

Estudio comparativo de análisis y diseño de estructuras aporricadas de hormigón armado, aplicando los espectros de la microzonificación sísmica del cantón Portoviejo y los espectros de la NEC-15

Stalin Alcívar; Yordy Miele; Jean Pierre Ostaiza

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo
william.alcivar@utm.edu.ec; yordy.miele@utm.edu.ec; jostaiza9969@utm.edu.ec

I. RECIBIDO: 26/02/2021

ACEPTADO: 12/06/2021

Resumen— La ciudad de Portoviejo cuenta desde el 2017 con espectros de diseño específicos resultados del estudio de microzonificación sísmica del cantón. Esta investigación se origina por el escaso uso que se da a los espectros de diseño indicados en el estudio de microzonificación por parte de calculistas estructurales, quienes continúan usando los espectros que se indican en la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015 para analizar y diseñar las estructuras, tanto de hormigón armado como de acero estructural. El objetivo de esta investigación es medir las variaciones de desplazamientos laterales y esfuerzos globales en estructuras aporricadas de hormigón armado mediante un análisis sísmico, empleando tanto los espectros de la norma ecuatoriana como los espectros de la microzonificación sísmica de Portoviejo. Se analizaron seis estructuras, tres de ellas regulares en planta y en elevación, las cuales eran de tres, cinco y ocho niveles de altura y otras tres estructuras irregulares de tres y dos niveles. Las estructuras fueron modeladas en Etabs, y se usó el análisis sísmico modal espectral en que se variaba el espectro de diseño. En cuanto a los espectros de la microzonificación se usaron los indicados para las microzonas M4 y M5 mientras que los espectros de la norma considerados corresponden a la zona sísmica VI en suelos tipo D y E consistentes con los tipos de suelo de las microzonas M4 y M5. Adicionalmente se evaluó la variación del área de aceros de refuerzo en elementos principales. De este esta investigación se puede concluir que: i) en las estructuras de dos, tres y cinco niveles, los desplazamientos se amplificaron al emplear los espectros de la microzonificación sísmica, la

microzona 4 entrega el mayor valor. En la estructura de ocho niveles los espectros de la norma dan los mayores desplazamientos. ii) en la estructura de ocho niveles los mayores esfuerzos de corte y momento se presentaron al emplear los espectros de la norma ecuatoriana de la construcción. iii) al diseñar las estructuras los resultados no presentaron una variación significativa, se obtuvo una mínima diferencia en cuanto a los aceros de refuerzos longitudinales. iv) en la ciudad de Portoviejo, las estructuras construidas con frecuencia no superan los tres niveles y al ser diseñadas con los espectros de la norma se estaría subestimando la aceleración sísmica de diseño. Se recomienda el uso de los espectros de la microzonificación, que son resultado de un trabajo específico para las condiciones de la ciudad.

Palabras claves: Microzonificación Sísmica, Espectros de Diseño, Análisis Sísmico, Diseño Sísmico.

Abstract— The Portoviejo city has since 2017 with specific design spectrum results of the study of seismic microzoning in the canton. This research originates from the limited use given to the design spectrum indicated in the microzonation study by structural engineers, who continue to use the spectrum indicated in the 2015 Ecuadorian Construction Standard to analyze and design the structures, both reinforced concrete and structural steel. The objective of this investigation is to measure the variations of lateral displacements and global efforts in structures provided with reinforced concrete to be analyzed seismically using both the spectrum of the ecuadorian norms and the spectrum of the seismic microzoning of Portoviejo. Six

structures were analyzed, three of them regular in plan and elevation, which were three, five and eight levels high and three other irregular structures of three and two levels. The structures were modeled in Etabs, and the spectral modal seismic analysis was used, varying the design spectrum. Regarding the microzonation spectrum, those indicated for microzones M4 and M5 were used, while the spectrum of the standard considered correspond to seismic zone VI in soils type D and E consistent with the soil types of microzones M4 and M5. Additionally, the variation of the area of reinforcement steels in main elements was evaluated. From this research it can be concluded that: i) in the structures of two, three and five levels, the displacements were amplified by using the spectrum of the seismic microzonation, the microzone 4 generated the highest value. In the eight-level structure the spectrum of the norm give the greatest displacements. ii) in the eight-level structure the greatest cutting and momentum efforts were presented when using the spectrum of the Ecuadorian construction standard. iii) when designing the structures, the results did not show a significant variation, a minimum difference was obtained regarding the longitudinal reinforcement steels. iv) in the city of Portoviejo, the structures built frequently do not exceed three levels and being designed with the spectrum of the standard would be underestimating the seismic acceleration of design. The use of microzonation spectra is recommended, which are the result of specific work for city conditions.

Keywords: Seismic microzonation, Design spectrum, Seismic Analysis, Seismic Design.

