los valores de los factores de falla cercana N_a y N_v son 1,00 y 1,00 respectivamente ya que las fallas se encuentran a más de 15 km, por lo que no requiere ser ajustado adicionalmente por la posibilidad de intensidades incrementadas de vibración (expresiones 3 y 4).

$$S_{CS} = S_S \cdot F_a \cdot N_a \quad (3)$$

$$S_{1S} = S_1 \cdot F_v \cdot N_v \quad (4)$$

Espectro calibrado al nivel de diseño requerido

El espectro calibrado al nivel de diseño requerido se ajusta por las expresiones 5 y 6:

$$S_{DS} = S_{CS} \cdot K_d \quad (5)$$

$$S_{D1} = S_{1S} \cdot K_d \quad (6)$$

Donde:

S_{DS} : Aceleración espectral de diseño para período corto.

S_{1S} : Aceleración espectral de diseño para periodo largo.

K_d : Factor de escala.

Sismo mínimo: 20% de probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d=0,66$

Periodos de esquina del espectro

Los periodos de esquina del espectro se calculan por las expresiones (7) y (8):

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 5 \cdot T_a \quad (8)$$

La figura 7 muestra los espectros de diseño horizontal y vertical obtenidos.

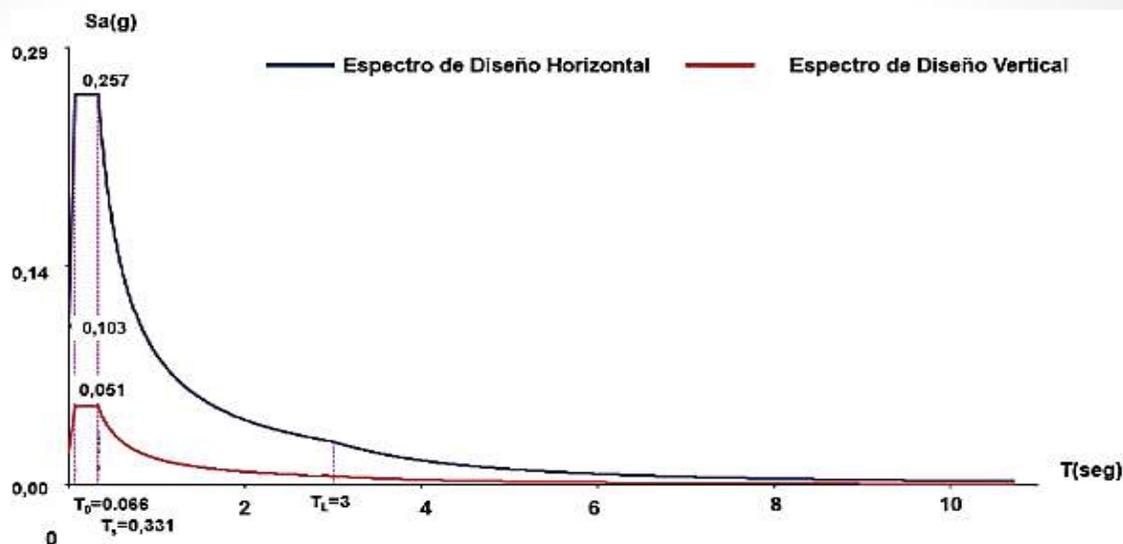


FIGURA 7: ESPECTRO DE DISEÑO VERTICAL Y HORIZONTAL.

Combinaciones de carga

Se emplearon las combinaciones de carga establecidas en la NC 450: 2006 [11] y la NC 46:2017 [1] para analizar el Estado Límite de Servicio.

$$G + Q + Q_c$$

$$G + Q + S_v \pm S_h$$

$$G - S_v \pm S_h$$

Donde:

G: Carga permanente (entrepiso y cubierta).

Q: Carga de uso de entrepiso y balcones.

Q_c: Carga de uso de cubierta.

S_v: Componente vertical de la carga de sismo.

S_h: Componente horizontal de la carga de sismo.

