

Análisis de Reforzamiento Sísmico del Edificio de Docentes N°1 de la Universidad Técnica de Manabí

Msc. García Vines Lincoln Javier, Msc. Palacios Rodríguez Jorge, Mendoza Palacios Alejandra Monserrate, Rodríguez Solórzano Julio César.

Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo

lincoln.garcia@utm.edu.ec, jorge.palacios@utm.edu.ec, amendoza0433@utm.edu.ec,
jrodriguez3395@utm.edu.ec

RECIBIDO: 31/05/2021

ACEPTADO: 15/06/2021

Resumen— Este estudio nació debido a lo observado en el edificio de docentes post terremoto del 16 de abril del 2016, observándose fallencias en su estructura. El propósito de desarrollar esta investigación tiene que ver con optar por un reforzamiento idóneo para el edificio con el propósito de que sea capaz de disipar la energía de los sismos, previo a esta investigación se contó con un análisis, el que demostró que el edificio no cumplía con los requerimientos de diseño sismorresistente que exigen los códigos modernos. Para esto, el principal objetivo de esta investigación es proponer dos alternativas de reforzamientos sísmico del edificio de docentes N°1 de la Universidad Técnica de Manabí. Para cumplir el objetivo de esta investigación se plantearon dos sistemas de reforzamiento: uno es el de muros de corte y el segundo es de pórticos arriostrados concéntricamente en V invertida, ambas estructuras fueron modeladas en el software Etabs, se analizaron las propiedades dinámicas de las estructuras con el fin de evaluar las variaciones de esfuerzos globales y desplazamientos de piso. Se efectuaron dos tipos de análisis sísmicos, estático y dinámico (modal espectral) se empleó el espectro de diseño que plantea la norma correspondiente a un suelo tipo “D” y además el espectro del sismo del 16 de abril con el fin de identificar el tipo de reforzamiento más eficiente que puede implementarse y ejecutarlo por medio de las especificaciones técnicas suscritas en las normas vigentes. De esta investigación se puede concluir principalmente que: i) Los máximos valores de desplazamiento de piso se los encontró al usar el espectro de diseño del sismo del 16 de abril, este se dio en la estructura reforzada con muros de corte. ii) Los esfuerzos globales fueron relativamente mayores al emplear el espectro de diseño del sismo del 16 de abril, esto se dio al analizar las estructuras con su reforzamiento. iii). La estructura presentó un periodo natural de 0.36 s, al usar los muros de corte a comparación de los pórticos arriostrados concéntricamente en V invertida que se obtuvo un valor de 0.23 s. Se recomienda el uso de los muros de corte como reforzamiento ya que aportan mayor rigidez lateral además de que son más económicos, de esta manera se prolongará la vida útil de esta estructura.

Palabras clave: Espectros de Diseño, Microzonificación Sísmica, Análisis Sísmico, Análisis Modal Espectral, Periodo Natural, Rigidez Lateral.

Abstract— This study was born due to observations made in the building of teachers after the earthquake of April 16, 2016, observing flaws in its structure, the purpose of developing this research has to do with opting for an ideal reinforcement for the building in order to be able

to dissipate the energy of earthquakes, prior to this research was an analysis, which demonstrated that the building did not meet the seismic-resistant design requirements required by modern codes. For this, the main objective of this research is to propose two alternatives of seismic reinforcements of the teaching building No.1 of the Technical University of Manabí. To meet the objective of this research, two reinforcement systems were developed: one is that of shear wall and the second is of concentrically inverted V-portico, both structures were modeled in the Etabs software, the dynamic properties of the structures were analyzed in order to evaluate variations in global efforts and floor displacements. Two types of seismic analysis were carried out, static and dynamic (spectral modal), the spectrum design proposed by the norm for a type “D” soil was used, in addition to the spectrum of the April 16 earthquake in order to identify the more efficient type of reinforcement that can be implemented and executed by means of the technical specifications subscribed in the current regulations. From this research it can be mainly concluded that: (i) The maximum floor displacement values were found when using the spectrum design of the April 16 is, this was given in the structure reinforced with shear wall. (ii) Global efforts were relatively greater in using the sism spectrum design of April 16, this was given by analyzing the structures with their strengthening. (iii). The structure had a natural period of 0.36 s, using the shear wall compared to the concentrically inverted V-portico that a value of 0.23 s. It is recommended to use the shear wall as reinforcement as they provide greater lateral stiffness in addition to being more economical, in this way the life of this structure will be extended.