II. INTRODUCCIÓN

El 90% de los terremotos se ocasionan en el cinturón de fuego del Pacífico, de una longitud de más de 40.000 km. En el caso de nuestro país el peligro sísmico está regido principalmente por dos fuentes sísmicas: subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales) (Martínez & Angulo, 2016)

En cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente del que ocurre en las demás fuentes. Para muestra el trágico evento ocurrido el 16 de abril del 2016, el terremoto de subducción con magnitud

registrada de Mw 7.8 (Singaicho, et al., 2016). La ciudad de Portoviejo localizada a 150 km del epicentro, fue una de las más afectadas dejando dolorosas pérdidas de vidas y un cuantioso perjuicio económico, varias fueron las causas que llevaron al colapso a estos edificios, entre las que destacaron i) construcción de nuevos pisos sobre los ya existentes sin reforzar las estructuras; ii) estructuras bastantes flexibles que tuvieron grandes desplazamientos iii) La tipología estructural que obliga a que las construcciones tengan la planta baja con una altura de 5m y, iv) amplificación de las ondas sísmicas por efecto de sitio (Aguiar & Mieles, 2016).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015, NEC-15, presenta un capítulo basado en el peligro sísmico, para el diseño de las estructuras sismo resistente el cual presenta información de manera general para todo el país, mostrando espectros de diseño y factores de zonas en función de la zona y el tipo de suelo adoptado. Además, la NEC-15 hace referencia a los estudios de microzonificación sísmica indicando que para poblaciones que superen los 100.000 habitantes debe disponer de un estudio de microzonificación sísmica (MIDUVI, 2015).

Algunas de las principales ciudades del Ecuador ya contaban con dicho estudio antes del sismo del 2016, (Aguiar et al., 2013; Vera, 2014) y luego del evento sísmico, el GAD de Portoviejo gestionó la realización de un estudio de microzonificación sísmica el cual se finalizó en el año 2017 (EPN, 2017).

En esta investigación se analiza la influencia, en cuanto a las derivas de piso, esfuerzos globales de corte y momento al emplear los espectros de la NEC-15 para los suelos D, E y los espectros de la microzonificación sísmica de Portoviejo microzona 4, microzona 5, analizando seis estructuras en total. Tres de ellas completamente regulares de tres, cinco, ocho niveles y otras tres irregulares de dos y tres niveles. De acuerdo con el tipo de suelo indicado, se compararán los resultados entre los espectros de la microzona 4 y los resultados del suelo tipo D, los resultados del espectro de la microzona 5 con los resultados del suelo tipo E.

III. MARCO REFERENCIAL

A. Estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Portoviejo

El estudio de microzonificación sísmica de Portoviejo se resume en subcapítulos como lo son “Características de los sedimentos”, “Selección de microzonas”, “Respuesta esperada de sitio”. La elaboración del mapa de microzonificación sísmica recoge los factores de amplificación de las ondas sísmicas al ser modificadas por el suelo (EPN, 2017).

Dicho mapa de microzonificación sísmica es el producto conjunto del desarrollo de las investigaciones geológicas, geotécnicas y geofísicas del subsuelo. Se documenta con el detallado de la información del subsuelo, que conjuntamente con los ensayos del cálculo de la respuesta sísmica en superficie, han permitido la definición de microzonas sísmicas con diferencias características en los espectros de respuesta (Pilay & Solano, 2019).

Los espectros resultantes para las microzonas se utilizarán para contrarrestar a los espectros definidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y se aplicarán con el conjunto de las demás disposiciones de dicha norma. Para la determinación de las microzonas sísmicas se parte de la distribución de las unidades geológicas, sobre todo las sedimentarias en el área de estudio y su caracterización geotécnica y geofísica, la información principal ha sido la variación de los valores de velocidad de propagación de las ondas de corte V_{s30} en los primeros 30 m de profundidad, así como el espesor de los sedimentos hasta el basamento sísmico (EPN, 2017).

Con la información integrada del subsuelo y el análisis de la variación de la respuesta en superficie se elaboraron los perfiles de suelo utilizados en el cálculo de la respuesta sísmica en superficie. Las figuras 1 y 2 muestran la zonificación sísmica en el cantón de Portoviejo, la información es la misma en ambas figuras, sin embargo, en la figura 2 se muestra en mejor detalle las microzonas para la zona urbana del cantón. Se puede notar, en la figura 2, que exceptuando las zonas cercanas al río Portoviejo, la ciudad se encuentra edificada sobre microzonas M4 y M5. La tabla 1 muestra los valores de las velocidades de onda de corte de los suelos en las distintas microzonas. Para la microzona M4 se tiene $180\text{m/s} < V_{s30} \leq 225\text{m/s}$, y para la microzona M5 $V_{s30} \leq 180\text{m/s}$, comparables con los perfiles de suelo

tipo D, $360\text{m/s} > V_{s30} \geq 180\text{m/s}$, y tipo E $V_{s30} < 180\text{m/s}$ que se indican en la NEC-15.

