



*Influencia de la mampostería en un edificio con pórticos de hormigón armado*

*Influence of masonry in a building with reinforced concrete frames*

*Influência da alvenaria num edifício com pórticos de betão armado*

Dayana Vanessa Macías-Vera <sup>I</sup>  
[dmacias0407@utm.edu.ec](mailto:dmacias0407@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0001-5346-5640>

Luis Manuel Casanova-García <sup>II</sup>  
[Lcasanova2311@utm.edu.ec](mailto:Lcasanova2311@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0001-5159-3024>

Marguith Yanira Espín-León <sup>III</sup>  
[Marguith.espin@utm.edu.ec](mailto:Marguith.espin@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8298-7851>

Evangelos Manouris <sup>IV</sup>  
[evangelosmanouris@hotmail.com](mailto:evangelosmanouris@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7581-5202>

**Correspondencia:** [dmacias0407@utm.edu.ec](mailto:dmacias0407@utm.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 28 de julio de 2024 \* **Aceptado:** 20 de agosto de 2024 \* **Publicado:** 03 de septiembre de 2024

- I. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- IV. Investigador Independiente, Ecuador.

## Resumen

A raíz del terremoto acaecido en el Ecuador el 16 de abril de 2016, en la provincia de Manabí, se realizaron varios estudios en las estructuras afectadas y se apreció que la mampostería podría tener una influencia en la rigidez de las mismas. Debido a eso, la siguiente investigación tuvo como fin analizar el comportamiento de una estructura real y comparar dos modelos de estudio: uno sin la influencia de la mampostería en la rigidez lateral, y la otra con la influencia de la mampostería en la rigidez lateral de la estructura. Se analizaron los dos modelos para determinar desplazamientos, derivas, modos, excentricidades y torsión. Para ello fue necesario escoger las combinaciones de las cargas vivas, muertas y cargas sísmicas. Para los valores de estas cargas, se modeló un edificio real, partiendo de sus planos arquitectónicos y la ocupación de éste. Los resultados obtenidos, fueron comparados luego con sus similares de la misma edificación idealizada con los muros de mampostería, incluidos como parte colaborante en su rigidez, para ello, se utilizó el método del puntal diagonal equivalente con un enfoque lineal. Luego de hacer la comparación entre ambos modelos se observó que todos los parámetros estudiados tuvieron una relevancia positiva y considerable a excepción del de torsión, en el cual los valores, aunque positivos, se movieron en rangos menores. Así se concluyó que la mampostería juega un papel importante en los pórticos de hormigón armado y que sería conveniente tomarla en consideración a la hora de diseñar estructuras.

**Palabras clave:** Mampostería; estructuras; derivas; torsión; diagonal; desplazamientos.

## Abstract

Following the earthquake that occurred in Ecuador on April 16, 2016, in the province of Manabí, several studies were carried out on the affected structures and it was noted that masonry could have an influence on their stiffness. Due to this, the following research aimed to analyze the behavior of a real structure and compare two study models: one without the influence of masonry on lateral stiffness, and the other with the influence of masonry on the lateral stiffness of the structure. The two models were analyzed to determine displacements, drifts, modes, eccentricities and torsion. To do this, it was necessary to choose the combinations of live loads, dead loads and seismic loads. For the values of these loads, a real building was modeled, based on its architectural plans and its occupancy. The results obtained were then compared with their similar ones of the same idealized building with masonry walls included as a contributing part in its rigidity. To do this, the equivalent

diagonal strut method was used with a linear approach. After making the comparison between both models, it was observed that all the parameters studied had a positive and considerable relevance except for torsion, in which the values, although positive, moved in smaller ranges. Thus, it was concluded that masonry plays an important role in reinforced concrete frames and that it would be convenient to take it into consideration when designing structures.

