



Revista de Arquitectura e Ingeniería
ISSN: 1990-8830
Olga-Toledo@empai.co.cu
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería
de Matanzas
Cuba

Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método de análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hormigón armado.

Salas Navarro, Ing. Annarelys; Hernández Hernández., MSc. Ing. Alejandro

Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método de análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hormigón armado.

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 15, núm. 1, 2021

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193966527003>

Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método de análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hormigón armado.

Comparative analysis between the equivalent static method and the modal analysis method in regular structures of load-bearing reinforced concrete walls

Ing. Annarelys Salas Navarro annarelys.salas@umcc.cu
Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba
MSc. Ing. Alejandro Hernández Hernández.
alejandro.hdezhdz@gmail.com
Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Cuba

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 15, núm. 1, 2021

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Recepción: 25 Octubre 2020
Aprobación: 10 Febrero 2021

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193966527003>

Resumen: El diseño y análisis de estructuras sismorresistentes requiere adoptar un método de análisis adecuado y basado en criterios irrefutables, según las características que posea esta y de la vulnerabilidad del sitio donde se ubique, debido a que los sismos son fenómenos naturales impredecibles que pueden afectar la vida. En este trabajo se realiza una comparación entre los métodos de análisis planteados por la NC 46: 2017, el Método Estático Equivalente y el Método de Análisis Dinámico, para determinar la veracidad de la existencia de similitud entre ambos resultados para estructuras regulares. Para cumplir el objetivo planteado se modela, mediante el software SAP 2000, una estructura de sistema de muros portantes a la cual se le introducen cargas estáticas y cargas dinámicas, para así analizar su comportamiento y establecer una comparación entre los resultados arrojados; obteniéndose valores no coincidentes para ambos métodos, demostrando que el método estático produce mayores solicitaciones por lo general, siendo más eficaz analizar por el método dinámico.

Palabras clave: Sismo, estructuras regulares, muros portantes, modelación estructural, método estático, análisis dinámico.

Abstract: The design and analysis of seismic resistant structures requires adopting a more propitious method of analysis based on irrefutable criteria, according to the characteristics of the structure and the vulnerability of the site where it is located, because earthquakes are unpredictable natural phenomena that can affect the human life. This work is based on a comparison between the methods of analysis proposed by NC 46: 2017, the Equivalent Static Method and the Dynamic Analysis Method, to determine the veracity of the existence of similarity between both results for regular structures. In order to achieve this objective, a system of load-bearing walls is modeled using SAP 2000 software, to which static loads and dynamic loads are introduced, in order to analyze their behavior and establish a comparison between the results. No coincident results for both methods were obtained, demonstrating that the static method produces greater stresses in general, being more efficient to analyze by the dynamic method.

Keywords: Earthquake, regular structures, supporting walls, structural modeling, static method.

Introducción

Los sismos son aquellos fenómenos naturales que pueden producir desastres cuando ocurren en zonas vulnerables, por lo que tienen una connotación especial debido a que pueden provocar mayores impactos para la vida del hombre, sus bienes y el medio ambiente. Su aparición inminente y rápida, el ruido que los acompaña, sus violentas sacudidas, sus efectos secundarios, tales como grietas y hundimientos del terreno, cambios en el régimen de las aguas subterráneas; constituyen para la sociedad un factor de temor y de impotencia, principalmente, con el incremento poblacional y constructivo que ha provocado que sus efectos aumenten. El conocimiento acerca de estas amenazas es un factor clave para enfrentarlas, adoptando las medidas pertinentes y, así, contribuyendo a reducir sus efectos negativos mediante construcciones estables. Su amplitud y frecuencia dependen del tiempo, por lo que son de mayor importancia los de origen tectónico, pues traen consecuencias más desastrosas en las estructuras que afectan. Debido a esto son los que se tienen en cuenta en la elaboración de normas de estructuras sismorresistentes.