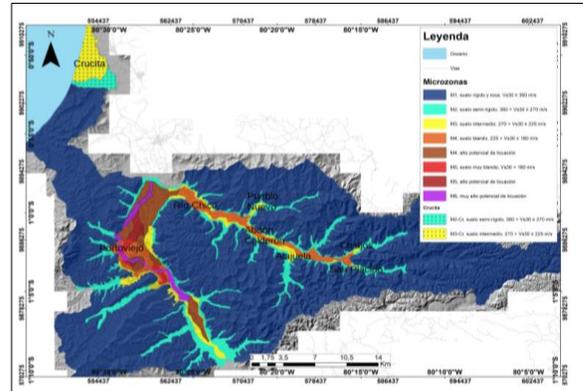


Figura 1: Mapa de microzonas sísmicas del cantón Portoviejo.

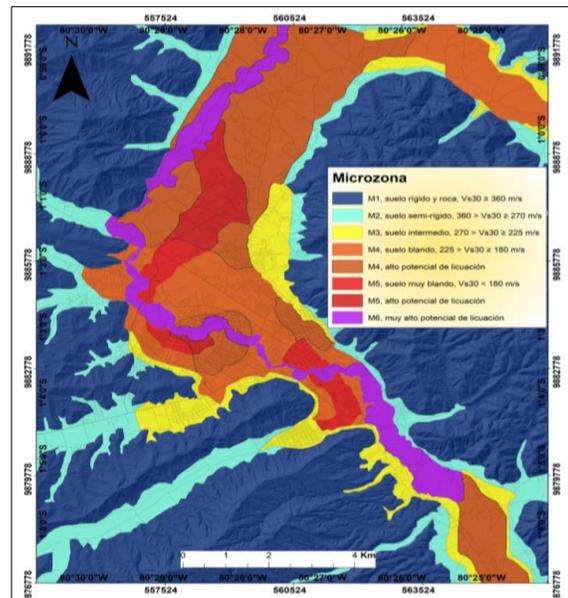


Figura 2: Microzonas sísmicas zona urbana del cantón Portoviejo.

TABLA I
PARÁMETROS VARIABLES DE LOS ESPECTROS DE DISEÑO PARA PMR=475 AÑOS

| Microzona | Descripción del suelo | Velocidad de propagación |
|-----------|-----------------------|--|
| M1 | Suelo rígido-roca | $360\text{m/s} < V_{s30}$ |
| M2 | Suelo semirígido | $270\text{m/s} < V_{s30} \leq 360\text{m/s}$ |
| M3 | Suelo intermedio | $225\text{m/s} < V_{s30} \leq 270\text{m/s}$ |
| M4 | Suelo blando | $180\text{m/s} < V_{s30} \leq 225\text{m/s}$ |
| M5 | Suelo muy blando | $V_{s30} \leq 180\text{m/s}$ |

NOTA: La microzona M6, es una zona crítica ya que se la define como un sector con un elevado potencial de licuación que genera degradación del terreno. Las microzonas M4 y M5 se identifican como zonas con alto y moderado potencial de licuación.

B. Espectros de la microzonificación de la ciudad de Portoviejo

En el marco del proyecto de “Microzonificación sísmica de la ciudad de Portoviejo”, se analizó la presencia de laderas inestables provocadas por el terremoto del 16 de abril del 2016. Para determinar la amenaza de desplazamientos inducido por sismos, se aplicó la metodología de Newmark (1982) en términos de aceleración crítica e intensidad de áreas. El estudio de microzonificación sísmica presenta espectros de diseño para periodos de retornos de 50, 475, y 2475 años como se observa en la figura 3.

Los espectros de diseño básicos de las microzonas en Portoviejo son los indicados para periodos de retornos PMR 475 años. Comparando los espectros entre sí, puede observarse que a partir de roca dura ($V_{s30} > 760m/s$) al bajar la V_{s30} aumenta la meseta hasta suelo rígido (V_{s30} de 560 a 360 m/s), para luego descender paulatinamente, mientras que la extensión de la meseta hacia los periodos largos se incrementa; como consecuencia, para estos periodos las demandas son superiores en las microzonas con suelos de menor rigidez (EPN, 2017). Los espectros indicados en la figura 3 se encuentran en escalas logarítmicas.