Keywords: Spectrum design, Seismic Microzoning, Seismic Analysis, Spectral Modal Analysis, Natural Period, Lateral Stiffness

I. INTRODUCCIÓN

El Ecuador tiene una larga historia de actividad sísmica que, en los últimos 460 años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra, con la muerte de más de 60.000 personas. La mayoría del territorio del Ecuador se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico, la vulnerabilidad o susceptibilidad al daño de muchas edificaciones que tienen un alto grado de exposición por estar en su mayoría situadas en ciudades con alta peligrosidad sísmica como Quito, Guayaquil y todas las ciudades costeras, de aquellas construidas antes de la promulgación de los códigos de la construcción o de aquellas que no han sido diseñadas apropiadamente y que a lo largo de su vida han sido reformadas, ampliadas o que han

sufrido un cambio en el tipo de uso, distinto al contemplado en el diseño.

Luego del trágico evento acontecido el pasado 16 de abril del 2016, el terremoto de subducción con magnitud registrada de Mw 7.8, 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 bastante 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 & Bravo, 2016).

A raíz del sismo ocurrido, el edificio de docentes N. °1 de la Universidad Técnica de Manabí también presentó daños, el más notable fue de mampostería, por lo que se inhabilitó. Los principales elementos estructurales no presentaron ninguna afectación; cabe indicar que este edificio está implantado sobre un suelo tipo “D” correspondiente a un suelo blando siendo vulnerable a sufrir licuación, además el edificio fue analizado y diseñado con normas antiguas, pues su construcción se realizó en el periodo de octubre del 2013 a marzo del 2014, mientras que la presente norma fue creada el 2015. Cabe destacar que previamente al realizar esta investigación se efectuó un análisis estructural, comparando los espectros sísmicos de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-2015), el determinado por el estudio de microzonificación sísmica de Portoviejo y el espectro de respuesta del sismo del 16 de abril con los datos registrados en la estación de Portoviejo, obteniendo como resultados un porcentaje de desplazamientos de piso mayor al propuesto por la (NEC-15).

Para esto, el propósito de esta investigación es proponer dos alternativas de reforzamientos sísmico del edificio de docentes N. °1 de la Universidad Técnica de Manabí. Para cumplir el objetivo de esta investigación se plantearon dos sistemas de reforzamiento uno es el de muros de cortes y el segundo es de pórticos arriostrados concéntricamente en V invertida, la estructura será analizada sísmicamente usando los espectros de diseño que plantea la norma ecuatoriana de construcción (NEC-15) y el espectro de respuesta del sismo del 16 de abril.

Para el análisis de la estructura se emplea el software Etabs (CSI, Computers y Structures, Inc.), en el cual se modelará y analizará la estructura, se evaluarán los esfuerzos globales, desplazamientos de piso, conjuntamente se evalúan las propiedades dinámicas: periodos, modos y porcentajes de masa participante, con el fin de obtener la variación de resultados entre ambos reforzamientos para así identificar el reforzamiento que puede implementarse, siendo este más económico y eficiente.

II. MARCO TEÓRICO

A. Rehabilitación sísmica de construcciones existentes

En la actualidad, una cantidad significativa de edificios ubicados en zonas de actividad sísmica en todo el mundo no cumplen con los requerimientos de diseño sismorresistente que exigen los códigos modernos, de modo que son vulnerables y podrían resultar dañados ante la acción de un terremoto.

Se acepta generalmente que la denominación “rehabilitación sísmica” se aplica en los casos de construcciones existentes que no cumplen con los criterios modernos de seguridad o desempeño, de modo que se implementan mejoras en forma preventiva. En los casos en que la estructura ha sido dañada por un sismo, y su seguridad se ve comprometida, se usa normalmente el término “reparación” para designar el proceso destinado a recuperar un cierto nivel de seguridad.

Finalmente, es importante destacar que, si bien el proceso de rehabilitación se basa principalmente en aspectos estructurales, existen otros factores que usualmente condicionan el proyecto y deben considerarse con especial cuidado, tales como costo de la rehabilitación, limitaciones funcionales y estéticas, procedimiento constructivo, interrupción de la ocupación del edificio, interferencia con instalaciones, etc.

De esta forma es factible modificar favorablemente propiedades del sistema estructural tales como resistencia, ductilidad, rigidez, redundancia, regularidad estructural etc.

B. Estrategias de rehabilitación

Las estrategias de rehabilitación permiten alcanzar los objetivos adoptados, solucionando las deficiencias detectadas en la evaluación estructural. Estas estrategias o medidas de rehabilitación pueden agruparse en las siguientes categorías:

Modificación local de componentes estructurales, Refuerzo global de la estructura, Eliminación o reducción de irregularidades existentes, Rigidización global de la estructura, Reducción de masas, Aislamiento sísmico, Incorporación de disipadores de energía. En el caso de esta investigación se implementó como estrategia de rehabilitación la Rigidización global de la estructura.

En la ilustración 1 se observa el estado del edificio post terremoto, dejándolo deshabilitado por algún tiempo. Luego se solucionaron los problemas de mampostería y volvió a su funcionamiento, se destaca que no presentó problemas en sus principales elementos estructurales.



