

Columna corta como causa del daño estructural por el sismo del 16 de abril de 2016 y estado actual de esta patología

Short column as a cause of structural damage due to the earthquake of April 16, 2016 and current status of this pathology

Coluna curta como causa de danos estruturais devido ao terremoto de 16 de abril de 2016 e estado atual desta patologia

Alexi Beatriz Vega Martínez

avega2639@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7095-553X>

Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Yofre Bryan Giler Muentes

ygiler4995@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2730-531X>

Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Yordy Miele Bravo

yordy.mieles@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2864-2625>

Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

RESUMEN

La zona costera del Ecuador, se vio afectada por un evento telúrico de magnitud 7.8 Mw el 16 de abril de 2016, este suceso provocó que se evidenciara la falta de control y errores constructivos en ciertas edificaciones, para muestra de ello se constató la presencia del efecto de columna corta en algunas edificaciones de la nombrada zona cero en Portoviejo. Esta patología tuvo una notable incidencia sobre el daño y colapso de muchas estructuras de este sector; en un análisis detallado, se constató que, la forma tradicional de construcción y arriostramiento de estructuras da apertura a la formación y presencia del efecto de columna corta en la zona de la cimentación; misma que generalmente no está diseñada para soportar este tipo de esfuerzos. A través de modelos matemáticos se obtuvieron varios resultados que resultan altamente interesantes para la formación de criterios constructivos.

Palabras Claves: patología, edificaciones, efecto de columna corta, construcción, cimentación.

ABSTRACT

The coastal area of Ecuador was affected by a telluric event of magnitude 7.8 on the Richter scale on April 16, 2016, this event caused the lack of control and construction errors in certain buildings to become evident, as an example of this confirmed the presence of the short column effect in some buildings of the so-called zero zone in Portoviejo. This pathology had a notable incidence on the damage and collapse of many structures in this sector; In a detailed analysis, it was found that the traditional form of construction and bracing of structures opens up the formation and presence of the short column effect in the foundation area; which is generally not designed to withstand this type of stress. Through mathematical models, several results were obtained that are highly interesting for the formation of construction criteria.

Keywords: pathology, buildings, short column effect, construction, foundation.

RESUMO

A zona costeira do Equador foi afetada por um evento telúrico de magnitude 7,8 Mw em 16 de abril de 2016, este evento fez com que ficasse evidente a falta de controle e erros de construção em certas edificações, como exemplo disso a presença do curto efeito coluna em alguns edifícios do chamado marco zero em Portoviejo. Esta patologia teve uma incidência notável nos danos e colapsos de muitas estruturas deste setor. Em uma análise detalhada, verificou-se que a forma tradicional de construção e contraventamento de estruturas abre a formação e presença do efeito pilar curto na área de fundação; que geralmente não é projetado para suportar esse tipo de estresse. Por meio de modelos matemáticos, foram obtidos diversos resultados altamente interessantes para a formação de critérios construtivos.

Palavras-chave: patologia, edifícios, efeito coluna curta, construção, fundação.

1. INTRODUCCIÓN

La catástrofe del terremoto es una de las principales razones de la destrucción de edificios e infraestructuras de ingeniería, el Ecuador es un país sísmicamente activo puesto que se encuentra localizado en una zona de colisión entre la placa Oceánica Nazca con la placa Continental Sudamericana. El 16 de abril de 2016 se registró un terremoto de magnitud 7.8 Mw en la costa ecuatoriana, lo que provocó daños simultáneos en las diferentes edificaciones de la provincia de Manabí, mismas, que fueron evidenciadas con daños severos en sus elementos estructurales provocando fallos o colapsos debido a consideraciones arquitectónicas, necesidades técnicas o poca deliberación en el diseño estructural.