En la Norma Cubana NC 46 (2017) [1] “Construcciones Sismorresistentes- Requisitos básicos para el diseño y construcción”, quedan recogidos los parámetros a tener en cuenta a la hora de realizar un proyecto en determinadas zonas del país, según el nivel de probabilidades de afectación ante peligros sísmicos. El Capítulo 6 de dicha norma, “Cálculo de acciones sísmicas”, establece las diferentes configuraciones geométricas en elevación y en planta de las edificaciones, de acuerdo con las definiciones planteadas y el Método de Cálculo a emplear, en cada caso, para determinar la respuesta de la estructura con el desarrollo de un modelo analítico que sea el más adecuado y representativo de la estructura.

Para edificios con muros portantes clasificados como regulares, la norma establece que el cálculo para su proyección puede ser realizado a través de dos métodos, de forma estática (Método Estático Equivalente) y de forma dinámica (Método de Análisis Modal), teniendo en cuenta la frecuencia y modos propios de vibración; para ambos los resultados obtenidos deben ser equivalentes, la demostración de este planteamiento no queda recogida en esta, como tampoco existe una delimitación que establezca la probabilidad para los cuáles los resultados no son confiables; por lo que es necesario evaluar la existencia real de la semejanza entre el comportamiento de las estructuras para ambos métodos, puesto que se podría estar realizando un trabajo deficiente el regirse por este criterio. Esta investigación tiene como objetivo realizar una comparación entre el análisis estático y dinámico para estructuras regulares con muros portantes.

Desarrollo

Análisis Estático Equivalente

Según la NC 46 (2017), en su Capítulo 3: “Términos y definiciones”, el análisis estático es el método para estimar el efecto del sismo sobre una estructura, basándose en representar la acción sísmica con fuerzas horizontales que actúan en los centros de masa de los sistemas de piso. [1]

El Método de la Carga Sísmica Estática Equivalente permite que las solicitaciones sísmicas sean modeladas como fuerzas estáticas aplicadas externamente a lo alto y ancho de la edificación. Es el más antiguo y el primero que se comenzó a utilizar, consistiendo en suponer a la estructura como un cuerpo rígido indeformable que se desplaza siguiendo el movimiento horizontal del terreno. La aceleración de la construcción es igual a la del terreno por lo que se origina una fuerza de inercia igual a la masa por la aceleración. [2] [3]

Las cargas estáticas son aquellas que consumen un tiempo considerable en aplicarse. Las cargas estáticas varían su magnitud de cero a los valores definitivos tan lentamente, que las aceleraciones que en estas condiciones reciben los elementos de las estructuras son muy bajas. Se considera a la carga viva (larga duración) de la estructura como carga estática, ya que, varía gradualmente en la magnitud y posición [4]. Para que los cálculos de solicitaciones resulten sencillos se utilizan “cargas estáticas equivalentes”, que no son sino cargas ficticias que actuando estáticamente producen el mismo efecto que las cargas verdaderas actuando en forma dinámica. Las cargas estáticas equivalentes se obtienen multiplicando las cargas verdaderas por un “coeficiente de impacto o dinámico”. [3]. Este coeficiente depende de numerosas variables y en la mayoría de los casos se determina en forma experimental. El Método de la Carga Sísmica Estática Equivalente también es empleado para comparar sus resultados con los obtenidos por los demás métodos para cuantificar dichas solicitaciones, a modo de calibración. [5]

Análisis Modal

Según la NC 46 (2017), en su Capítulo 3: “Términos y definiciones”, el análisis modal es el análisis de sistemas elásticos lineales que se efectúa desacoplando las ecuaciones dinámicas de la estructura, en base a las propiedades de ortogonalidad de los modos de oscilación. La respuesta final se expresa como combinación de los valores correspondientes a cada modo. El análisis dinámico es entendido como el análisis basado en un espectro de diseño tomando en cuenta el período de la estructura y obteniendo la respuesta mediante la combinación de las respuestas de las formas modales. [1]