Ilustración 1. Edificio de Docentes post terremoto del 16 A

- **Rigidización global de la estructura:** esta solución es aplicable cuando las deficiencias se originan en desplazamientos laterales excesivos y los componentes críticos no disponen de adecuada ductilidad para resistir las deformaciones así originadas. En estos casos es conveniente modificar el sistema estructural incorporando elementos que

incrementan la rigidez lateral, para esto usaremos dos sistemas, pórticos arriostrados concéntricamente y muros de corte de ambos escogeremos el más conveniente desde el punto de vista económico y factible.

C. Pórticos arriostrados concéntricamente

Los pórticos arriostrados surgieron a comienzos del siglo XX como una alternativa estructural para edificios de mediana y baja altura, construcciones industriales, soportes de equipos, etc. La presencia de las barras diagonales o riostras modifica significativamente el comportamiento del pórtico, dado que se forma una estructura reticulada, con triangulaciones. La denominación de pórticos arriostrados concéntricamente se debe a que las conexiones de las riostras se diseñan de modo tal de evitarlas excéntricas, por lo que los ejes de las barras que llegan al nudo deben cortarse en un punto (Paz, 2002).

Los arriostramientos concéntricos de acero presentan ventajas significativas, desde el punto de vista estructural y constructivo, para la rehabilitación sísmica de estructuras, por lo cual se han empleado extensivamente para tal fin. Esta alternativa de rehabilitación que permiten fabricar los componentes de acero en taller y luego montarlos en obra con alteraciones mínimas de la actividad que se desarrolla en la construcción, la ilustración 2 muestra una vista de un pórtico arriostrado de acero para la rehabilitación de una estructura de hormigón armado.



Ilustración 2. Vista de un pórtico arriostrado de acero utilizado para rehabilitación de estructura

Otra solución interesante es colocar solamente riostras de acero para rehabilitar estructuras aporticadas existentes como se observa en la ilustración 3.



Ilustración 3. Rehabilitación mediante el agregado de riostras de acero a una estructura de hormigón armado

Las riostras se pueden disponer según diferentes configuraciones, como se muestra esquemáticamente en la ilustración 4. La adopción de la configuración más conveniente en cada caso se realiza a partir de consideraciones estructurales, funcionales y eventualmente aspectos estéticos (Aguar & Zevallos, 2016).

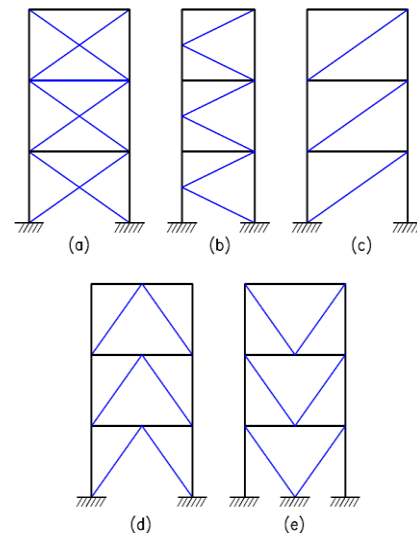


Ilustración 4. Configuraciones típicas para pórticos arriostrados concéntricamente, (a) riostras en X, (b) en K, (c) en diagonal, (d) en V invertida y (e) en V

En términos simples, el pórtico arriostrado se comporta como una viga reticulada en voladizo. Las columnas actúan como cordones del reticulado, resistiendo principalmente el momento de vuelco originado por las cargas laterales. Las vigas y riostras funcionan como el “alma” de la viga y resisten las fuerzas de corte horizontal. Este tipo estructural se caracteriza por una elevada rigidez lateral, lo que permite un adecuado control de los desplazamientos (Crisafulli, 2013).

D. Muros de corte

Los muros de corte son elementos estructurales hechos de hormigón armado capaces de soportar cargas verticales y horizontales.

Por su naturaleza, las estructuras tienen mayor facilidad para soportar cargas verticales, es por eso que los muros de corte son una gran ayuda para soportar cargas horizontales. Su característica radica en que su ancho es mucho menor que las otras dos direcciones. Siendo así, proporcionan una alta rigidez en la dirección paralela a la cara del muro, por lo tanto, son capaces de soportar esfuerzos cortantes producidos por cargas horizontales como son vientos y sismos, la ilustración 5 muestra el implemento de estos elementos en el reforzamiento de una estructura (Maldonado & Fernández, 2013).

Estas cargas horizontales producen oscilaciones horizontales en las estructuras que se transmiten como fuerzas inerciales. El Ecuador se caracteriza por tener zonas con actividad sísmica alta, por lo tanto, es muy común y acertada la aplicación de muros de corte en las estructuras para brindar un reforzamiento adecuado y que sean capaces de soportar la actividad sísmica (Palacios et al., 2019). La gran mayoría de las edificaciones actuales son diseñadas y construidas con muros de corte, sin embargo, se puede aplicar muros de corte a estructuras existentes que no cumplen con servicialidad y necesitan un reforzamiento.