En Ecuador han surgido diversos acontecimientos referentes a este tema y en muchos casos se desconoce que, uno de los problemas de gran envergadura presentados en el diseño estructural fue el efecto de columna corta, que en la mayoría de los casos no fue evidenciado y que a su vez generó discontinuidad a la hora de que la estructura enfrente las fuerzas sísmicas, ya que este se produjo en la cimentación, donde las vigas interconectan las columnas por encima de la zapata, lugar donde se ve reflejado un espacio entre la viga y la zapata.

Es fundamental que los esfuerzos futuros se centren en comprender los efectos regionales del sitio, en la ciudad de Portoviejo como en el resto del país, se han podido evidenciar un sin número de irregularidades en cuanto a técnicas de construcciones, obras civiles destruidas por la acción de terremotos, es por este motivo que a medida que pasan los años se desarrollan nuevas y mejores normas de construcción con el objetivo de proporcionar estabilidad y seguridad con un correcto criterio estructural a cada una de la edificaciones, siendo así, capaz de soportar las solicitaciones que se presentan y un correcto comportamiento ante la acción sísmica.

Teniendo en cuenta los hechos mencionados, este trabajo pone en evidencia el porcentaje de edificios de la ciudad de Portoviejo que tuvieron fallas estructurales por efecto de columna corta en el terremoto de 16 de abril, con la finalidad de realizar una comparación de la situación registrada en ese periodo y el estado actual de esta patología, para así poder tener una idea clara de que si las nuevas consideraciones utilizadas en el campo de la construcción tienden a dirigirse nuevamente a enfrentar este tipo de problemas a futuro o si, por el contrario, estas permitirán y brindarán una mayor durabilidad de las edificaciones.

En la ciudad de Portoviejo, varias edificaciones llegaron al colapso debido a las modificaciones en la configuración estructural, y que estas suelen ser el inicio que provoca este tipo de efecto o patología, en la mayoría de casos registrados esto sucede por iniciativa de las personas, en base a esto, López (2017), a través de la información recopilada en la considerada zona cero evidencia que “se realizaron cambios en fachadas con materiales poco livianos e incluso se aumentaron pisos que no estaban en el concepto original del edificio sometiendo las estructuras a cargas superiores a la que fue diseñada”(p. 109).

La problemática expuesta en este tema de investigación muestra la vulnerabilidad a la que suelen estar expuestas las estructuras, por tal razón, se hace indispensable mostrar el resultado que tiene el efecto de la columna corta sobre la estabilidad, durabilidad y mantenimiento de las estructuras: ¿Cómo ha incidido hoy en día la aplicación de la nueva normativa constructiva para evitar el efecto de columna corta en la práctica de construcción, reconstrucción y remodelación de los edificios de la ciudad de Portoviejo después del terremoto del 16 de abril?

Durante la evaluación de vulnerabilidad sísmica realizada por Veliz (2018), en el casco urbano de la ciudad de Portoviejo, evaluó el mecanismo de falla por corte de columna corta y no representan una afectación significativa, ya que está dentro de la clase de vulnerabilidad A, tiende a repetirse de manera evidente en un gran porcentaje de edificios tomados como muestra de estudio. Véliz (2018) reitera que el parámetro que evalúa la posibilidad de formación del mecanismo de falla tipo columna corta, es el parámetro con mayor presencia de la clase de vulnerabilidad A, encontrado en el 77% de los 110 edificios analizados (p. 120).

Como objetivo general de la presente investigación está en realizar un análisis comparativo del efecto de columna corta como causa del daño estructural por el sismo del 16 de abril de 2016 y el estado actual que presenta esta patología en la ciudad de Portoviejo, por lo que se pretende indagar y exponer las principales causas que originan el efecto de columna corta en las edificaciones, además de realizar una exploración de campo para la recolección de datos que permita conocer la presencia (porcentaje) actual del efecto de columna corta en las nuevas construcciones.

Por lo que se permitirá tabular los resultados obtenidos y realizar la comparación de la problemática en ambos periodos, logrando así evaluar y analizar porcentualmente las edificaciones que han adoptado las nuevas normas constructivas para evitar el efecto de columna corta luego del sismo del 16 de abril de 2016.