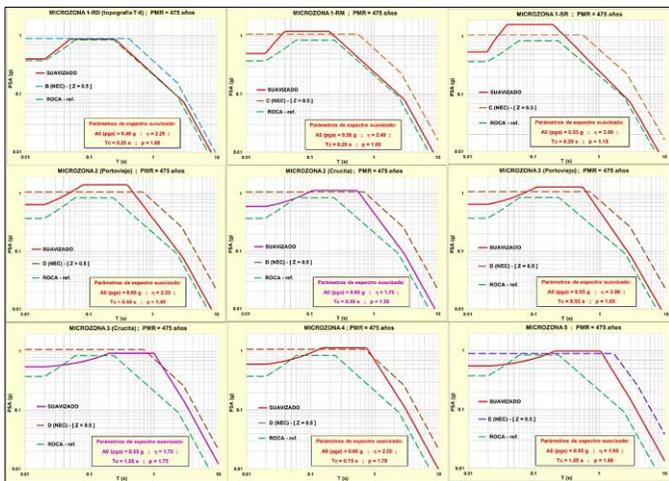


Figura 3: Espectros básicos de microzonas en Portoviejo.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Análisis Estático

La demanda depende de la amenaza sísmica y del sitio de ubicación de la estructura, así como de las características globales de esta. La capacidad de la estructura depende de la rigidez, la resistencia y la

capacidad de deformación de cada uno de sus miembros (Rodríguez, 2013).

En el método de análisis estático se determina la fuerza de corte en la base de acuerdo con el coeficiente de corte sísmico indicado en las normativas y se distribuyen las fuerzas a nivel de piso. Esencialmente el método resuelve la ecuación $f=k/u$, donde f es la fuerza aplicada, k es la rigidez de la estructura y u son los desplazamientos producto de la aplicación de la fuerza. Es necesaria la determinación de la excentricidad estructural la cual requiere del cálculo de las coordenadas del centro de rigidez y del centro de masas en los pisos (Goel, & Chopra, 1993). Existen además varios métodos simplificados que requieren de modelos equivalentes que representan a la estructura. (Zárate et al., 2003).

La norma NEC-15 en la sección 4.5.1 del capítulo de peligro sísmico señala que para el cálculo de estructuras regulares tanto en planta como en elevación se podrán aplicar procedimientos estáticos de determinación de fuerzas laterales. Para todas las estructuras, la aplicación del método estático basado en fuerzas se considerará como requisito mínimo.

B. Análisis Dinámico

El análisis dinámico comprende el análisis de las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una estructura como resultado de los desplazamientos y deformaciones que surgen en la estructura. Gran parte de estos análisis pueden ser simplificados al reducir la estructura a un sistema lineal, como lo que es posible aplicar el principio de superposición para trabajar con casos simplificados de la estructura.

Se menciona en la NEC-15 (MIDUVI, 2015) sobre los métodos de diseños la cual describe que las estructuras pueden ser calculadas mediante procedimientos de obtención de fuerzas laterales estáticos o dinámicos. Dentro de los análisis dinámicos indicados tenemos el análisis tiempo historia y el análisis aproximado modal de respuesta espectral. El procedimiento escogido dependerá de la configuración estructural, tanto en planta como en elevación. Normativamente, y para el diseño de una estructura se pide el análisis modal espectral.

La NEC-15 indica además que se emplearán procedimientos dinámicos para el cálculo de estructuras irregulares tanto en planta como en elevación. Se determinará el espectro de diseño en aceleración $S_a(T)$ a partir del PGA (aceleración

sísmica máxima del terreno). Se aplicará obligatoriamente este método para todo tipo de estructuras irregulares.

C. Descripción de las estructuras regulares a diseñar

Las estructuras consideradas en esta investigación, son, en principio, las propuestas por la guía para el diseño de estructuras de hormigón armado NEC-15 (MIDUVI, 2016). Las tres primeras estructuras son de distintos niveles, de 3, 5 y 8 pisos de altura con una superficie aproximada de 324 m², las estructuras son simétricas constan de tres vanos de 6 m en ambos ejes y la altura típica será de 3,06 m.

Las estructuras en estudio tienen una configuración estructural aporticadas en base a columnas y vigas de hormigón armado, dichos elementos se encargarán de sobrellevar las cargas gravitacionales y sísmicas. El espesor de la losa es de 20 cm, las secciones de las columnas y vigas van aumentando según la demanda que presenten las estructuras, empezando con la estructura de tres niveles que tendrá las siguientes dimensiones columnas de 50x50 cm en todos los pisos, y vigas de 30x55 cm. Las columnas son de 50x50cm y de 60x60cm y las vigas de 30x55cm para la estructura de 5 niveles y para la estructura de 8 niveles las columnas son de 60x60cm y de 70x70cm mientras que las vigas son de 30x55cm. Las estructuras no presentan irregularidades en planta ni en elevación de acuerdo con la NEC-15, Se les efectuara el análisis sísmico dinámico modal espectral, se emplean los espectros de la norma NEC-15 para suelo tipo D, E y además los espectros de diseño de la microzonificación sísmica de Portoviejo microzona 4 y microzona 5. Los modelos computacionales de las tres estructuras fueron realizados en Etabs, y en la Figura 4 se muestra una vista de estos.