Ilustración 5. Reforzamiento mediante el implemento de muros de corte en estructura de hormigón armado

Debido a que la función de los muros de corte es rigidizar a la estructura, estos deben:

- Limitar los desplazamientos laterales, de manera que se disminuyan los daños en elementos no estructurales (mamposterías, etc).
- Aumentar la rigidez tridimensional de la estructura, disminuyendo los períodos de vibración.
- Limitar las derivas de piso.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Análisis estático

El método estático consiste en esquematizar la excitación sísmica mediante sistemas de fuerzas estáticas proporcionales a las cargas gravitacionales. La determinación de la excentricidad estructural requiere del cálculo de las coordenadas del centro de

rigidez, sin embargo, resulta complicado establecerlas para un edificio de varios niveles ya que los programas comerciales existentes, generalmente no tienen implementados los procedimientos y formulaciones matemáticas, o bien como se comenta en (Goel & Chopra, 1993).

Existen otros métodos simplificados que requieren de modelos equivalentes que representan a la estructura et. al, 2003).

La norma NEC-15 en su sección 4.5.1. 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.

Se menciona en la (NEC-15) sobre los métodos de diseños la cual describe que las estructuras pueden ser calculadas mediante procedimientos de obtención de fuerzas laterales estáticos o dinámicos. El procedimiento escogido dependerá de la configuración estructural, tanto en planta como en elevación.

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 la estructura

El edificio considerado en esta investigación se encuentra ubicado en la Universidad Técnica de Manabí, fue construido en el periodo de octubre del 2013 a marzo del 2014, se encuentra implantado en un suelo tipo "D". El edificio presenta 3 pisos de altura con una superficie aproximada de 734 m^2 . La altura de piso típica y constante es de 2.84 m . La ilustración 6 muestra una vista en planta del edificio. Se analizarán dos estructuras las cuales tendrán reforzamiento de muros de corte y pórticos arriostrados concéntricamente, seguidamente se evalúan la variación que presentan los resultados de esfuerzos de corte, momento y desplazamientos de piso todo esto empleando el espectro de respuesta del sismo del 16 de abril y los espectros de diseño que plante la NEC-15.

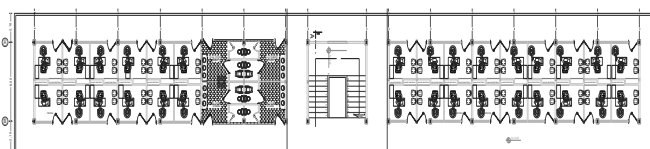
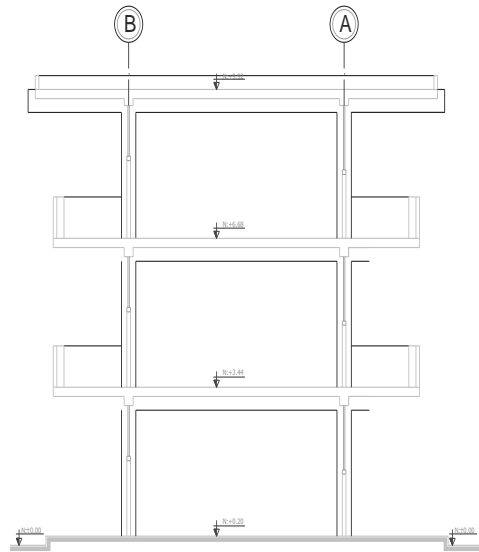
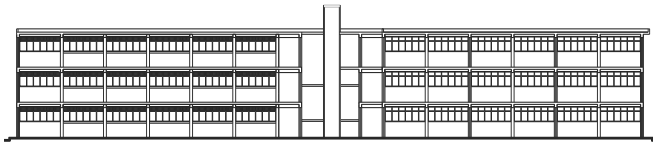
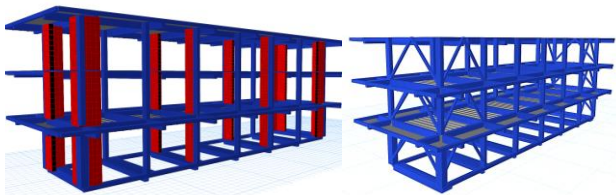