METODOLOGIA

2. COLUMNA CORTA EN PÓRTICOS RESISTENTE A MOMENTO

La falla denominada columna corta, se lleva a cabo cuando se efectúa una restricción parcial del movimiento lateral del cuerpo de la columna. Cuando ocurre un terremoto, la columna corta tiene mayor rigidez y absorbe mayor fuerza horizontal que otras columnas normales, provocando que esta se agriete y falle, debido a que el esfuerzo cortante excede la carga.

Para lograr comprender la temática central de la investigación, es necesario hacer mención sobre la definición del efecto “columna corta”; así pues, Meli (2011) expone que es una modificación accidental en la configuración estructural original de una columna, de forma que la distancia vertical libre entre vigas o losas soportadas por la columna, se ve disminuida por un elemento, generalmente no estructural, que limita la capacidad de la columna de deformarse libremente en el sentido lateral, así mismo Aguiar (2016), explica que una columna corta se presenta cuando existe una disminución de la altura efectiva la misma.

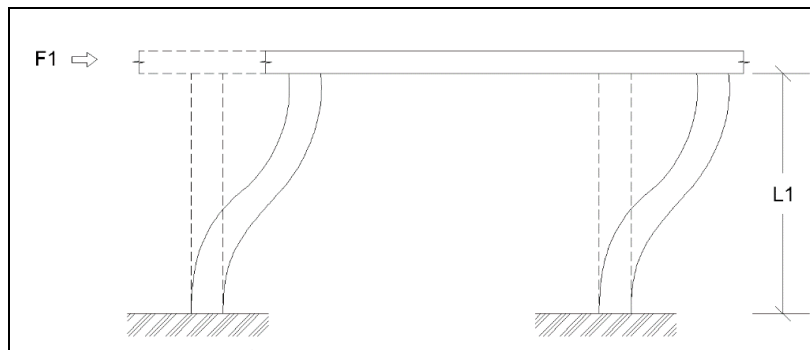


Figura 1. Representación de desplazamiento lateral de la columna sin restricción.

La falla se produce por la acción de concentrar esfuerzos en una ubicación específica, y por ser una sección de columna con mínima deformación, pues se desarrolla una falla frágil, que por lo general adopta una forma de "X". Además, la falla se produce en la sección inferior de la columna porque el mayor esfuerzo máximo se produce en los extremos, por lo que la capacidad de resistir esfuerzo cortante es extremadamente baja, lo que da como resultado el colapso de la pared en esa ubicación.

2.1. COLUMNA CORTA POR MAMPOSTERÍA

La mampostería, por lo general, tiende a ser la causa principal del efecto de columna corta en las estructuras debido a que, en la mayoría de los casos, su distribución no ha sido considerada de manera idónea dentro de la configuración estructural. El objetivo que cumple la mampostería es variado, desde su uso para cerramientos exteriores, hasta su uso para separación de espacios interiores; el problema real radica cuando no se toman provisiones especiales para que su presencia, no altere de manera directa la distribución de deformaciones y tensiones en los miembros del pórtico.

Cuando se considera una pared de altura parcial con una abertura que abarca la altura restante, las columnas adyacentes se comportan como columnas cortas debido a la presencia de estos muros. Mohabbi et al. (2016) afirma que, durante un terremoto, los extremos superiores de estas columnas sufren el mismo desplazamiento. Sin embargo, las paredes rígidas restringen el movimiento horizontal de la parte inferior de una columna corta, y deformarse por la cantidad total sobre la pequeña altura adyacente (p.79). [ver la figura 2]

Las paredes de mampostería integradas al sistema resistente modifican sustancialmente el flujo de fuerzas. Los tabiques aislados, ligados a pórticos flexibles, atraen por su rigidez la mayor parte de las fuerzas laterales y transmiten el cortante del nivel superior al inferior, en forma de una fuerza resultante diagonal que puede causar la falla de los elementos estructurales que confinan el tabique. El componente horizontal de dicha fuerza puede conducir a la falla por cortante de la columna y el componente vertical puede producir la falla a la viga. (Pronem, 1991)

Al rellenar parcialmente los pórticos con muros de mampostería no estructural y al no tener las juntas requeridas entre estos elementos se genera un efecto de columna corta. Al ocurrir este caso, los esfuerzos cortantes presentes pueden desarrollar un mecanismo de balanceo con un efecto de segundo orden significativo. (Bachmann, 2003).

