

REHABILITACIÓN DE EDIFICIO AFECTADO POR EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016 DE ECUADOR EN LA ULEAM

REHABILITATION OF BUILDING AFFECTED BY THE ECUADOR S EARTHQUAKE OF 16 APRIL 2016 IN THE ULEAM

R. Aguiar*, F. Del Castillo**, J. Mizobe***, P. Mendoza****

Recibido 30/04/2016: Aprobado: 28/05/2016

RESUMEN

Posterior al terremoto del 16 de abril del 2016 en Ecuador, el primer edificio en ser rehabilitado fue la Facultad de Informática del campus de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), el cual tuvo daño moderado en las paredes debido a que no eran completamente rectas, y daño severo en las paredes del descanso de la grada. Para la reconstrucción se reemplazaron dichas paredes que eran de bloque o ladrillo, por paredes con Gypsum livianas y flexibles. En este artículo se presenta el buen comportamiento que tuvieron las paredes de Gypsum, en otras estructuras en contraste con las paredes de bloque o ladrillo, detallándose así mismo, algunos aspectos constructivos sobre la forma correcta de instalarlas. Finalmente, se realizó un análisis espectral de la estructura empleando el espectro del terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8, obtenido en Manta. En la estructura estudiada, se encontró los desplazamientos laterales y derivas de piso, para asociar éste último valor con la no existencia de daño estructural, y solo daño moderado en la mampostería de las aulas y oficinas y severo en la grada. Posteriormente se realizó un nuevo análisis sísmico considerando la reducción del peso por el cambio del material de las paredes, determinando un mejor comportamiento sísmico.

Palabras clave: Terremoto del 16 de abril de 2016, Paredes de Gypsum, Facultad de Informática de la ULEAM, Ecuador

*Investigador y profesor principal de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción y de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, Centro de Investigaciones en Ingeniería Sísmica. Ecuador. Correo: rraguiar@espe.edu.ec

** Investigador y profesor principal de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM. Manta, Ecuador. Correo: delcastilloborja@gmail.com

***Ingeniero civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Civil. Manta, Ecuador. Correo: bimizobe@hotmail.com

**** Ingeniera civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Civil. Manta, Ecuador. Correo: pemp_mendoza@hotmail.com

ABSTRACT

After the earthquake of April 16, 2016 in Ecuador, the first building to be rehabilitated was the Faculty of Computer Science Campus of the University Laica Eloy Alfaro of Manabi (ULEAM), which had moderate damage in the walls due They were not straight and severe damage to the walls of the tier. For Reconstruction these walls were replaced that were made of block or brick with plaster walls flexible and lightweight. In this article it is presented the Good behavior plaster walls had in contrast to the brick or block walls, detailing also, some constructive aspects on the correct way of installing. Finally, UN Spectral analysis of the structure was performed using the spectrum of the earthquake of April 16, 2016, magnitude 7.8, obtained in Manta. In the studied structure, lateral displacements and floors drifts were found. To associate with the latter value with the nonexistence of structural damage and solo moderate damage in the masonry of the classrooms and offices and Severe in the stands. Subsequently a new seismic analysis was made considering weight reduction by changing the material of the walls, determining the best seismic behavior UN.

Keywords: Earthquake of April 16, 2016. Gypsum walls, Faculty of Informatics ULEAM, Ecuador

1. INTRODUCCIÓN

El continuo movimiento de la Placa de Nazca con una velocidad promedio, entre 5 y 6 cm, al año, Nocquet *et al.* [1], Collot *et al.* [2] el cual se sumerge bajo la Placa Americana que se mueve en sentido contrario con una velocidad menor, ha ocasionado que el suelo continental, como es un material elástico, retroceda con respecto al mar aproximadamente 2 cm al año (ver Figura 1) Trenkamp *et al.* [3]. Acumulando a la par energía de deformación, llegando a un punto determinado que debe ser liberada, considerando la teoría del rebote elástico, con un terremoto como el registrado el 16 de abril de 2016, con una magnitud de 7.8, provocando que la costa de Ecuador se moviera con dirección al mar entre 80 a 100 cm.