Ilustración 6. Vista en planta del edificio

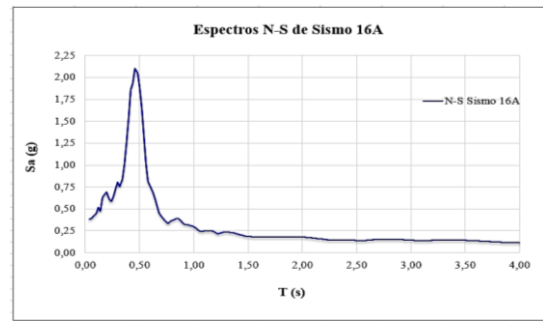
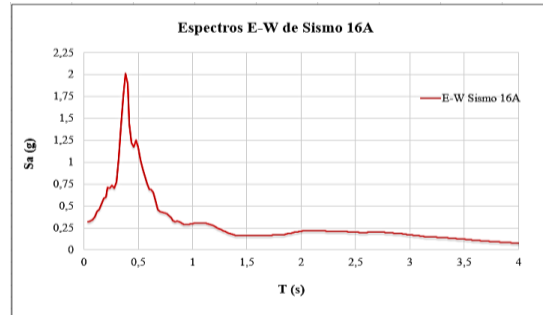
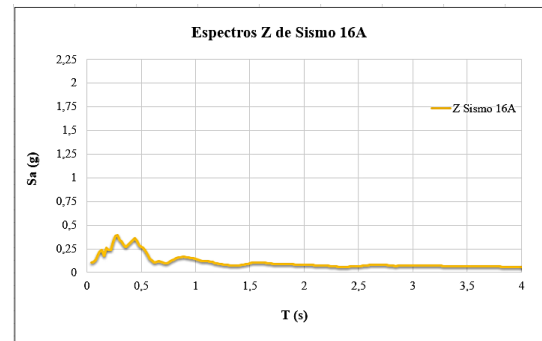
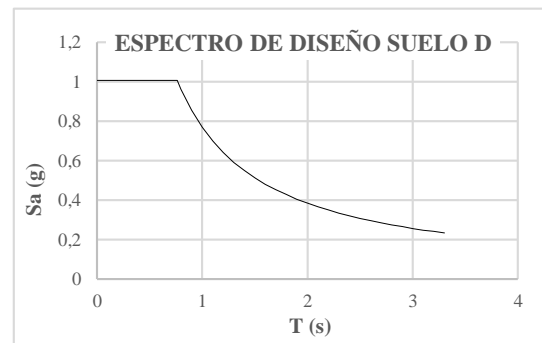
La estructura en estudio está estructurada en base a losas, vigas y muros de hormigón armado que componen la estructura resistente a cargas gravitacionales y sísmicas. El espesor de las losas es de 20 cm, las disposiciones de los muros, hace que se trate de una estructura bastante regular, tanto en planta como en elevación, la ilustración 7 y 8 muestra elevaciones representativas del edificio.

**Ilustración 7.** Elevación del edificio, eje y**Ilustración 8.** Elevación del edificio, eje x

Los modelos computacionales de los dos edificios fueron realizados en Etabs, en la ilustración 9 se muestra una vista tridimensional, las dimensiones geométricas de los principales elementos estructurales considerados en los modelos estructurales se obtienen de la información disponible en los planos estructurales del edificio a analizar.

**Ilustración 9.** Vista 3D de los modelos estructurales

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 el espectro de respuesta del sismo del 16 de abril. En las ilustraciones 10, 11, 12 y 13 se muestran los espectros a usar, los espectros se emplearán para cada estructura a fin de obtener respuestas comparables.

**Ilustración 10.** Espectro N-S de sismo 16^a**Ilustración 11.** Espectro E-W de sismo 16A**Ilustración 12.** Espectro Z de sismo 16A**Ilustración 13.** Espectro de diseño elástico

Para este estudio se considera que la estructura se encuentra en zona sísmica VI, con un coeficiente de importancia de $I=1.3$. El suelo a emplear es tipo D, El factor de reducción de resistencia sísmica $R=6$, las tablas 1 y 2 muestran más detalles.

Tabla 2. Parámetros dependientes del tipo de suelo

| <i>Suelo tipo</i> | <i>D</i> |
|--------------------------|--------------|
| <i>Fa</i> | <i>1.12</i> |
| <i>Fd</i> | <i>1.11</i> |
| <i>Fs</i> | <i>1.4</i> |
| <i>Altura máxima (m)</i> | <i>10.22</i> |

D. Estructuras a comparar

Gráficamente se notan diferencias en cuanto a los espectros a usar. Recordemos que se compararan ambas estructuras con su respectivo reforzamiento y a su vez se usaran los espectros de diseño para suelo tipo D que establece la NEC-15 así como también el espectro de diseño del sismo de 16 de abril para realizar el análisis modal espectral.

Esto quiere decir que se realizarán dos análisis modales. Las estructuras serán analizadas en el software de modelado estructural Etabs, con el fin de evaluar los desplazamientos de piso y los esfuerzos globales que presenten las estructuras, para de esta manera indicar cual es el reforzamiento más eficiente.