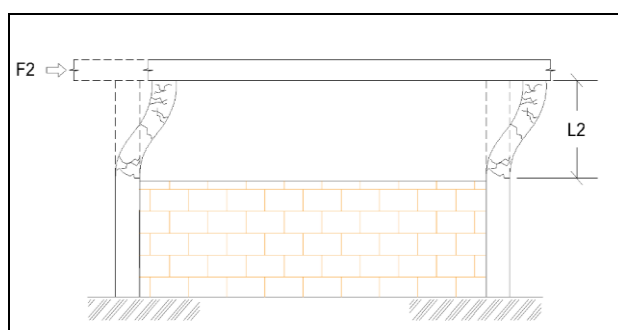


Figura 2. Desplazamiento lateral de la columna con restricción – Efecto de columna corta

En la zona Cero de la ciudad de Portoviejo, se pudo evidenciar 24 edificaciones de Hormigón armado con efectos de columna corta post terremoto, de las cuales el 92% de las edificaciones aún persisten en el sitio y tan solo el 8% solucionaron sus problemas. En la figura 3 se puede evidenciar una recopilación fotográfica realizada en el sector que muestra la situación actual de esas estructuras.



Figura 3. Edificaciones que presentaron falla por efecto de columna corta en la zona cero de Portoviejo

2.2. COLUMNA CORTA EN CIMENTACIONES

Otra de las anomalías observadas que pueden ser causa del efecto de columna corta, radica en las columnas de zapata de menor altura (Figura 4), ya que atraen más fuerzas debido a un considerable aumento en su rigidez, lo que a su vez aumenta la fuerza horizontal y momento flector significativamente. (Gupta & Pal Gautam, 2016). Según las autoras de la investigación realizada en India sobre el efecto de columna corta y su comportamiento en la cimentación, esta es una problemática que suele pasar desapercibida dentro del análisis estructural que se realizan en las diferentes edificaciones y que hasta no hace mucho tiempo ha sido tomada a consideración porque carece de sustento bibliográfico en donde los investigadores se pueden sostener. En la figura 5 se puede observar la representación gráfica del efecto de columna corta en la cimentación.



Figura 4. Columna corta en cimentaciones

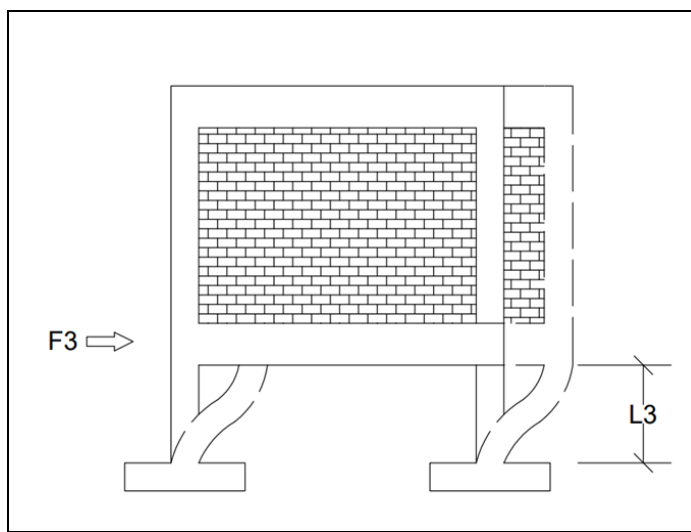


Figura 5. Desplazamiento Lateral de columnas en cimentación con cadena a nivel de contrapiso