En el caso de la componente vertical (S_v), según la NC 46:2017 [1], se calcula por la expresión (9):

$$S_v = 0,20 \cdot S_{DS} \cdot G = 0,05 \cdot G \quad (9)$$

Para los tres bloques S_{DS} = 0,257

Periodo propio de la estructura

El periodo de vibración de las edificaciones se ve determinado por las características propias de dichas estructuras como son la masa y la rigidez. Estudios [19] han demostrado que existe una relación directa entre la masa y el periodo de oscilación e inversamente proporcional entre la rigidez y el periodo.

La tabla 5 muestra los valores de los periodos y la masa obtenidos para los tres bloques en los que se encuentra dividido la obra objeto de estudio. Para esto se tuvo en cuenta la combinación G+0.25Q, donde G es la carga permanente y Q la carga de uso.

TABLA 5: PERIODO DE OSCILACIÓN Y MASA DE LOS BLOQUES DE LA EDIFICACIÓN ANALIZADA PARA LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL CON Y SIN VIGAS.

Tipología estructural de entrepiso con vigas						
	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
Periodo de oscilación (s)	0,979	0,756	0,505	0,353	0,819	0,618
Masa (kN)	151916		113333		123930	
Tipología estructural de entrepiso sin vigas						
Periodo de oscilación (s)	1,293	0,881	0,893	0,510	0,952	0,811
Masa (kN)	128247		93798		105363	

Se aprecia que en la variante sin la presencia de vigas se reportan periodos de oscilación mayores que la tipología con vigas. La presencia de vigas aumenta la masa de la edificación pero las mismas aportan rigidez al entrepiso por presentar uniones continuas con las columnas. Cuando el aporte de rigidez a la edificación, ya sea por aumento de sección transversal de las secciones o por la presencia de nuevos elementos estructurales como es este caso, es mayor que el aporte en masa, el periodo de oscilación se reduce [12].

Para ambos casos se observa la no existencia de correlaciones modales que pueden ocasionar la amplificación de las ondas sísmicas, fenómeno que se conoce como resonancia la cual pudiera llevar al colapso o a provocar daños estructurales severos. Las correlaciones modales suceden cuando se observa acoplamiento entre formas propias de oscilación en direcciones ortogonales.

Según la NC 46:2017 [1], el periodo aproximado de la edificación de acuerdo a la tipología estructural E2 y E3, para las que clasifican las variantes analizadas de entrepisos sin vigas y con estas respectivamente, se determina por la expresión (10):

$$T_a = C_T \cdot (h_n)^x \quad (10)$$

De la NC 46:2017 [1] se define que $C_T = 0,047$, $x = 0,85$ para tipología E2 y $C_T = 0,049$ y $x = 0,75$ para tipología E3. La altura $h_n = 29,28$ m. Sustituyendo se obtiene que $T_{a(E2)} = 0,829$ s y $T_{a(E3)} = 0,619$ s.

Los periodos obtenidos como resultado de la modelación deben cumplir la condición $T \leq 1,4 T_a$, siendo $1,4 T_{a(E2)} = 1,161$ s y $1,4 T_{a(E3)} = 0,867$ s.

Se demuestra que en el bloque 1, para las dos variantes analizadas, el periodo de oscilación supera a T_a en un 58,1% y 56,0% con y sin vigas respectivamente. Lo anterior indica la necesidad de incrementar la rigidez del mismo, puesto que lo exigido por la norma es que como máximo el período de la edificación puede superar en un 40% al valor de T_a calculado por la ecuación 9. Soluciones para ello pueden ser la incorporación de nuevos tímpanos o el incremento del espesor de los existentes.

No obstante el resultado alcanzado, a solicitud de la entidad proyectista, se procede a realizar el análisis de los 3 bloques para determinar la respuesta estructural de los mismos con las condiciones de estructuración que fueron concebidos.

Cortante Basal (VB)

El cortante basal se calcula mediante la expresión (11):

$$V_B = C_s \cdot W_s \quad (11)$$

Siendo C_s es el coeficiente sísmico de diseño y W_s el peso sísmico efectivo.

El término C_s se determina por la expresión (12):

$$C_s = \frac{s_a(T)}{R} \quad (12)$$

Donde $S_a(T)$ es la demanda sísmica de diseño y R es el factor de reducción de respuesta sísmica.