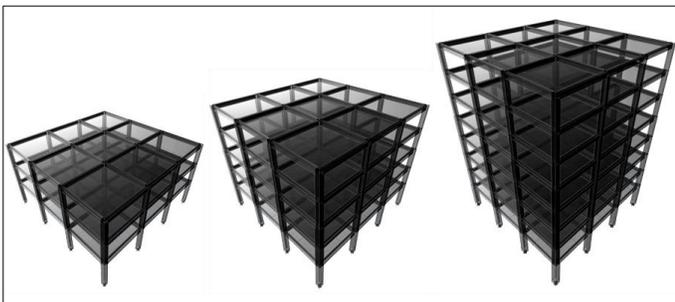


Figura 4: Vista 3D de los modelos regulares.

En las estructuras analizadas se consideran cargas gravitacionales y cargas sísmicas. Para las cargas gravitacionales se consideran el peso propio y la sobrecarga. Para las cargas sísmicas se toman los espectros de diseño establecidos por la NEC-15 y la microzonificación de Portoviejo.

Mediante el metrado de cargas, se obtuvieron los siguientes valores para los pisos del 1 al 7 ($D = 0,3 \text{ tonf/m}^2$) para el piso 8 ($D = 0,15 \text{ tonf/m}^2$) consideradas en el análisis de las estructuras incluyendo el peso propio de los elementos no estructurales. Se considera además la sobrecarga viva como indica la norma NEC-15 para viviendas ($L = 0,2 \text{ tonf/m}^2$).

Para las sollicitaciones sísmicas, en esta investigación se empleará el análisis modal espectral se usarán los espectros de la NEC-15 y los espectros de diseño de la microzonificación sísmica de Portoviejo específicamente para suelo D, E y microzona 4, 5, mencionados espectros se observan en la Figura 5, los cuatro espectros se usarán para cada estructura a fin de obtener respuestas comparables.

Para este estudio se considera que las estructuras se encuentran en zona sísmica VI, con un coeficiente de importancia de $I=1$. Los suelo a emplear son D y E, El factor de reducción de resistencia sísmica $R=8$.

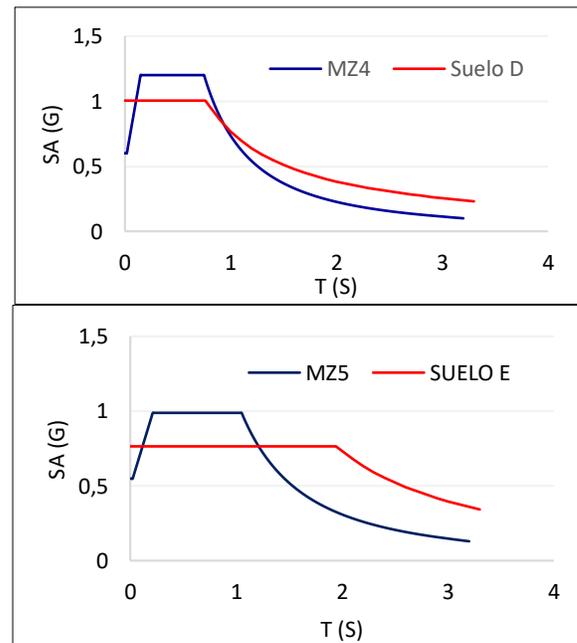


Figura 5: Espectros de diseño elástico

D. Descripción de las estructuras irregulares a diseñar

Se analizan tres estructuras aleatorias de construcciones e la ciudad de Portoviejo en que se observaron irregularidades en su configuración en planta. Para las cargas gravitacionales y sísmicas emplearemos los valores ya indicados en las estructuras regulares, se usarán para cada una de las estructuras.



Figura 6: Vista 3D de los modelos irregulares.

La primera estructura (de izq. a der.) es de tres niveles, presenta un área de 124,81m² y una altura total de 9,25m además presenta un volado de 1,30 m. Las secciones de las columnas son de 35x35 cm, vigas de 30x40 cm, dicha estructura presenta una penalización por regularidad en planta indicada como tipo 2 -Retrocesos excesivos en las esquinas- de esta manera el factor de reducción de resistencia sísmica tendría un valor de R=7,2.

Asimismo, la estructura dos es de tres niveles presenta un área de 202,46m², sus columnas poseen una dimensión de 40x40 cm, vigas de 30x50cm. Esta estructura presenta dos penalizaciones una en planta de tipo 4 -Ejes estructurales no paralelos- y otra en elevación de tipo 3 Irregularidad geométrica, dando así un valor de resistencia R=6,48.