En el Ecuador, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015), indica que cualquiera que sea el tipo de cimentación a construirse, las columnas de pórtico y de confinamiento deben de conectarse a nivel de cimentación entre sí a través de cadenas de amarre formando una retícula, sin embargo, se ha observado que de manera tradicional se optan por métodos de arriostamiento de las estructuras, al nivel del contrapiso, esta tendencia constructiva evidenciada en el país, tiene buen resultado al momento de generar un arriostamiento o amarre de las columnas, sin embargo, podría dar origen al efecto de columna corta en esta área, consecuentemente se modelará una estructura de dos pisos de hormigón armado como se muestra en la figura 6, con cadenas de amarre a profundidades de 0.50m, 0.70m, 1.00m 1.50m y 2.00m de desplante con respecto a la cimentación para analizar sobreesfuerzos que no se contemplan en el diseño.

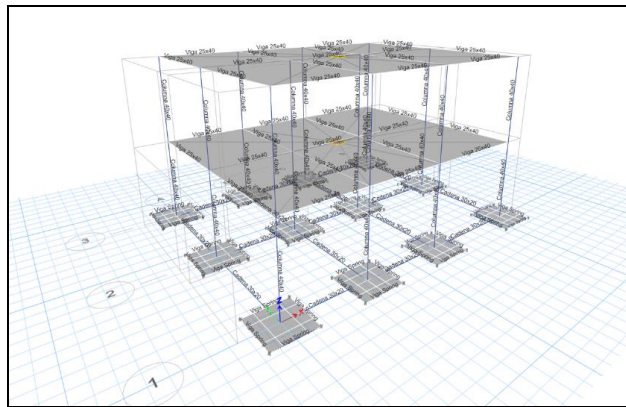


Figura 6. Modelo Estructural de hormigón armado de dos pisos

3. RESULTADOS

A continuación, en la figura 7, se presentan los pórticos planos del modelo estructural de una vivienda con cadena de amarre a diferentes profundidades:

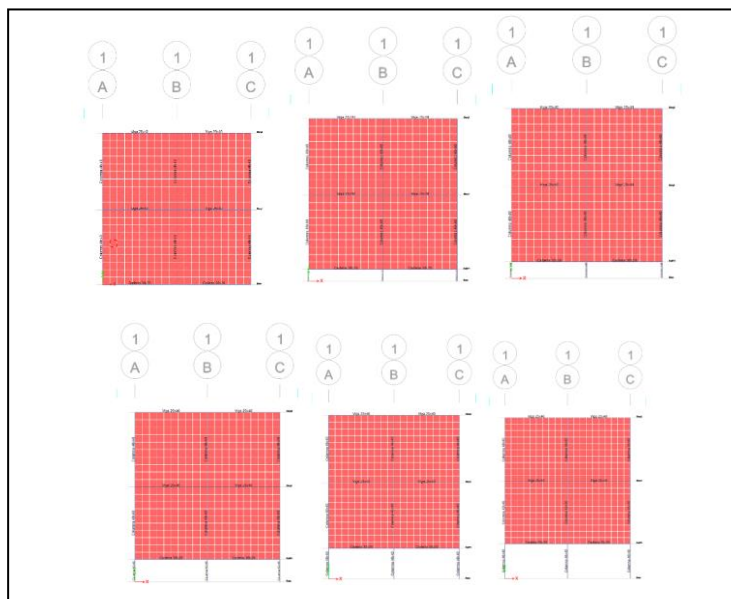


Figura 7. Pórticos planos del modelo estructural con distintas profundidades de cadena de amarre. (De izquierda a derecha: cadena en cimentación; cadena a 0.50m; cadena a 0.70m; cadena a 1.00m; cadena a 1.50m y cadena a 1.80m)

3.1. APLICACIÓN DE FUERZAS LATERALES

Se han aplicados Fuerzas laterales (F_x) resultante del cálculo del cortante basal a los distintos pisos del modelo estructural, en el segundo piso actúa una fuerza de 15840 Kgf y en el primer piso 7920 Kgf como se muestra en la figura 8. De la misma manera, se aplicó cargas sísmicas en el sentido X que el programa Etabs calculó y los resultados son muy aproximados a los ingresados de manera manual.