Cuando una carga se aplica en un período relativamente corto recibe el nombre de “carga dinámica”. Estas originan modificaciones tanto en la magnitud de las tensiones como en las deformaciones a que dan lugar, afectando también la forma y límite de rotura de los materiales. Entonces una acción tiene carácter dinámico cuando su variación con el tiempo es rápida y da origen a fuerzas de inercia comparables en magnitud con las fuerzas estáticas. [6]. Si la carga dinámica se repite en forma periódica, y su frecuencia coincide con el período de vibración del elemento, éste puede entrar en resonancia. Cuando esto ocurre se originan deformaciones tan grandes que conducen al colapso de la estructura. [7]

Los autores Lourenço y Avendaño [8] [9] concuerdan que mediante este análisis se determinan los modos naturales de vibración de las estructuras modeladas en 3 dimensiones y los respectivos períodos de vibración. Se emplea para el mismo una herramienta de análisis capaz de modelar en 3 dimensiones. Primeramente, se podrá distribuir la masa de análisis (peso sísmico efectivo) entre nodos con grados de libertad horizontales que coincidan con zonas de concentración de masa siempre y cuando la masa intermedia sea correctamente reasignada a las zonas de concentración.

Los períodos de vibración (valores T_m) y las formas geométricas de vibración (vectores $\phi_{i,m}$), son los valores y vectores característicos de la estructura que resultan del análisis modal y son propios de la misma, dependen únicamente de su configuración, rigidez y masa, por lo que se emplearán procedimientos de análisis dinámicos bien establecidos en ingeniería estructural. Para la realización de análisis modal se debe incluir un número suficiente de modos de vibración denominado N y que se establece a prueba y error, este debe asegurar que al menos el 90% de la masa del modelo analítico esté participando en cada una de las direcciones de análisis bajo consideración. Todas las acciones y fuerzas internas en los elementos de la estructura (momentos flectores, cortantes, torsiones y cargas axiales), las reacciones externas y las deformaciones serán calculadas independientemente para los N modos de vibración considerados.[10] [11]

Modelación Estructural

La estructura modelada es un edificio de 10 plantas que presenta un sistema estructural de muros portantes, la cual no es una edificación real, pero se toma como referencia. La misma no posee ninguna irregularidad en planta o en elevación, según la NC 46 (2017) [1] Dicha edificación no sobrepasa los 50 m de altura y se supone ubicada en zona sísmica 5.

Geometría

El modelo físico presenta en su geometría 5 luces de 5 m en el eje largo y 3 luces de 4 m en el eje corto. Partiendo de las características de sistemas de muros construidos en Cuba los muros poseen un espesor de 0,20 m y las losas, tanto de entrepiso como superior, de 0,12 m. presenta una altura total de 29 m, siendo el puntal entre niveles de 2,90 m. Posee una escalera que abarca todos los niveles. La estructura además presenta un cajón de elevador a lo alto de todo el edificio ubicado en el centro de este.

Condiciones de apoyo

La unión entre los muros se considera totalmente rígida, así como la unión entre las losas, además de la unión losa muro que se considera totalmente empotrada. Los muros de la planta baja se encuentran apoyados sobre una viga de cimentación de 0,20 x 0,30 m de sección transversal.

Materiales

En este caso se utiliza un modelo lineal elástico para describir el comportamiento del hormigón, con las siguientes propiedades: peso por unidad de volumen 23,563 kN/m³, módulo de elasticidad 24 855 578

kN/m², coeficiente de Poisson 0,2, resistencia a compresión 27 579,032 kN/m²

Tipos de elementos

Objetos de área: Son usados para modelar muros, pisos y otros miembros delgados de muros, mientras que para los sólidos en dos dimensiones se emplean otros como: plane stress, plane strain, and axisymmetric solids. En este caso se usa para el modelo elementos tipo Shell, con cuatro nodos.