**Keywords:** Masonry; structures; drifts; torsion; diagonal; displacements.

## Resumo

Após o sismo ocorrido no Equador a 16 de abril de 2016, na província de Manabí, foram realizados vários estudos nas estruturas afetadas e verificou-se que a alvenaria poderia ter influência na sua rigidez. Devido a isto, a seguinte investigação teve como objectivo analisar o comportamento de uma estrutura real e comparar dois modelos de estudo: um sem a influência da alvenaria na rigidez lateral, e outro com a influência da alvenaria na rigidez lateral da estrutura. Os dois modelos foram analisados para determinar deslocamentos, desvios, modos, excentricidades e torções. Para isso foi necessário escolher as combinações de cargas vivas, mortas e sísmicas. Para os valores destas cargas foi modelado um edifício real, com base nas suas plantas arquitectónicas e na sua ocupação. Os resultados obtidos foram então comparados com outros similares do mesmo edifício idealizado com paredes de alvenaria, incluídas como parte contribuinte na sua rigidez, para isso foi utilizado o método de escoras diagonais equivalentes com abordagem linear; Após ter sido feita a comparação entre os dois modelos, observou-se que todos os parâmetros estudados tiveram uma relevância positiva e considerável, exceto o binário, em que os valores, embora positivos, oscilaram em intervalos mais pequenos. Assim, concluiu-se que a alvenaria desempenha um papel importante nos pórticos de betão armado e que seria aconselhável tê-la em consideração no dimensionamento de estruturas.

**Palavras-chave:** Alvenaria; estruturas; desvios; torção; diagonal; deslocamentos.

## Introducción

La Albañilería o Mampostería se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material, como el mortero de barro o de cemento. Las unidades pueden ser naturales (piedras) o artificiales (adobe, tapias, ladrillos y bloques). Este sistema fue creado por el hombre a fin de satisfacer sus necesidades, principalmente de vivienda (Bartolome, 1994).

Actualmente en el diseño, análisis y construcción de edificaciones de hormigón armado, no se toma en cuenta la rigidez que puede aportar la mampostería no estructural, la misma que se encuentra enmarcada entre vigas y columnas, llamada también “mampostería de relleno”. Esta puede causar fenómenos como: disminución de periodos de vibración, alteración de los modos de vibrar, aumento de capacidad estructural, entre otros. Razón por la cual, en una zona altamente sísmica, prima la necesidad de conocer el comportamiento de estos elementos ante la llegada de un posible sismo (Cabrera Jara 2021).

La mampostería estructural son las construcciones de albañilería que han sido diseñadas racionalmente, de tal manera que las cargas actuantes durante su vida útil se transmitan adecuadamente a través de los elementos de albañilería (convenientemente reforzados) hasta el suelo de cimentación (Bartolome, 1994).

Después del fuerte sismo del 16 de abril de 2016 (S16A) ocurrido en Ecuador, se realizaron varios estudios de campo en las zonas más afectadas de la provincia de Manabí en la costa ecuatoriana, a partir de los cuales se obtuvo información del estado de varios edificios afectados por el terremoto en la ciudad de Bahía de Caráquez. Con base en los daños observados en estas estructuras, se apreció que la albañilería de relleno tuvo influencia en el comportamiento sísmico, favorable en algunos casos y negativa en otros (BASTIDAS 2020).

## Materiales y métodos

### Ubicación

La edificación en la que se ha realizado el estudio, es el edificio N° 1 de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas que se encuentra en la Universidad Técnica de Manabí. El análisis se llevó a cabo únicamente en el bloque izquierdo dentro de la estructura mencionada (con respecto al Norte geográfico). Las coordenadas de la estructura son las siguientes: latitud  $1^{\circ} 2'28.33''S$ , longitud  $80^{\circ}27'27.67''O$  (Ver fig. 1).



*Figura 1: Imagen tomada del Google Earth. Área de estudio.*

## Planos arquitectónicos

Para este estudio se utilizaron los planos arquitectónicos otorgados por el Departamento de Obras de la institución a la que pertenece la edificación (Ver fig. 2).



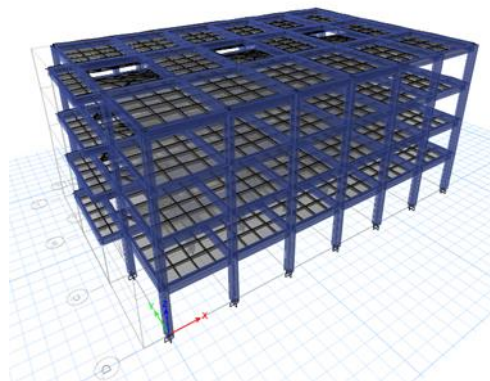
*Figura 2: Vista en elevación. Planos otorgados por el Departamento de Obras (UTM).*

El edificio de estudio cuenta con un área de 496,8 m<sup>2</sup> tomados de eje a eje y una altura total de 13,10 m desde la planta baja hasta la losa de cubierta.