La tabla 6 resume los valores de los coeficientes anteriores y el cortante basal correspondiente a cada bloque de la edificación para las dos tipologías objeto de estudio.

TABLA 6: RESUMEN DE LOS VALORES DE COEFICIENTES Y CORTANTE BASAL DE LOS BLOQUES ANALIZADOS.

Tipología estructural de entepiso con vigas									
	Tx (s)	Ty (s)	Sa (Tx)	Sa (Ty)	R	Csx	Csy	VBx (kN)	VBy (kN)
Bloque 1	0,979	0,756	0,08	0,11	5	0,01	0,02	2532	3342
Bloque 2	0,505	0,353	0,16	0,24	5	0,03	0,04	3790	5422
Bloque 3	0,819	0,618	0,10	0,13	5	0,02	0,02	2552	3399
Tipología estructural de entepiso sin vigas									
Bloque 1	1,293	0,881	0,06	0,09	5	0,01	0,01	1638	2468
Bloque 2	0,893	0,510	0,09	0,16	5	0,01	0,03	1907	3193
Bloque 3	0,952	0,811	0,08	0,10	5	0,02	0,02	1860	2220
Tipología estructural de entepiso con vigas									
	Tx (s)	Ty (s)	Sa (Tx)	Sa (Ty)	R	Csx	Csy	VBx (kN)	VBy (kN)
Bloque 1	0,979	0,756	0,08	0,11	5	0,01	0,02	2532	3342
Bloque 2	0,505	0,353	0,16	0,24	5	0,03	0,04	3790	5422
Bloque 3	0,819	0,618	0,10	0,13	5	0,02	0,02	2552	3399
Tipología estructural de entepiso sin vigas									
Bloque 1	1,293	0,881	0,06	0,09	5	0,01	0,01	1638	2468
Bloque 2	0,893	0,510	0,09	0,16	5	0,01	0,03	1907	3193
Bloque 3	0,952	0,811	0,08	0,10	5	0,02	0,02	1860	2220

Los valores de cortante basal son menores en la tipología de entepisos sin vigas debido a que presenta menor masa, justamente por la no existencia de vigas, y mayores periodos de oscilación que la variante con la presencia de las vigas. El incremento del valor del periodo de oscilación implicó una reducción de los valores de la demanda sísmica de diseño $S_a(T)$ dado el valor de los periodos de esquina del espectro y por tanto del coeficiente sísmico de diseño (C_s), para un mismo factor de reducción de respuesta sísmica (R).

Distribución vertical de las fuerzas sísmicas

Para realizar la distribución de las fuerzas sísmicas se utilizan las expresiones (13) y (14):

$$F_x = C_{VX} \cdot V_B \quad (13)$$

$$C_{VX} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot h_i^k)} \quad (14)$$

Donde: F_x es la fuerza horizontal que actúa en el nivel "x" de la edificación, W_x y W_i son el peso sísmico efectivo del nivel "i", h_x y h_i son la altura del nivel "x" sobre la base y n es la cantidad de niveles de la edificación. El mismo

procedimiento se realiza para el eje "y". Los valores de F_x y F_y , obtenidos fueron introducidos al programa para tener en cuenta las solicitaciones que generan las cargas sísmicas.

A los efectos del análisis se considera, atendiendo a la recomendación de la NC 46: 2017 [1], el 100 % en una dirección concurrente con 30 % en la dirección ortogonal y la combinación complementaria.

3. RESULTADOS

Derivas

La Figuras 8 y 9 muestran los valores de deriva por pisos en ambas direcciones de análisis en los tres bloques para la combinación $G+Q+0,3Shx+Shy+Sv$ para las tipologías estructurales con y sin vigas respectivamente.