Mallado y ajuste del modelo

Luego de introducir el modelo geométrico y definir el material se pasa a realizar la discretización del modelo. Se refinó la malla hasta que se mantuvo estable, seis veces en total, el número total de elementos con que cuenta el modelo es de 133 980. Para ello se fueron evaluando las tensiones y deformaciones en seis puntos (esquina, borde y centro) de las losas que corresponden a cubierta y entrepisos y de los muros tanto laterales como frontales.

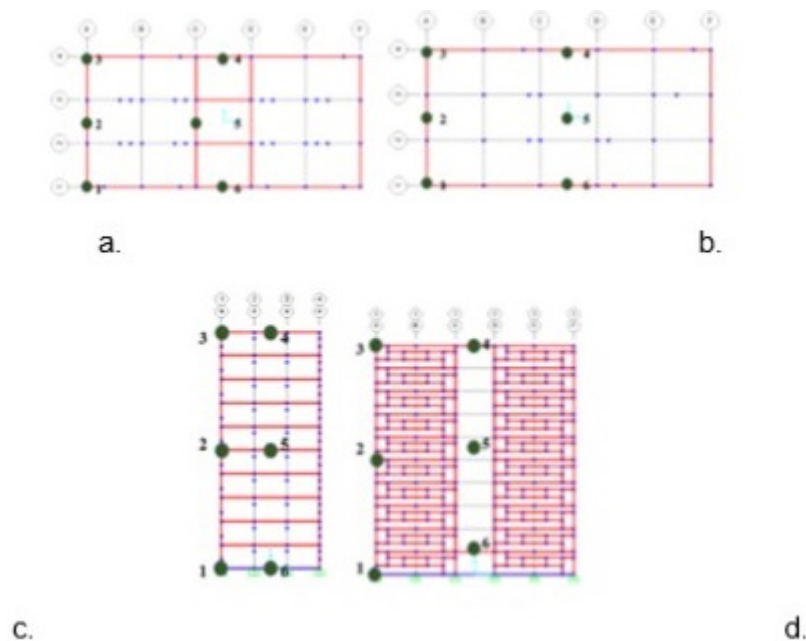


Fig.1

Puntos de comprobación de tensiones y deformaciones. (a. losa de entrepiso. b. losa de cubierta. c. muro lateral. d. muro frontal.)

Elaboración del autor

Cargas

Se definen en el programa las Cargas de Uso (Q), las Cargas Permanentes (G) y Cargas de Sismo (E) (determinadas por el Método Estático Equivalente y por el Análisis Modal). Se introduce la combinación de carga 1,2 (G) + (E) + 0,5 (Q) + 0,2 (Qc) para la factorización de carga. [12] Donde:

Cargas de Uso y Permanentes

Para la determinación de las cargas de uso, se tiene en cuenta que la cubierta presenta desagüe por tragante no accesible al público y la edificación según su uso es un edificio de habitaciones de hotel. En cuanto

a las cargas permanentes, la cubierta está compuesta por losas de hormigón armado con impermeabilización de 3 capas de papel asfáltico, mientras que los entresijos se componen de losas de hormigón armado, 5 cm de relleno de mejoramiento, 2 cm de mortero y losas cerámicas de 2 cm de espesor. Los muros están conformados por losas de hormigón armado semejantes a las losas de cubierta y entresijo.

Cargas de Sismo

La carga de sismo es una acción que corresponde al nivel de resistencia a la cedencia del sistema estructural al que se aplica. El viento y el sismo no se consideran cargas concurrentes sino alternas. La determinación de los esfuerzos sísmicos en la estructura estará basada en un modelo matemático ideal adecuado para representar su comportamiento real; el modelo debe tener en cuenta también a todos los elementos no estructurales que pueden influir en la respuesta del sistema resistente principal.