## Modelación de la estructura (sin diagonales equivalentes)

Según Suesca (2007) un modelo estructural es "cualquier representación física de una estructura o una porción de una estructura. Comúnmente, el modelo será construido a una escala reducida".

Para la modelación de la estructura se utilizó el programa de análisis estructural Etabs. Este proceso consiste en, primeramente, definir una malla básica. Es decir, cada una de las líneas que componen la malla, deben coincidir con los ejes de los planos arquitectónicos de manera que, al ir agregando los elementos estructurales, éstos constituyan una fiel representación del modelo físico real. (Ver fig. 3)



*Figura 3: Edificación modelada sin diagonales. Etabs.*

## Propiedades del hormigón

El módulo de elasticidad se calculó con la fórmula (NEC\_SE\_HM, 2015):

$$E_c = 4,7 * \sqrt{f'c} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

Ec = Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa).

f'c = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa).

f'c = 240 kg/cm<sup>2</sup>.

## Diseño y dimensionamiento de los elementos de la estructura

Se realizó el diseño y dimensionamiento en Etabs de cada uno de los elementos principales de la estructura como son las columnas, las vigas y losas para armar la estructura.

## Cargas

- Se calcularon las cargas muertas, se determinaron las cargas vivas en función del uso del edificio en estudio según la NEC\_SE\_CG y se repartieron las mismas a los diferentes elementos estructurales.
- Se calculó la Carga Sísmica de toda la estructura (Cortante Basal). El cortante basal de diseño, es la fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción (NEC\_SE\_DS, 2015).

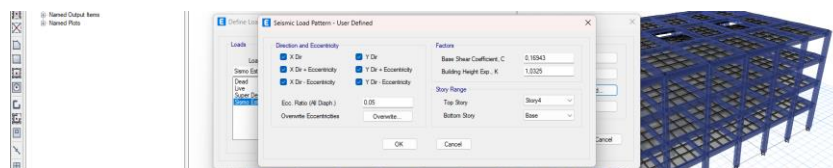


Figura 4: Cortante Basal corregido. Etabs.

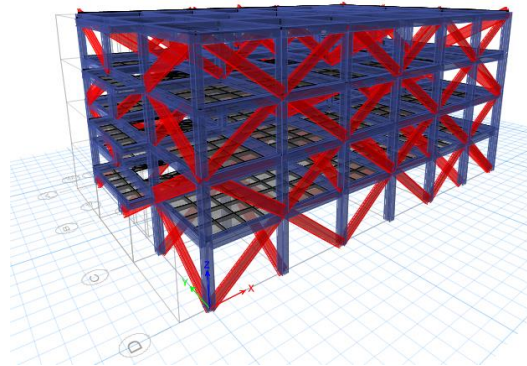
- Se repartieron las cargas a los diferentes niveles de cada planta: piso uno, piso dos, piso tres y cubierta.
- Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas

(NEC\_SE\_CG, 2015). De las citadas combinaciones, se aplicaron la 1, 2, 5 y 7 por considerarlas críticas.

### Método del puntal diagonal equivalente

El método del puntal (strut) equivalente se presenta como un procedimiento racional, el cual es aplicado ampliamente para la evaluación de estructuras de hormigón armado existentes (Karayannis et al., 2011; Moretti et al., 2013; Mulgund and Kulkarni, 2011). Incluso, uno de los códigos que ha tomado este método para el diseño de marcos rellenos de albañilería es (ASCE/SEI, 2013), por su simplicidad en la aplicación (BASTIDAS 2020).

En el segundo modelo se realizaron los mismos cálculos con la inclusión de los puntales diagonales equivalente respectivos, los cuales simulan la mampostería existente como un elemento rígido, cuya rigidez está ligada a las fórmulas que la componen y estas, a su vez, a los parámetros geométricos y elásticos de la mampostería.