IV. RESULTADOS**A. Esfuerzos – Pórticos arriostrados concéntricamente****Tabla 3.** Participación modal de masas

| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 | Modo4 | Modo5 |
|---------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|
| Periodo (seg) | 0.23 | 0.20 | 0.15 | 0.083 | 0.074 |
| UX | | | | 0 | 0.09 |
| UY | | | | 0.08 | 0 |
| RZ | | | | 0 | 0 |
| Sum UX | | | | 0.89 | 0.99 |
| Sum UY | | | | 0.99 | 0.99 |

Tal

obales.

| ESTRUCTURA CON PORTICOS ARRIOSTRADOS | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Sismo 16A |
| Derivas de Piso Max | 0.45 % | 0.49 % |
| Cortante Global Max | 110.41Tn | 232.61 Tn |
| Momento Global | 5290.06 Tn-m | 6246.65 Tn-m |

Tabla1. Parámetros sísmicos de la estructura

| | |
|--|------------|
| <i>Zona sísmica</i> | <i>VI</i> |
| <i>Factor de zona sísmica</i> | <i>0.5</i> |
| <i>Provincias de la costa (excepto Esmeraldas) η</i> | <i>1.8</i> |
| <i>Factor de Importancia I</i> | <i>1.3</i> |
| <i>Factor de reducción de resistencia R</i> | <i>6</i> |
| <i>Irregularidad en Planta ϕ_p</i> | <i>1</i> |
| <i>Irregularidad en Elevación ϕ_e</i> | <i>1</i> |

En esta sección se muestran los resultados tras realizar el análisis dinámico, correspondiente a la estructura reforzada con De los valores mostrados en la tabla 3, se muestran las propiedades dinámicas de la estructura, periodos, modos naturales de vibración y masa modal.

Se destaca el periodo natural de la estructura con un valor de 0.23 s, además de que la estructura en los dos primeros modos de vibración es traslacional y el tercero rotacional, en el quinto modo de vibración se alcanza una participación modal de masa superior al 90% que establece la NEC-15.

En cuanto a la tabla 4 muestra los resultados de desplazamientos de piso y esfuerzos globales, destacar que estos valores son obtenidos tras realizar el análisis modal espectral empleando el espectro de diseño para suelo tipo D y el espectro de diseño del sismo 16 de abril. Presentando valores mayores en cuanto a desplazamientos de pisos y esfuerzos globales al emplear el espectro de diseño del sismo del 16 de abril.

Resaltar que al emplear ambos espectros y compara resultados con ambos se obtienen resultados que no sobre pasan el límite de desplazamientos de piso especificado por la NEC-15.

B. Esfuerzos – Muros de corte

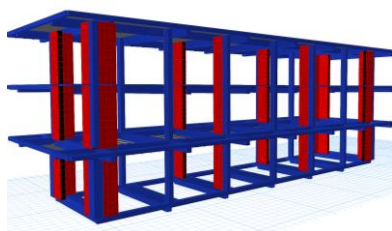


Tabla 5. Participación modal de masas.

| Part. de masa | Modo1 | Modo2 | Modo3 | Modo4 | Modo5 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Periodo (seg) | 0.36 | 0.29 | 0.24 | 0.08 | 0.06 |
| UX | 0.78 | 0 | 0 | 0.18 | 0 |
| UY | 0 | 0.76 | 0 | 0 | 0.19 |
| RZ | 0 | 0 | 0.76 | 0 | 0 |
| Sum UX | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.96 | 0.96 |
| Sum UY | 0 | 0.76 | 0.77 | 0.77 | 0.96 |

Tabla 6. Desplazamientos y esfuerzos globales.

| ESTRUCTURA CON MUROS DE CORTE | | |
|-------------------------------|-------------|--------------|
| Sismo X e Y | Suelo D | Sismo 16A |
| Derivas de Piso Max | 1.28 % | 1.26 % |
| Cortante Global Max | 101.01 Tn | 251.45 Tn |
| Momento Global | 987.01 Tn-m | 5131.97 Tn-m |

Para la estructura reforzada con muros de corte los cuales aportan mayor rigidez lateral, esta presentó un periodo natural de 0.36 s este valor se muestra en la tabla 5, además de los modos naturales de vibración y porcentaje de masa participante.

La estructura con muros de corte en sus dos primeros modos de vibración son de traslación en los sentidos x, y. Se destaca que la estructura en el cuarto modo de vibración presenta un porcentaje superior al 90% que plantea la NEC-15.

En la tabla 6 se observan los resultados de desplazamientos de piso y esfuerzos globales de corte y momento, Igual que ocurrió con la estructura con pórticos arriostrados concéntricamente al emplear el espectro de diseño del sismo del 16 de abril, para realizar el análisis modal espectral se obtuvieron los mayores valores de esfuerzos y desplazamientos laterales obteniendo un porcentaje de 1.28% menor a los que describe la NEC-15.

Las ilustraciones 13 y 14 muestran los desplazamientos de piso al emplear los espectros de diseño de la NEC-15 para suelo tipo D y el del sismo del 16 de abril.