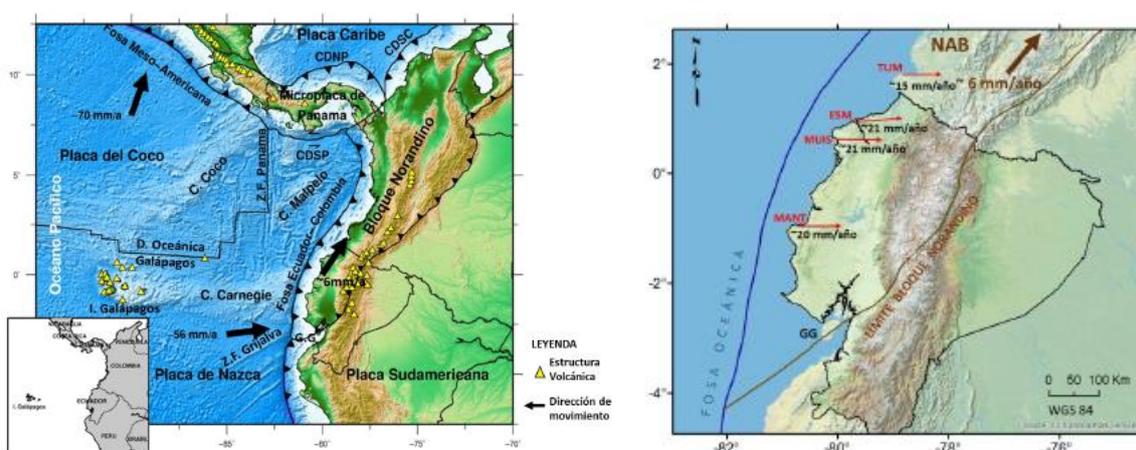


Figura 1. Movimiento de las placas tectónicas en Ecuador. Fuente: Nocquet *et al.*[1], Trenkamp *et al.* [3]

El epicentro de este terremoto, se ubicó en la costa de Pedernales con una profundidad de 19,2 km, tuvo un proceso de ruptura hacia el sur de Ecuador, y es así, que en la ciudad de Manta a 171 km, de la zona epicentral, las aceleraciones espectrales superaron a las recomendadas por

las normativas sísmicas de Ecuador de 2011 y 2015, como se observa en la Figura 2.

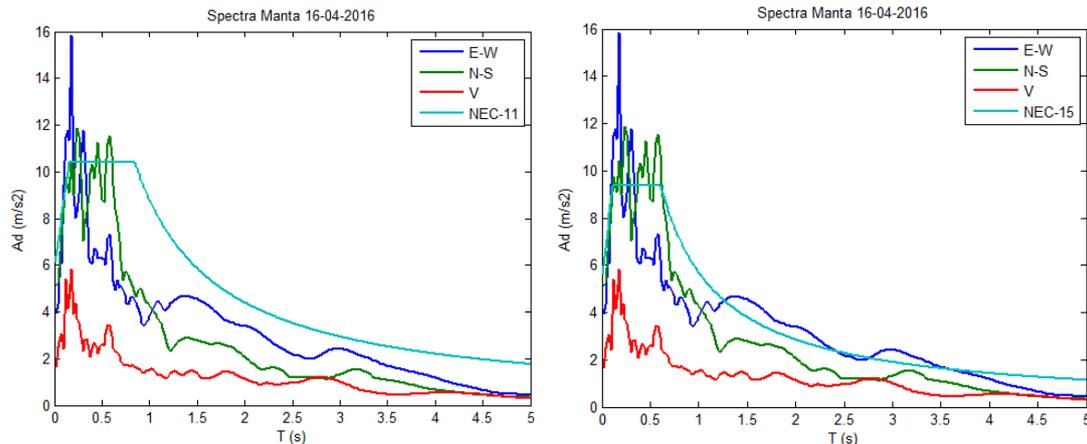


Figura 2. Espectros obtenidos en la ciudad de Manta, durante el terremoto del 16 d abril de 2016, y espectros de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 y NEC-15.