**Figura 5:** Edificación modelada con diagonales. Etabs.

El código 356 de la Agencia Federal para el manejo de emergencias (FEMA), explica con claridad como tener en cuenta los rellenos de mampostería, también, comenta que los rellenos se pueden considerar mediante el análisis de elementos finitos o el método alternativo, el del puntal diagonal equivalente de relleno (Amato et al., 2009). Describe dos ecuaciones: la Ecuación 2, basado en datos experimentales y analíticos del método de Mainstone (1974), la cual es una ecuación empírica para el cálculo de la anchura del puntal; y la Ecuación 3, basada en el método de Stanford-Smith & Carter (Cabrera Jara 2021). Las dos ecuaciones se describen a continuación:

$$a = 0,175(\lambda_1 * h_{col})^{-0,4} * r_{inf} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

$a$  = Anchura del puntal

$\lambda_1$  = Rigidez relativa

$h_{col}$  = Altura de la columna entre las líneas centrales de las vigas

$r_{inf}$  = Longitud diagonal del panel de relleno

$$\lambda_1 = \left( \frac{E_m * t * \text{sen} 2\theta}{4 * E_c * I_{col} * h_{infill}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{Ec. (3)}$$

$\lambda_1$  = Rigidez relativa

$E_m$  = Módulo de elasticidad de la mampostería

$t$  = Espesor de la mampostería de relleno

$h_{infill}$  = Altura de la mampostería de relleno

$\theta$  = Ángulo de inclinación de la diagonal de la mampostería de relleno con respecto a la horizontal.

$E_c$  = Módulo de elasticidad usado en el pórtico

$I_{col}$  = Momento de inercia de la sección transversal de las columnas respecto al eje centroidal perpendicular al plano del pórtico

Sin embargo, si hay aberturas presentes y/o daños en el relleno existente, el ancho del puntal equivalente debe ser reducido (Ecuación 4) (Carrillo y González 2007):

$$a_{red} = a(R_1)_i(R_2)_i \quad \text{Ec. (4)}$$

$$R_1 = 0,6 \left( \frac{A_{aberturas}}{A_{panel}} \right)^2 - 1,6 \left( \frac{A_{aberturas}}{A_{panel}} \right)^2 + 1 \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$a_{red}$  = Ancho del puntal equivalente reducido

$a$  = Ancho del puntal equivalente

$R_1, R_2$  = factores de reducción debido a la presencia de aberturas y al daño del relleno respectivamente.

Haciendo referencia al factor de reducción debido al daño  $R_2$ , (Al- Chaar, 2002) sugiere que se puede asumir diferentes valores dependiendo del nivel de daño que tengan los paneles de albañilería. Se precisa que el factor puede tomar un valor de 1.0 cuando no existe daño (BASTIDAS 2020).



## Propiedades de la mampostería

*Tabla 1: Propiedades físicas de la mampostería. (BASTIDAS 2020).*

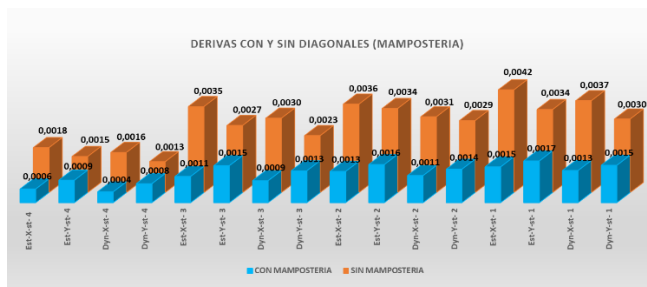
|                        |  |                           |
|------------------------|--|---------------------------|
| Albañilería de relleno | Resistencia a la compresión, $f'm$         | 1,43 [MPa]                |
|                        | Módulo de elasticidad, $E_m$               | 1363,28 [MPa]             |
|                        | Resistencia a corte, $f'v$ (Pachano, 2018) | 0,20 [MPa]                |
|                        | Peso específico, $\gamma_m$                | 15698 [N/m <sup>3</sup> ] |

## Resultados y discusión

### Derivas, desplazamientos, excentricidad, torsión y modos de vibración.

#### Derivas

La figura nos muestra los resultados de las derivas, observándose una diferencia significativa entre ambos modelos (Ver fig. 6).



*Figura 6: Derivas con y sin diagonales (mampostería).*

Las figuras nos muestran los porcentajes de diferencia en la reducción de las derivas para el modelo con diagonales tanto en el sismo estático como en el dinámico para ambos ejes (Ver fig. 7).