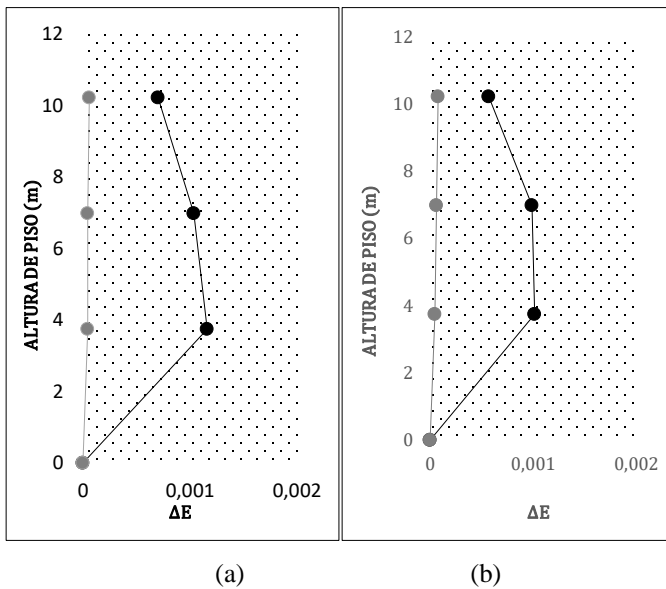


Ilustración 14. Deriva de piso elástica, reforzamiento de porticos arriostrados concéntricamente. (a) Sismo del 16A (b) Espectro NEC-15

La ilustración 14 presenta los desplazamientos de piso de la estructura con pórticos arriostrados concéntricamente en *v* invertida, se obtuvo el mayor valor de desplazamiento al emplear el espectro de diseño del sismo del 16 de abril, con un valor de deriva inelástica $0.49\% < 2\%$.

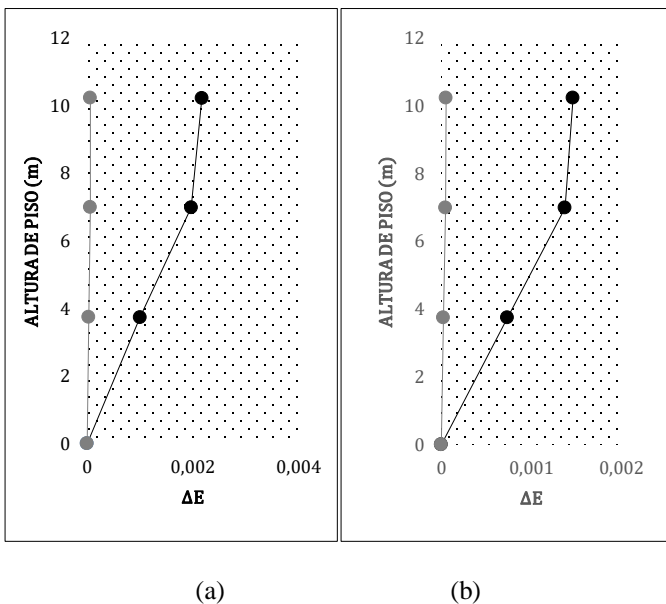


Ilustración 15. Deriva de piso elástica, reforzamiento de muros de corte. (a) Sismo del 16A (b) Espectro NEC-15

La ilustración 15 presenta los desplazamientos de piso de la estructura con muros de corte, se obtuvo el mayor valor de desplazamiento al emplear el espectro de diseño del sismo del 16 de abril, con un valor de deriva inelástica $1.28\% < 2\%$.

C. Presupuesto estructural

En esta sección se muestran los presupuestos referenciales de los reforzamientos usados en esta investigación el de muros de corte y el de diagonales rigidizadores, la tabla 7 y 8 muestra detalles del presupuesto.

Tabla 7. Presupuesto de la estructura reforzada con muros de corte

| PRESUPUESTO DE OBRA REFERENCIAL | | | | | |
|---------------------------------|--|--------|----------|------------|------------|
| RUBRO | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Excavación manual | M3 | 34.56 | 13.35 | 461.37 |
| 2 | Picado de Pared | M2 | 251.4 | 0.5 | 125.7 |
| 3 | Hormigón Simple $F_c=280 \text{ kg/cm}^2$ | M3 | 87.99 | 155.49 | 13681.56 |
| 4 | Acero de Refuerzo $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ | Kg | 4747.23 | 1.84 | 8734.90 |
| TOTAL, SIN IVA | | | | | 23003.544 |
| IVA 12% | | | | | 2760.425 |
| TOTAL, CON IVA | | | | | \$25763.96 |

La tabla 7 muestra los valores del presupuesto referencial de la estructura reforzada con muros de corte el cual presenta un valor total de \$17,175.98 (dólares de los Estados Unidos de América),

Tabla 8. Presupuesto de la estructura reforzada con diagonales rigidizadoras

| PRESUPUESTO DE OBRA REFERENCIAL | | | | | |
|---------------------------------|---|--------|----------|------------|-------------|
| RUBRO | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Picado de Pared | M2 | 306.6 | 0.5 | 153.3 |
| 2 | Acero Estructural (provisión y montaje) | kg | 8835.93 | 3.01 | 26596.14 |
| 3 | Mampostería | M2 | 306.6 | 10.58 | 3243.82 |
| TOTAL, SIN IVA | | | | | 29993.27 |
| IVA 12% | | | | | 3599.19 |
| TOTAL, CON IVA | | | | | \$33,592.47 |

realizando el análisis

La tabla 8 presenta los valores del presupuesto referencial de la estructura reforzada con diagonales rigidizadores el cual presenta un valor total de \$33,592.47, realizando el análisis de cada rubro.