Dicha edificación se supone ubicada en Zona sísmica 5, donde el peligro sísmico es considerado muy alto, que posee las siguientes características según la NC 46 (2017):

- Aceleración espectral para período corto $S_{\delta}=0,875g$
- Aceleración espectral para período largo $S_{\omega}=0,359g$
- Período de transición del período largo $T_{\omega}=7,0s$

La obra es un edificio de habitaciones de hotel clasificada con Categoría Ocupacional II (Ordinaria) y con Sistema de Muros E2 de hormigón armado tipo A, por lo que el factor de reducción $R=4$. Se tiene en cuenta un sismo de clasificación básico u ordinario, por lo que el factor de escala $K_d=0,66$. Dada la zona sísmica y la clasificación de la obra, esta posee un (Nivel de Protección Sísmico) NPS D con una probabilidad de exceder el sismo de diseño de un 10 % en 50 años. El perfil de suelo es tipo B, donde la roca es de cualquier espesor con $760 \text{ m/s} < V_s \leq 1500 \text{ m/s}$, donde el coeficiente de sitio F_a para períodos de vibración cortos es 1 y el coeficiente de sitio F_v para períodos largos es 1. La fuente sísmica es de tipo A, capaz de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad, donde los Factores de Falla Cercana $N_a=1,25$ y $N_v=1,4$ para períodos cortos y largos de vibración, respectivamente, teniendo como distancia más cercana menos de 2 km.

Puntos de comprobación en pórticos de análisis.

Se toman como muestra los pórticos laterales A y C, y frontales 3 y 4, según la denominación del software SAP 2000. Los puntos de comprobación están en la losa de cubierta, losa de entresijo del nivel medio y losa de entresijo del primer nivel.

Resultados del Método Estático Equivalente.

Luego de modelada la estructura se obtienen como períodos fundamentales, de acuerdo al modo de vibración, los siguientes:

- Modo de vibración 1 (sentido del eje largo): $T= 0.05811 \text{ s}$ con frecuencia de $f= 17.20867$
- Modo de vibración 1 (sentido del eje corto): $T= 0.08882 \text{ s}$ con frecuencia de $f= 11.25914 \text{ Hz}$

Cortante basal al límite de cedencia

El peso efectivo de la estructura se determina mediante la combinación de carga igual a $CP+0.25CU$, obteniendo que $WS= 32\ 257.2$ kN. Con la demanda sísmica de diseño correspondiente a cada período de vibración (S_a), obtenida anteriormente, y el factor de reducción $R= 4$ se obtienen los coeficientes sísmicos al límite de cedencia en cada dirección de análisis, siendo estos los siguientes:

$$CSX= 0.14065, CSY= 0.176825$$

Por tanto, el cortante basal al límite de cedencia para cada dirección de análisis en la base de la estructura es de:

$$VBX= 4\ 536.97518\text{ kN}, VBY= 5\ 703.87939\text{ kN}$$

Distribución vertical de las fuerzas sísmicas.

El cortante basal, según la dirección de análisis correspondiente, se distribuye en todo lo alto de la edificación, obteniendo las fuerzas sísmicas en cada dirección (F_{xx} y F_{xy}) como se muestra en la tabla 1.

Nivel	h_x (m)	W (kN)	h_x*W_x (kNm)	C_{vx}	$F_x(x)$ (kN)	$F_x(y)$ (kN)
1	2.9	3206.68	9.299.372	0.01919	87.051.955	109.441.606
2	5.8	3276.28	19.002.424	0.03921	17.788.278	223.634.005
3	8.7	3276.28	28.503.636	0.05881	26.682.417	335.451.007
4	11.6	3276.28	38.004.848	0.07841	35.576.556	447.268.009
5	14.5	3276.28	47506.06	0.09802	44.470.695	559.085.012
6	17.4	3276.28	57.007.272	0.11762	53.364.834	670.902.014
7	20.3	3276.28	66.508.484	0.13723	62.258.973	782.719.016
8	23.2	3276.28	76.009.696	0.15683	71.153.112	894.536.019
9	26.1	3276.28	85.510.908	0.17643	80.047.251	100.635.302
10	29	1976.28	57312.12	0.11825	53.650.204	674.489.681
		$\sum W_i h_i$	484664.82			

Tabla 1

Fuerzas sísmicas de acuerdo a la dirección de análisis.