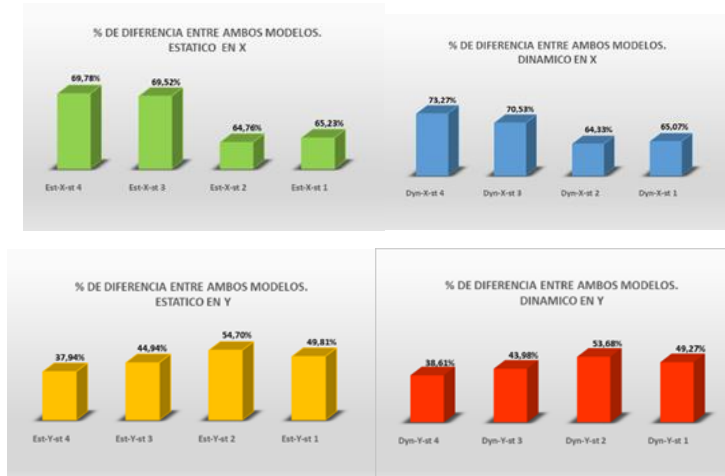


Figura 7: Porcentajes de diferencia de derivas entre ambos modelos para sismo estático y dinámico en los ejes X e Y.

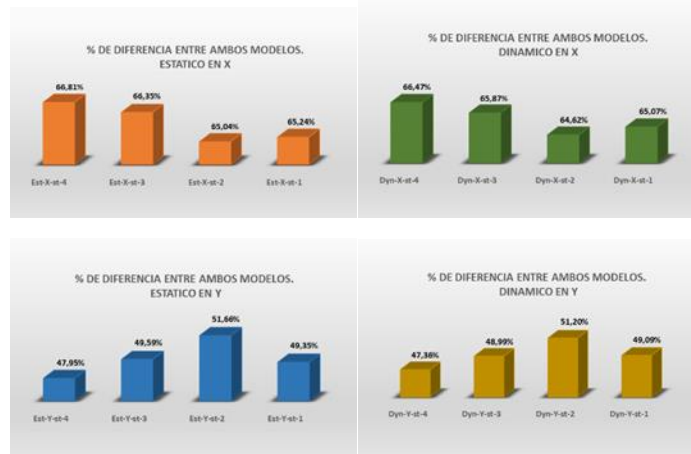
## Desplazamientos

Los desplazamientos para el modelo con diagonales son considerablemente menores, siendo más notoria la diferencia en el eje x (Ver fig. 8).



Figura 8: Desplazamientos con y sin diagonales (mampostería).

Los gráficos siguientes nos muestran el porcentaje de diferencia en la reducción de los desplazamientos para los sismos estático y dinámico en X e Y (Ver fig.9).



**Figura 9:** Porcentajes de diferencia de desplazamientos entre ambos modelos para sismo estático y dinámico en los ejes X e Y.

## Excentricidades

La incidencia que ha mostrado el modelo con diagonales en el parámetro de excentricidad, es baja (Ver fig. 10).



**Figura 10:** Excentricidades con y sin diagonales (mampostería).

Si bien el porcentaje de diferencia en la excentricidad en Y entre ambos modelos es alta, la excentricidad del edificio, no lo es (Ver fig. 11).



Figura 11: Porcentajes de diferencia de excentricidades entre ambos modelos para sismo estático y dinámico en los ejes X e Y.

### Modos de vibración

La mampostería influye positivamente en los modos al volver la estructura más rígida y así reducir los periodos (Ver fig. 12).



Figura 12: Periodos con y sin diagonales (mampostería).

Se observa una reducción significativa en los periodos de la estructura (Ver Fig. 13).



Figura 13: Porcentajes de diferencia de los modos entre ambos modelos para sismo estático y dinámico en los ejes X e Y.

### Torsión

No se observa diferencia significativa en la torsión de la estructura, esto en concordancia con la baja excentricidad observada en los cálculos anteriores (Ver fig. 14).



Figura 14: Torsión con y sin diagonales (mampostería).

El porcentaje de diferencia en el efecto de la torsión entre los sismos estático y dinámico en el eje X, se observa nula. Para los sismos estático y dinámico en el eje Y la diferencia es un tanto apreciable (Ver fig. 15).