De acuerdo al análisis de cada rubro y considerando sus especificaciones técnicas se obtiene como respuesta que el reforzamiento empleando los muros de corte es más económico con relación al de las diagonales, el reforzamiento de las diagonales presenta un incremento de \$16,416.49 en el costo total del reforzamiento, en el caso del reforzamiento con muros de corte representa el 33.83%.

V. CONCLUSIONES

- Los máximos valores de desplazamiento de piso se los encontraron al usar el espectro de diseño del sismo del 16 de abril, este se dio en la estructura reforzada con muros de corte.

- Los esfuerzos globales fueron relativamente mayores al emplear el espectro de diseño del sismo del 16 de abril, esto se dio al analizar las estructuras con su reforzamiento.
- La estructura presentó un periodo de 0.36 s, al usar los muros de corte a comparación de los pórticos arriostrados concéntricamente en V invertida que se obtuvo un valor de 0.23 s.
- Ambos reforzamientos cumplieron con lo que establece la norma ecuatoriana de construcción en cuanto a desplazamientos de piso y porcentaje de masa participante.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear el reforzamiento con muros de corte ya que aporta la rigidez necesaria a la estructura además de que este sistema de reforzamiento es más eficiente.
- En cuanto al reforzamiento con pórticos arriostrados concéntricamente, tienen un mayor valor económico en comparación con los muros de corte,
- Resaltar además la fácil trabajabilidad en el campo laboral que presentan los muros de corte ya que al inclinarse por los pórticos arriostrados concéntricamente se requeriría de maquinarias y equipos técnicos, además que se debe contar con las secciones prefabricadas de las diagonales además de detalles de conexiones y soldaduras.
- Además, se recomienda solucionar el problema arquitectónico que está generando la mampostería en toda la estructura ya que se puede generar la falla por columna corta, este se da por el espacio que se deja en las ventanas, este espacio obliga a concentrar toda la demanda de deformaciones y tensiones produciendo dicha falla.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar, 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*.
- Crisafulli, F. J. (2013). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero*. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Goel, R. K. y Chopra, A. K. (1993). *Análisis de código sísmico de edificaciones sin localizar centros de rigidez*. *Revista de ingeniería estructural*, 119 (10), 3039-3055.
- Maldonado Mora, D. and J. Durán Fernández (2013). *Metodologías para la evaluación y reforzamiento estructural de edificios de hormigón armado mediante muros de corte y fibras de carbono*, QUITO/PUCE/2013.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Peligro Sísmico/Diseño Sismo Resistente. Código: NEC-SE-DS*, Quito, Ecuador.
- Palacios, J., Zevallos, M., García, L., Villacreses, C., & Menéndez, E. (2019). *REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL CON MUROS DE CORTE, DE*

EDIFICIO DE LA FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(2), 201-222.

Paz, M. (2002). *Dinámica Estructural*. Barcelona, España: Reverté, S.A.

Roberto Aguilar, M. Zevallos. (2016). *REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS CON DISIPADORES DE ENERGIA, TERREMOTO DE ECUADOR DEL 16 DE ABRIL DE 2016 (Primera ed.)*. (I. P. IPGH, Ed.)

Zárate, G., Ayala, G., & García, O. (2003). *Método sísmico estático para edificios asimétricos: revisión de enfoques*. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (69), 25-44.



García Vincés Lincoln Javier, Master en Ciencias de la Ingeniería, Mención Estructuras, Profesor Tiempo Completo de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, en la Carrera de Ingeniería Civil, Especialista en Cálculos de Hormigón, Especialista en Cálculos Estructurales,

Coautor del libro: *Reforzamiento de Estructuras con Disipadores Sísmicos (2)*.



Palacios Rodríguez Jorge Luis, Master en Ciencias de la Ingeniería, Mención Estructuras, Profesor Tiempo Completo de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, en la Carrera de Ingeniería Civil, Especialista en Cálculos de Hormigón, Especialista en Cálculos

Estructurales, Coautor del libro: *Reforzamiento de Estructuras con Disipadores Sísmicos (2016)*.



Mendoza Palacios Alejandra Monserrate, Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Rodríguez Solórzano Julio César, Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Man