Fuente: Elaboración del autor

Resultados del Método de Análisis Modal.

Luego de modelada la estructura se obtienen como períodos fundamentales, tomando solo el primer modo de vibración, los siguientes:

- Modo de vibración 1 (sentido del eje largo): $T= 0.05811$ s con frecuencia de $f= 17.20867$ Hz

- Modo de vibración 1 (sentido del eje corto): $T= 0.08882$ s con frecuencia de $f= 11.25914$ Hz

Cortante basal al límite de cedencia

Las amplitudes del desplazamiento de la estructura, obtenidas según el modo de vibración correspondiente, tienen como valores:

Modo de vibración	\varnothing_{im} (m) (x)	\varnothing_{im} (m) (y)
1	0.0813	0.0833

Tabla 2

Amplitudes del desplazamiento de la estructura en cada dirección de análisis.

Elaboración del autor

Por tanto, el cortante basal al límite de cedencia para cada dirección de análisis en la base de la estructura y el modo de vibración, es de:

Modo de vibración	V _{bm} (x) (kN)	V _{bm} (y) (kN)
1	134.706.561	179.778.471

Tabla 3

Cortante basal al límite de cedencia en la base de la estructura.

Elaboración del autor

Distribución vertical de las fuerzas sísmicas.

El cortante basal, según la dirección de análisis correspondiente, se distribuye en todo lo alto de la edificación, obteniendo las fuerzas sísmicas en cada dirección (F_{xx} y F_{xy}) como se muestra:

Modo de vibración 1							
Nivel	Ø _{im} (m)(x)	Ø _{im} (m) (y)	W _i (kN)	W _i *Ø _{im} (kNm) (x)	W _i *Ø _{im} (kNm) (y)	F _{xx} (kN)	F _{xy} (kN)
1	0.0178	0.0148	3206.68	57.078.904	47.458.864	432.228.455	48.438.223
2	0.0299	0.0269	3276.28	97.960.772	88.131.932	741.805.294	899.506.185
3	0.0407	0.038	3276.28	133.344.596	12.449.864	#####	127.067.788
4	0.0502	0.0482	3276.28	164.469.256	157.916.696	#####	161.175.458
5	0.0585	0.0574	3276.28	19.166.238	188.058.472	#####	191.939.238
6	0.0656	0.0666	3276.28	214.923.968	218.200.248	#####	222.703.018
7	0.0732	0.074	3276.28	239.823.696	24.244.472	#####	247.447.798
8	0.0778	0.0793	3276.28	254.894.584	259.809.004	#####	265.170.411
9	0.0806	0.0825	3276.28	264.068.168	2.702.931	#####	275.870.856
10	0.0813	0.0833	1976.28	160.671.564	164.624.124	#####	1.680.213
			W _i *Ø _{im}	177.889.789	17.614.358		

Tabla 4

Fuerzas sísmicas de acuerdo a la dirección de análisis y el modo de vibración.

Elaboración del autor

Comparación entre los resultados de ambos métodos.

Las siguientes tablas recogen la comparación de las tensiones obtenidas (solo para algunos puntos usados como ejemplo), tanto para cargas estáticas como para cargas dinámicas, en ambos sentidos de dirección de estas.