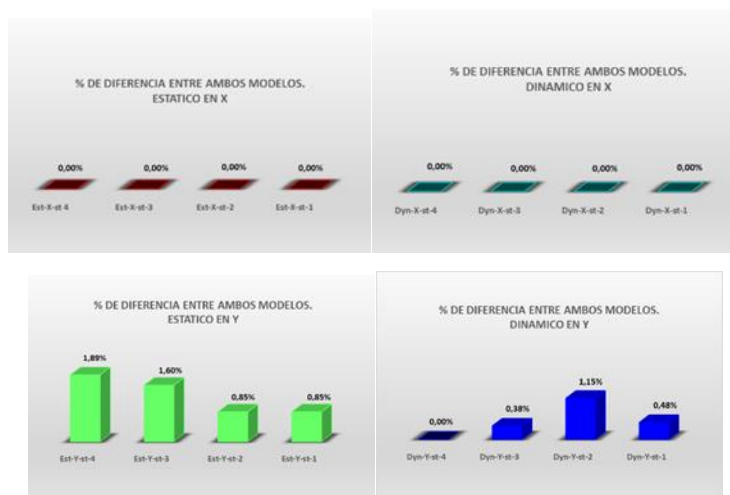


Figura 15: Porcentajes de diferencia en la torsión entre ambos modelos para sismo estático y dinámico en los ejes X e Y.

## Conclusiones

- Los desplazamientos, derivas, periodos, son considerablemente más bajos en el modelo con diagonales que en el modelo sin diagonales, tanto en el eje X como en el eje Y, para sismos estático y dinámico.
- Se concluye que la mampostería para ambos modelos de estudio no fue muy influyente en la excentricidad, aunque se observó diferencia considerable en este parámetro entre los ejes X e Y para este cálculo, con estas consideraciones, no se obtuvo mayor afectación en la torsión.

- La mampostería influyó positivamente en los modos, esto se observó en la reducción de los periodos en el modelo con diagonales equivalentes, lo cual acarrea consigo una menor vulnerabilidad sísmica al volver más rígida la estructura, sin dejar de considerar que este cambio podría afectar a las propiedades elásticas del edificio y disminuir su capacidad de disipar energía en un evento sísmico.
- Las derivas en el modelo sin diagonales alcanzaron valores de dos puntos y medio por ciento, mientras que en el modelo con diagonales apenas sobrepasan el uno por ciento, por lo cual, se concluye que la implementación del método usado para nuestro estudio es de alta relevancia, al representar una respuesta más cercana a la realidad a la vez que no demanda mejoras adicionales en la construcción sino la consideración de un elemento que es parte de ella y que comúnmente no ha sido tomada en cuenta para estos efectos.

### Recomendaciones

- Considerar la mampostería en la modelación de esta estructura de hormigón armado, tiene influencia significativa, por lo cual, se recomienda en futuros estudios de análisis lineal.
- Se recomienda también, análisis más cercanos a la realidad, como implementar este método con Pushover o análisis con elementos finitos.
- Al observar que existe influencia de la mampostería en los pórticos de hormigón armado, se recomienda implementar su correcto aislamiento si lo que se quiere es obtener una estructura que sea fiel al diseño o que se comporte como tal, ante eventos sísmicos.

### Referencias

1. BASTIDAS, LILIANA MORAIMA BARROS. 2020. «ANÁLISIS NO LINEAL DE UN EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO CON MAMPOSTERÍA DE RELLENO, AFECTADO EN EL SISMO 16 DE ABRIL DE 2016 EN ECUADOR». PhD Thesis, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.
2. Cabrera Jara, Pablo Armando. 2021. «Análisis estático lineal y no lineal de un edificio de hormigón armado de 3 pisos incorporando la influencia de la mampostería, utilizando el método de diagonales equivalentes, mediante sap2000». bachelorThesis, Universidad del Azuay.

3. Carrillo, Julián, y Giovanni González. 2007. «INFLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA EN EL COMPORTAMIENTO INELÁSTICO DE PÓRTICOS DE CONCRETO». DYNA 74(152):217-27.
4. Bartolome, A. S. (1994). CONSTRUCCIONES DE ALBAÑILERA -Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural-. Perú: PONTIFICA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.
5. NEC\_SE\_CG. (2015). CARGAS (NO SÍSMICAS). Norma Ecuatoriana de la Construcción.
6. NEC\_SE\_DS. (2015). Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente. Norma Ecuatoriana de la Construcción.
7. NEC\_SE\_HM. (2015). ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. Norma Ecuatoriana de la Construcción.
8. NEC\_SE\_MP. (2015). MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL. Norma Ecuatoriana de la Construcción.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).