La tercera estructura es de dos niveles con un área de 97,59 m², la cual posee una altura de 7,32 m sus elementos principales vigas columnas muestran dimensiones de 25x35 cm y 30x30 cm, respectivamente. Esta estructura tiene una penalización por irregularidad en planta de tipo 2 -Retrocesos excesivos en las esquinas- notando que el factor de resistencia tendrá un valor de R=7,2.

E. Resultados a comparar

Como se observó en los gráficos de los espectros de diseño de la microzonificación sísmica de Portoviejo y los espectros de diseño de la NEC-15 figura 5, gráficamente se denotan diferencias considerables. Al realizar el análisis sísmico modal

espectral se espera que la variación de desplazamientos y esfuerzos globales sean notables.

En cuanto a las comparaciones que se harán serán las siguientes: Estructuras analizadas con el espectro de la microzona 4 se comparan con las estructuras analizadas empleando los espectros de la NEC-15 para suelo D, así mismo las estructuras analizadas con el espectro de la microzona 5 se comparan con las estructuras analizadas con el espectro de la NEC-15 para suelo E.

V. RESULTADOS

A. Resultados estructuras regulares

Estructura regular de tres niveles: La estructura presenta un periodo fundamental de 0,644s el cual se encuentra en la meseta superior en todos los espectros. Las derivas de piso con el espectro de la microzona 4 resultaron mayores a los obtenidos con el espectro del suelo D. El espectro de la microzona 5 produce mayores desplazamientos que el espectro del suelo tipo E. Los esfuerzos de corte y momento resultaron mayores al usarse los espectros de la microzonificación. En cuanto al acero de refuerzo en los elementos, el análisis en la microzona M4 entrega los mayores valores indicando que se tienen mayores esfuerzos en los elementos. El resumen de resultados se indica en la tabla 2.

TABLA II

Desplazamientos y esfuerzos globales, estructura de tres niveles



| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Periodo (s) | 0,644 | 0,644 | 0,538 |
| UX | 0,0059 | 0,9232 | 0 |
| UY | 0,9232 | 0,0059 | 0 |
| RZ | 0 | 0 | 0,9251 |

| ESTRUCTURA DE TRES NIVELES | | | | |
|----------------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Microzona 4 | Suelo E | Microzona 5 |
| Derivas de Piso Max | 1,14% | 1,36% | 0,86% | 1,12% |
| Cortante Global Max | 111,1 T | 132,3 T | 84,3 T | 109,1 T |
| Momento Global | 860,6 T-m | 1024,6 T-m | 652,9 T-m | 845,3 T-m |

Estructura regular de cinco niveles: La estructura presenta un periodo fundamental de 0,903s, aún en la meseta superior en los espectros de la microzona 5 y el suelo tipo E, pero ya en la curva de periodos altos en los otros dos espectros. Las derivas de piso muestran una tendencia similar a la observada en la estructura de tres niveles, es decir, que los espectros

de la microzonificación entregan los mayores desplazamientos laterales y por tanto las mayores derivas de piso. Los esfuerzos de corte y momento resultaron mayores al usarse los espectros de la microzonificación. Los mayores esfuerzos resultaron al emplearse el espectro de la microzona M5, al ser una estructura de mayor periodo que la anterior, es más afectada por los suelos blandos. El acero de refuerzo resultó al aplicarse los espectros de la microzonificación con una variación menor al 10%. El resumen de estos resultados se indica en la tabla 3.

TABLA III

Desplazamientos y esfuerzos globales, estructura de cinco niveles



| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Periodo (s) | 0,903 | 0,903 | 0,758 |
| UX | 0,8464 | 0,0112 | 0 |
| UY | 0,0112 | 0,8464 | 0 |
| RZ | 0 | 0 | 0,853 |

| ESTRUCTURA DE CINCO NIVELES | | | | |
|-----------------------------|------------|-------------|-----------|-------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Microzona 4 | Suelo E | Microzona 5 |
| Derivas de Piso Max | 1,28% | 1,42% | 1,24% | 1,61% |
| Cortante Global Max | 140,1Tn | 156,8 T | 136,1 Tn | 176,2 T |
| Momento Global | 1627,9Tn-m | 1818,5T-m | 1588,7T-m | 2056,8 T-m |

Estructura regular de ocho niveles: El resumen de estos resultados se indica en la tabla IV. La estructura presenta un periodo fundamental de 1,365s. Las derivas de piso resultaron mayores para los espectros de la norma ecuatoriana, siendo el espectro del suelo tipo E la más crítica en este parámetro. Los esfuerzos de corte y momento resultaron mayores al usarse también los espectros de la norma ecuatoriana. El acero de refuerzo resultó menor hasta en un 10% al usarse los espectros de la microzonificación.