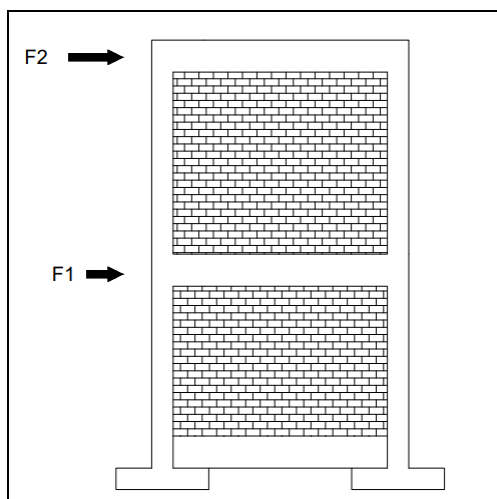


Figura 8. Aplicación de Fuerzas laterales (F_x)

3.2. ANALISIS NO LINEAL

Se realizó un análisis no lineal, también llamado análisis por desempeño o Push Over en el cual demuestra el estado actual del modelo estructural representado en la curva de capacidad mostrada en la figura 9.

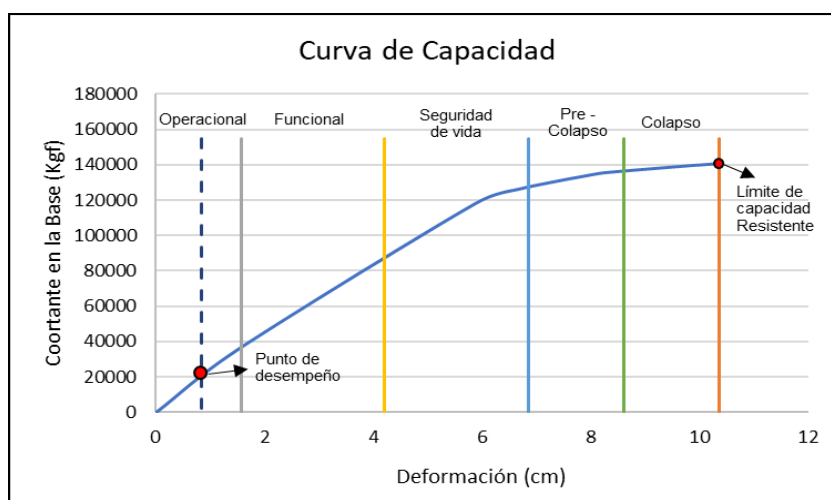


Figura 9. Curva de Capacidad del modelo estructural aplicado el análisis no lineal

El punto de desempeño del modelo estructural presentado se encuentra en nivel operacional cuando se aplica una fuerza un cortante en la base de 154706 Kgf lo cual genera una deformación de 0.84 cm, en contraste para que el modelo estructural llegue al colapso debe deformarse 10.36 cm, que es el límite de capacidad resistente actual.

3.3. ESFUERZOS CORTANTES PRODUCIDOS POR CADENA DE AMARRE

Con la finalidad de aproximarse a la realidad constructiva se analizó un pórtico plano para obtener los esfuerzos cortantes producidos por la cadena de amarre ubicada a distintas profundidades, se ha considerado una pared de mampostería compuesta por ladrillo burrito con resistencia a la compresión de 2MPa incluido el enlucido y resistencia al corte de 0.60MPa (Bravo & Romero, 2021), los resultados se expresan en la tabla 1.

Tabla 1.