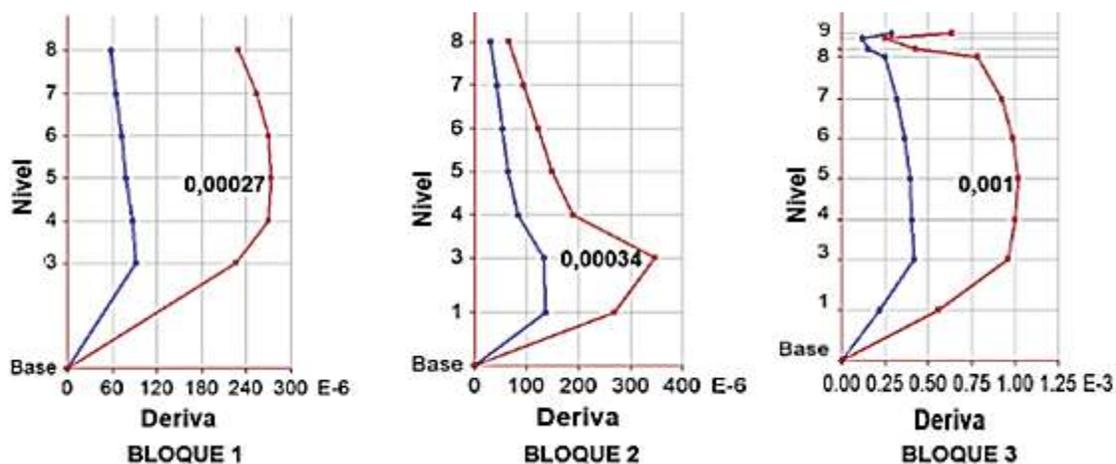


FIGURA 8: DERIVAS PARA LOS TRES BLOQUES, TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL CON VIGAS (COMBINACIÓN $G+Q+0,3SHX+SHY+SV$).

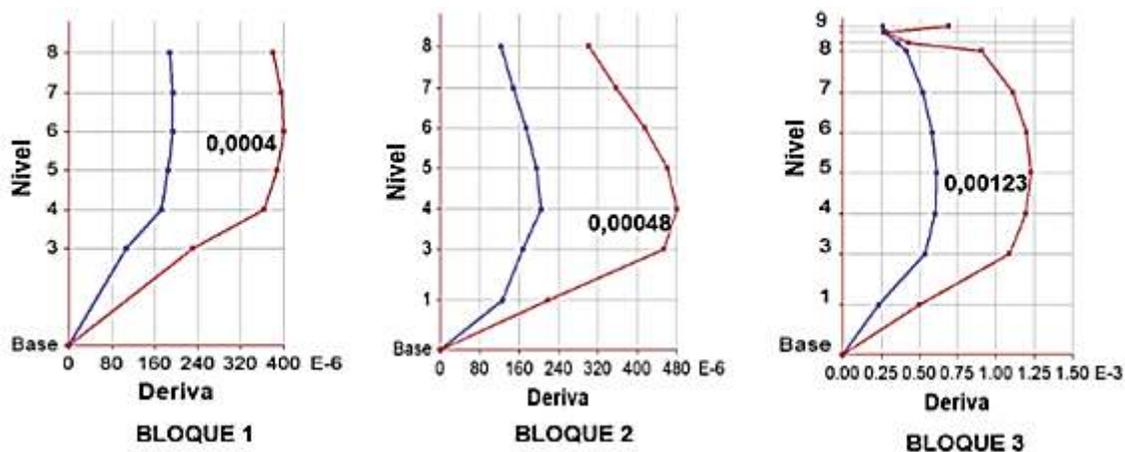


FIGURA 9: DERIVAS PARA LOS TRES BLOQUES, TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL SIN VIGAS (COMBINACIÓN $G+Q+0,3SHX+SHY+SV$).

La tabla 7 resume los valores de derivas máximas obtenidas en cada bloque para las dos tipologías analizadas. En ningún caso se supera el límite definido según la NC 46:2017 [1].

TABLA 7: DERIVAS OBTENIDAS Y PERMISIBLES.

Tipología estructural de entrepiso con vigas				Deriva permisible
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	
Deriva	0,00027	0,00034	0,001	0,02
Tipología estructural de entrepiso sin vigas				
Deriva	0,00046	0,00048	0,001	

Independientemente que los valores de derivas reportados sean muy bajos respecto al límite establecido por la norma, se puede apreciar el incremento de los mismos cuando no hay presencia de vigas. Esto se debe a la reducción de la rigidez por piso al no existir vigas.