TABLA IV

Desplazamientos y esfuerzos globales, estructura de ocho niveles



| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Periodo (s) | 1,365 | 1,358 | 1,141 |
| UX | 0 | 0,8012 | 0 |
| UY | 0,8044 | 0 | 0 |
| RZ | 0 | 0 | 0,7974 |

| ESTRUCTURA DE OCHO NIVELES | | | | |
|----------------------------|----------|-------------|----------|-------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Microzona 4 | Suelo E | Microzona 5 |
| Derivas de Piso Max | 1,47% | 1,14% | 1,97% | 1,61% |
| Cortante Global Max | 158,5 T | 127,610 T | 208,8 T | 173,0 T |
| Momento Global | 2743 T-m | 2114,6 T-m | 3699 T-m | 3013 T-m |

B. Resultados estructuras irregulares

Estas estructuras presentan periodos fundamentales cercanos a 0,60s, es decir que son de periodos cortos. El comportamiento de estas estructuras al ser analizadas usando los espectros indicados mostraron que se tienen mayores resultados de derivas de piso, esfuerzos de corte y esfuerzos de momento al usarse los espectros de la microzonificación. Al usarse los espectros de la norma ecuatoriana de la construcción se estarían subestimando los esfuerzos de diseño que se tendrían al usar los espectros que son específicos para los suelos de la ciudad.

TABLA V

Desplazamientos y esfuerzos globales, estructura irregular 1



| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 |
|---------------|--------------|-------------|-------------|
| Periodo (s) | 0,586 | 0,51 | 0,41 |
| UX | 0,07 | 0,70 | 0 |
| UY | 0,66 | 0,12 | 0 |
| RZ | 0,12 | 0,03 | 0,85 |

| MODELO 1 | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|-------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Microzona 4 | Suelo E | Microzona 5 |
| Derivas de Piso Max | 0,98% | 1,16% | 0,86% | 0,74% |
| Cortante Global Max | 35,1 T | 41,7 T | 84,3 T | 26,6 T |
| Momento Global | 120,7T-m | 142,9T-m | 652,9T-m | 91,7 T-m |

TABLA V

Desplazamientos y esfuerzos globales, estructura irregular 2



| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Periodo (s) | 0,60 | 0,52 | 0,46 |
| UX | 0,41 | 0,02 | 0,51 |
| UY | 0,03 | 0,90 | 0 |
| RZ | 0,51 | 0 | 0,95 |

| MODELO 2 | | | | |
|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Microzona 4 | Suelo E | Microzona 5 |
| Derivas de Piso Max | 1,35% | 1,79% | 1,02% | 1,47% |
| Cortante Global Max | 49,6 T | 84,5 T | 37,6 T | 69,7 T |
| Momento Global | 198,5 T-m | 236,4 T-m | 150,6 T-m | 195,0 T-m |

TABLA VI

Desplazamientos y esfuerzos globales, estructura irregular 3



| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 |
|---------------|-------------|------------|-------------|
| Periodo (s) | 0,54 | 0,508 | 0,44 |
| UX | 0 | 0,7 | 0,26 |
| UY | 0,96 | 0 | 0 |
| RZ | 0 | 0,27 | 0,96 |

| MODELO 3 | | | | |
|---------------------|----------|-------------|----------|-------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Microzona 4 | Suelo E | Microzona 5 |
| Derivas de Piso Max | 1,19% | 1,42% | 0,90% | 1,16% |
| Cortante Global Max | 15,5 T | 18,4 T | 11,7 T | 15,2 T |
| Momento Global | 32,8 T-m | 39,1 T-m | 24,9 T-m | 32,2 T-m |

VI. CONCLUSIONES

- Del análisis modal realizado, se tiene que la estructura de tres niveles presenta un periodo fundamental de 0.644 s, la de cinco niveles 0,903 s y la de ocho niveles un periodo fundamental de 1.365 s.
- En las estructuras de tres y cinco niveles, se observó que, al usar los espectros de diseño de la microzonificación sísmica, los desplazamientos, esfuerzos de corte, así como los momentos aumentaron con relación a los del espectro de la NEC-15. Esto indica que, en el caso de las estructuras de periodos cortos, al seguir usando los espectros de la norma ecuatoriana de la construcción, se estarían subestimando los esfuerzos de diseño.
- En las estructuras irregulares, al usar el espectro de diseño de la microzona cuatro los esfuerzos de corte y momento se

amplificaron, dichas estructuras presentaron un periodo natural menor a 0.6 s.