Esfuerzos cortantes en columnas producidos por la profundidad de la cadena de amarre.

<i>ID Columnas</i>	<i>Esfuerzos cortantes en columna 1A</i>	<i>Esfuerzos cortantes en columna 1B</i>	<i>Esfuerzos cortantes en columna 1C</i>
<i>Cadena en Cimentación</i>	109%	174%	109%
<i>Profundidad de cadena 0,50m</i>	364%	448%	364%
<i>Profundidad de cadena 0,70m</i>	304%	351%	304%
<i>Profundidad de cadena 1,00m</i>	224%	243%	224%
<i>Profundidad de cadena 1,50m</i>	134%	137%	134%
<i>Profundidad de cadena 1,80m</i>	100%	100%	100%

4. CONCLUSIONES

Se han presentado esfuerzos en columnas arriostrada con cadenas a distintas profundidades, los esfuerzos más bajos se encuentran cuando aumenta la profundidad de

cadena, cuando la cadena de arriostamiento se encuentra a nivel de la cimentación los esfuerzos aumentan en un 9% para las columnas exteriores, en un 74% para las columnas del eje central, en comparación con una columna arriostada a una profundidad de 0.50 m que presenta la mayor cantidad de esfuerzos cortantes en una longitud de columna muy corta, dicho esfuerzo en muchos casos no son considerados en los cálculos estructurales, pasando desapercibido el efecto columna corta que si existe y afecta a este tipo de construcciones, para mitigar el efecto que la columna corta puede causar al modelo estructural se puede construir un muro de hormigón ciclópeo en el área perimetral de la estructura.

REFERENCIAS

- Aguiar, R., y Miele, Y. (2016). Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el Terremoto del 16 de abril de 2016. *Revista internacional de Ingeniería en Estructuras*. Volumen 21,3, 257-282.
- Bachmann, H. (2003). *Diseño conceptual Sísmico de Edificaciones - Principios básicos para ingenieros, arquitectos, propietarios de edificios, y autoridades*. Biel: BWG.
- Bravo Zambrano, D. F., & Romero Ostaiza, G. J. (2021). *Análisis de la resistencia a la compresión y corte de la mampostería de ladrillo artesanal de la ladrillera Pedro Anchundia, ubicada en Rocafuerte-Tosagua, usando un mortero tipo M10*. Portoviejo.
- Gupta, S., & Pal Gautam, C. (2016). A review on short column seismic Behavior and Their prevention on sloping ground. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*. Volume 3, Issue 6; April-June, 2016, pp. 523-528
- López, M. (2017). *Evaluación y análisis estadístico de las principales causas que incidieron en el colapso y daño estructural de las edificaciones en la ciudad de Portoviejo por causa del terremoto del 16 de abril del 2016*. Universidad Técnica de Manabí.
- Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., Crisafulli, F., Dai, J., Farsi, M., Hart, T., Mebarki, A., Moghadam, A., Quinn, D., Tomazevic, M., Yamin, L. (2011). *Guía de diseño sísmico para edificios de mampostería confinada de poca altura*. Enciclopedia Mundial de la Vivienda: EERI – WHE.
- Mohabbi Yadollahi, Mehrzad & Benli, Ahmet & Varolğüneş, Sadık. (2016). Masonry Infill Walls Effect In Short Column Formation In Rc Buildings: A Case Study. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 19. 78.
10.17780/ksujes.16070.https://www.researchgate.net/publication/308272231_Masonry_Infill_Walls_Effect_In_Short_Column_Formation_In_Rc_Buildings_A_Case_Study
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros. NEC-SE-VIVIENDA* Quito: MIDUVI
- Pronem. (1991). *Rescate en espacios confinados - Las estructuras*. Costa Rica.
- Véliz, C. (2018). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificios de Hormigón Armado: Aplicación al Área Urbana del Centro Histórico de la Ciudad de Portoviejo*. Escola Superior de tecnologia e gestão. Leira.