Tensiones en el sentido del eje largo (x)

Tensiones en kN/m ²			Tensiones en kN/m ²		
Pórtico frontal 4	Estático	Dinámico	Pórtico frontal 3	Estático	Dinámico
Cubierta	5402.51	5351.66	Cubierta	18022.40	18068.32
Entrepiso 5	2008.74	1768.84	Entrepiso 5	3294.99	3800.24
Entrepiso 1	1847.84	1253.09	Entrepiso 1	3326.07	3634.23

Tabla 5

Tensiones en kN/m² en los pórticos frontales

Elaboración del autor

Tensiones en kN/m ²			Tensiones en kN/m ²		
Pórtico lateral A	Estático	Dinámico	Pórtico lateral C	Estático	Dinámico
Cubierta	5886.46	5503.36	Cubierta	90612.76	89765.03
Entrepiso 5	5216.63	2952.27	Entrepiso 5	1498.96	2044.89
Entrepiso 1	2416.74	4022.74	Entrepiso 1	3025.04	4962.02

Tabla 6
Tensiones en kN/m² en los pórticos laterales
Elaboración del autor

Las siguientes tablas recogen la comparación de los desplazamientos obtenidos solamente para el pórtico de análisis frontal 4 (usado como ejemplo), tanto para cargas estáticas como para cargas dinámicas, en ambos sentidos de dirección de estas.

Desplazamientos en el sentido del eje largo (x):

Desplazamientos (m) (en x)			Desplazamientos (m) (en y)			Desplazamientos (m) (en z)		
Pórtico frontal 4	Estático	Dinámico	Pórtico frontal 4	Estático	Dinámico	Pórtico frontal 4	Estático	Dinámico
Cubierta	0.0007	0.0002	Cubierta	0.001	0.0002	Cubierta	0.0009	0.0002
Entrepiso 5	0.0003	0.00005	Entrepiso 5	0.0003	0.00005	Entrepiso 5	0.0007	0.0001
Entrepiso 1	0.00005	0.000006	Entrepiso 1	0.00005	0.000006	Entrepiso 1	0.0004	0.000006

Tabla 7
Desplazamientos en metros en el sentido del eje largo (x)
Elaboración del autor

Como se puede apreciar, en las tablas mostradas, los resultados obtenidos, al introducir en el modelo cargas estáticas y dinámicas, son diferentes, lo que demuestra que el planteamiento realizado en la NC 46 (2017) debe ser aplicado cuidadosamente, pues existen diferencias en los resultados de los métodos. El método estático equivalente, tanto en los valores de desplazamientos lineales como angulares y en las tensiones obtiene resultados mayores, casi en su totalidad, con respecto a los que arroja el método de análisis modal. Pero también se puede apreciar que este comportamiento, en algunos casos, no es así, como es en el caso del pórtico lateral C.

Para el caso de las tensiones el método modal es mayor al estático en la cubierta de entrepiso del primer nivel en los pórticos de análisis 3, A y C. en el caso del pórtico frontal 3, se puede decir que es el más crítico debido a que las tensiones siempre son mayores y en el C también se evidencia en la cubierta del nivel medio. Este comportamiento es a causa de la masa de la estructura y de las rigideces de los pisos, ya que al método estático tener en cuenta la altura y el peso, obtiene solicitaciones cada vez mayores en cada nivel, excepto el último, y el método modal tiene en cuenta los desplazamientos por cada nivel individual, por lo que hay casos en que las fuerzas son menores al estático. Por tanto, queda demostrado que el método estático equivalente conlleva a obtener en general mayores solicitaciones, el método modal es más exacto y no presenta limitaciones para su empleo.

Conclusiones

Las construcciones sismorresistentes deben ser analizadas con máximo rigor debido a que los sismos son fenómenos que pueden ser perjudiciales

para ellas, ya sean efectos como pequeñas fisuras hasta el colapso total, por lo que hay que tener en cuenta que tipo de sistema se emplea y en qué zona se encuentra ubicada, para entonces decidir por qué método se determinan las solicitaciones y deformaciones, ya sea el Método Estático Equivalente o el Método de Análisis Modal como establece la NC 46: 2017.