- Al diseñar las estructuras de tres niveles, se denotó que, al implementar los espectros de la microzonificación sísmica, se incrementó el refuerzo longitudinal de sus principales elementos estructurales, sin embargo, el porcentaje de diferencia no fue mayor al 10%.
- Las derivas de piso, los esfuerzos de corte y los esfuerzos de momento en la estructura de ocho niveles fueron mayores al usar los espectros de diseño de la NEC-15 suelo D y E respectivamente. Si se usaran los espectros de diseño de la microzonificación se puede reducir el costo de construcción para estructuras de periodos largos.
- Se destaca la relación que presentaron las estructuras de ocho y cinco niveles al ser diseñadas, mostraron cifras similares de refuerzo longitudinal en sus elementos principales mostrando una diferencia no mayor al 5%.

VII. RECOMENDACIONES

- A los calculistas estructurales que empleen los espectros que se brindaron en el estudio de microzonificación sísmica ya que es un estudio específico y que considera las condiciones de suelo de la ciudad, al analizar sísmicamente estructuras.
- A las instituciones que se encargaron del contrato de la ejecución de microzonificación sísmica como lo es el Gobierno Autónomo Descentralizado de Portoviejo a que brinde charlas, talleres o capacitaciones dirigida a los proyectistas estructurales para motivar el uso de los espectros indicados en el estudio. Al gobierno autónomo descentralizado motivar desde el punto de vista legal el uso de los espectros de diseño de la microzonificación.

VIII. REFERENCIAS

- Aguar, R., & Bravo, Y. M. (2016). Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016 Analysis of buildings that collapsed.

- Aguiar, R., Sangurima, K., Frau, C., Quishpe, M., Quishpe, D., Cuaical, S., & Chunga, K. (2013). Microzonificación sísmica del centro norte de Quito. *Segunda Jornada de Investigación científica desde las aulas*, 1-39.
- EPN, E. (2017). Estudio de la microzonificación sísmica del área urbana de Portoviejo y sus cabeceras parroquiales rurales”. In: Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- MIDUVI. (2015). *Peligro Sísmico: Diseño sismo resistente. Norma Ecuatoriana de la Construcción*: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- MIDUVI. (2016). Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.
- Newmark, N. M. (1982). Earthquake spectra and design. *Earthquake Eng. Research Institute, Berkeley, CA*.
- Pilay Pozo, E. L., & Solano Mejillón, V. O. (2019). *Caracterización geotécnica y microzonificación sísmica en el área urbana de la ciudad de Pelileo, provincia de Tungurahua*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2019.,
- Quinde Martínez, P., & Reinoso Angulo, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería sísmica*(94), 1-26.
- Rodríguez, D. (2013). Análisis estático no lineal. In: Construcción.
- Singaicho, J., Laurendeau, A., Viracucha, C., & Ruiz, M. (2016). Observaciones del sismo del 16 de Abril de 2016 de magnitud Mw 7.8. *Intensidades y aceleraciones. Informe Sísmico Especial*, 18.
- Vera Gruanuer, X. (2014). Elaboración del Documento de la Microzonificación Sísmica y Geotécnica de la Ciudad de Guayaquil según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2011. *Ecuador: Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos*.
- Zárate, G., Ayala, A. G., & García, O. (2003). Método sísmico estático para edificios asimétricos: revisión de enfoques. *Revista de Ingeniería Sísmica*(69), 25-44.



Alcívar Moreira Stalin, Ingeniera Civil graduado en la Universidad Técnica de Manabí en 2012, Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica en la P. Universidad Católica de Chile, 2014. Diplomado en Tecnología para la Construcción Sismo-resistente en el Building Research Institute de Japón, 2017. Diplomado en Evaluación de Escenarios para la Reducción de Riesgo de Desastres de Origen Natural por la P. Universidad Católica de Chile, 2019. Profesor Auxiliar tiempo completo del departamento de Construcciones Civiles de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí. Asignaturas impartidas como docente: Ingeniería Sísmica, Hormigón Armado III, Hormigón Armado I, Estructuras Metálicas y Hormigón Pretensado. Especializado en análisis y diseño de estructuras sismo resistentes.



Mielles Bravo Yordy, Ingeniero Civil graduado en la Universidad Técnica de Manabí en 2001. Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Estructuras, por la Universidad Técnica de Manabí en 2008. Diplomado en Tecnología para la Construcción Sismo-resistente en el Building Research Institute de Japón (2017). Actualmente es Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. Es Profesor Asistente en el área de estructuras de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador desde el 2009. En 10 años de docencia universitaria ha dirigido 32 trabajos de titulación y 2 tesis de maestría. Es autor 10 artículos en revistas especializadas y ha sido ponente en 7 eventos internacionales. Actualmente trabaja en experimentación e investigación para el diseño de nudos mixtos o híbridos en vigas de hormigón armado y ha realizado 35 ensayos experimentales.



Ostaiza Chávez Jean Pierre,
Ingeniero Civil graduado en la
Universidad Técnica de Manabí en
2019.