Desplazamientos en el tope de la edificación

La Tabla 8 muestra los valores de desplazamientos obtenidos así como el permisible que establece la NC 46:2017 [1], que para una altura total de 29,28 metros de altura: $H/600 = 4,88$ cm.

TABLA 8: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS EN EL TOPE DE LA EDIFICACIÓN (COMBINACIÓN $G+Q+0,3SHx+SHy+Sv$).

Tipología estructural de entrepiso con vigas						Desplazamiento permisible (cm)	
	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3		
	x	y	x	y	x	y	
Desplazamiento (cm)	0,65	0,38	0,48	0,21	1,90	0,77	4,88
Tipología estructural de entrepiso sin vigas							
Desplazamiento (cm)	1,07	0,55	1,03	0,43	2,35	1,20	

Como se muestra en la tabla 8, en ningún caso se supera el valor máximo permisible. Al igual que en las derivas, los desplazamientos en el tope de la edificación aumentan para la tipología sin vigas. La presencia de vigas con uniones continuas a las columnas aumenta la rigidez de la edificación porque las vigas contribuyen a enfrentar las cargas horizontales.

4. CONCLUSIONES

La caracterización sísmica de la edificación objeto de estudio permitió establecer que la concepción estructural del hotel del ocio presenta irregularidades en elevación según los requisitos de la NC 46:2017 [1]. Los periodos de oscilación que experimenta el bloque 1 de la edificación supera los valores de T_a establecidos por la NC 46:2017 [1] en un 58,1% y 56,0% para variantes con y sin presencia de vigas respectivamente y para las variantes de tipologías estructurales analizadas, los valores de derivas y máxima deformación en el tope de la edificación cumplen con los valores admisibles.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las dos variantes de tipologías propuestas pueden ser empleadas en la edificación del bloque de ocio del hotel Habana SunCuba ya que su concepción estructural

permite el cumplimiento del Estado Límite de Servicio, a pesar de presentar uno de los bloques que la conforman, el periodo de oscilación superior al límite establecido por la NC46:2017 [1].

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NC-46:2017, "Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción," La Habana, Cuba, 2017.
- [2] E. Ravikumar, M. Tech, and V. College, "Seismic Analysis of Tall Building for Different Earthquake Zones," *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*, vol. 5, no. 4, pp. 134–138, 2017.
- [3] M. B. Venkatezh and R. D. Deshpande, "Analysis of R. C. building frame with raft foundation considering soil structure interaction," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 5, pp. 752–760, 2017.
- [4] Z. T. Değer and J. W. Wallace, "Seismic performance of reinforced concrete dual-system buildings designed using two different design methods Seismic performance of reinforced concrete dual-system buildings designed using two different design methods," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, no. July, 2015. DOI: 10.1002/tal.1227.
- [5] M. A. Eirgash, "A Comparative Study of Seismic Performance of the Building Designed using Four Major Codes," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 8, no. 8, pp. 414–420, 2019.
- [6] I. S. Abbood, S. E. Diwan, M. Mahmood, A. N. Hanoon, M. S. Jaafar, M. H. Mussa, and S. Township, "Seismic Response Analysis of Linked Twin Tall Buildings With Structural Coupling," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 9, no. 11, pp. 208–219, 2018.
- [7] S. Malla, S. Karanjit, P. Dangol, and D. Gautam, "Seismic Performance of High-Rise Condominium Building during the 2015 Gorkha Earthquake Sequence," *Buildings*, vol. 9, no. 36, p. 11, 2019.
- [8] EPROB., "Hotel de Habana SunCuba", Reporte MC-01-MC-07, Tongji Architectural Design (Group) Co, LTD, Empresa de Proyectos EPROB. Cuba, 2017.
- [9] NC-283:2003, "Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño," La Habana, Cuba, 2003.
- [10] NC-284:2003, *Edificaciones. Carga de uso*. La Habana, Cuba: , 2003, p. 12.
- [11] NC-450:2006, "Edificaciones. Factores de carga o ponderación. Combinaciones.," La Habana, Cuba, 2006.
- [12] S. Bhuskade and S. Sagane, "Effects of Various Parameters of Building on Natural Time Period," *International Journal o Engineering Research & Technology*, vol. 6, no. 04, pp. 557–561, 2017.