El proceso de discretización de las masas es de suma importancia a la hora del análisis de estructuras ya que, al acercarse más al comportamiento real de la estructura, los resultados son más exactos, pero hay que tener en cuenta que este conlleva a un alto costo computacional. En el caso del modelo realizado se ajusta a seis mallados obteniendo un total de 133 980 elementos con un comportamiento constante en cuanto a desplazamientos y tensiones en los puntos tomados como referencia para el análisis.

Para llevar a cabo tanto en el Método Estático Equivalente como en el de Análisis Modal es necesario determinar el cortante basal al límite de cedencia en la base para luego ser distribuido por los pisos teniendo en cuenta el peso y la masa, respectivamente, de estos, diferenciándose en que el estático toma la altura como referencia mientras que el dinámico se basa en los desplazamientos que surgen en cada nivel en dependencia del sentido de dirección de las cargas, por lo que los valores de cargas obtenidos son diferentes.

Los valores obtenidos en la estructura analizada demuestran las diferencias que existen en el empleo del método estático equivalente y el método de análisis modal en la determinación de las demandas o solicitaciones estructurales, siendo en la mayoría de los casos menores en el análisis modal, método que puede ser empleado sin restricciones y describe el comportamiento de la estructura bajo cargas dinámicas.

Referencias Bibliográficas

- NC 46, 2017. *Construcciones sismorresistentes- Requisitos básicos para el diseño y construcción*. La Habana, Cuba.
- DELALOYE, H. 2009. *Cargas en las Estructuras*. Universidad Nacional de la Plata. Catedra de Estructuras. Taller Vertical III. https://www.academia.edu/7541140/Taller_VERTICAL_III_DELALOYE-_NICO-_CLIVIO
- OSU CSE. 2019. *Static Methods vs. Instance Methods*. <http://web.cse.ohio-state.edu/software/2221/web-sw1/extras/slides/22a.Static-vs-Instance-Methods.pdf>
- WILSON, E. L. 2002. *Three-dimensional static and dynamic analysis of structures. A physical approach with emphasis on earthquake engineering*, Copyright Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA. Third Edition. ISBN 0-923907-00-9
- AWANG, N., SALLEH, A. & YUSOF, D, M. 2015. *Manual malware analysis using Static Methods*. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, Vol 1 (7), 324-328.

- CASSANO, A. M. 2009. Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas. Universidad Tecnológica Nacional. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional –edUTecNe <http://www.edutecne.utn.edu.ar> y edutecne@utn.edu.ar. ISBN 978-987-25360-9-1
- SAATCIOGLU, M. & HUMAR, J. 2003. *Dynamic analysis of buildings for earthquake resistant design. Special Issue on the Proposed Earthquake Design Requirements of the National Building Code of Canada*, Vol 30, 338-359, DOI 10.1139/L02-108
- LOURENÇO, P. B. 2015. *Types of analysis: Linear static, linear dynamic and non linear static*. [online], disponible en la internet en: <http://www.civil.uporto.pt/masonry>, acceso: 20-enero-2019.
- AVENDAÑO M, J. E. 2016. *Análisis sismorresistente de un edificio de cinco niveles ubicado en la Comuna de Tomé*. Trabajo de diploma de Ingeniería Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- MEENA, G. L. & VISWANATH, K. 2008. Dynamic Analysis of Framed Structures. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of bachelor of technology in civil engineering. National Institute of Technology Rourkela.
- DEVECSERY, D., FLINN, J., CHEN, P. M. & NARAYANASAMY, S. 2018. *Optimistic Hybrid Analysis: Accelerating Dynamic Analysis through Predicated Static Analysis. Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, Williamsburg, USA, DOI 10.1145/3173162.3177153.
- NC 450, 2006. *Edificaciones. Factores de carga o ponderación*. La Habana, Cuba.