El registro de Manta fue obtenido en un perfil de suelo tipo C, del NEC-15 [4], correspondiente a un suelo con una alta capacidad resistente a la compresión. Se aprecia que en la plataforma de aceleración constante las ordenadas espectrales del terremoto fueron más de 1.5 veces lo estipulado en las normativas sísmicas y en la rama descendente, existen varios rangos de períodos, en que superan las aceleraciones del NEC-15. Las aceleraciones espectrales máximas en Manta están alrededor de 16 m/s^2 (1,6 g).

El primer edificio en ser rehabilitado de la ciudad de Manta, fue la Facultad de Informática de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), sufrió un daño de moderado a severo en la mampostería construida con un material pesado, no presentándose daños en los elementos estructurales. Para la rehabilitación de todos los Bloques Estructurales de la ULEAM, se decidió hacerlo con paredes livianas y flexibles que tuvieron mejor comportamiento estructural, observado en algunos edificios de Manta durante el terremoto del 16 de abril. Al construir con material liviano se disminuye la masa y con ello se tiene un mejor desempeño sísmico, como se verá en este artículo al realizar el análisis sísmico ante el espectro registrado en Manta, en las condiciones iniciales con paredes de bloques y cuando se considera el cambio de material a Gypsum.

2. FACULTAD DE INFORMÁTICA

Varios cuerpos estructurales conforman la Facultad de Informática, uno de ellos es el presentado en la imagen “a” de la Figura 3, donde se observa una estructura de 3 pisos de hormigón armado, con una cubierta de acero de lámina delgada. Las paredes interiores presentaron daño moderado, a excepción del área de grada donde el daño fue extensivo durante el terremoto del 16 de abril. En la imagen “b” se observa otro bloque estructural de 1

piso con un tubo por el cual fue arrojado el material (bloques y ladrillos) que había sido utilizado en la construcción de las paredes del Bloque Estructural analizado, denominado en este artículo como Bloque Estructural uno. La fachada de la Figura 3 corresponde al pórtico del eje 8.



Figura 3. Fachada de edificio de Facultad de Informática de ULEAM

En la Figura 4 se presenta las dimensiones de las columnas y vigas que se tienen en la primera planta del Bloque Estructural uno. Se tiene dos tipos de columnas: de 35/35 cm, para cubrir luces menores a 4 metros y de 35/55 para luces mayores a 5 m, la orientación de las columnas es de tal forma que la mayor dimensión sea paralelo a la mayor luz con lo que se obtiene mayor inercia en la dirección de la luz más grande. Las vigas son descolgadas de 30/55 cm, en las de mayor luz y de 25/35 cm las de menor luz. Al comparar las dimensiones de vigas y columnas se concluye que fue proyectado con el criterio de columna fuerte-viga débil, acorde a la filosofía de diseño actual. El Bloque Estructural uno, es ligeramente irregular en planta y elevación. La cubierta de acero de lámina delgada está apoyada sobre vigas de hormigón armado.

El comportamiento estructural de este bloque fue satisfactorio considerando que la aceleración espectral máxima estuvo alrededor de los 16 m/s^2 (ver Figura 2) y que para el rango de períodos cortos, sobrepasó las recomendadas por las normativas sísmicas de Ecuador de 2011 y 2015. Se consideró satisfactorio ya que no existió daño en los elementos estructurales como vigas y columnas, y daño moderado en las paredes construidas con bloques y ladrillo. En estas condiciones es de interés conocer las derivas de piso que se hallan con cada una de las componentes del espectro obtenido en Manta, para el terremoto del 16 de abril de 2016.

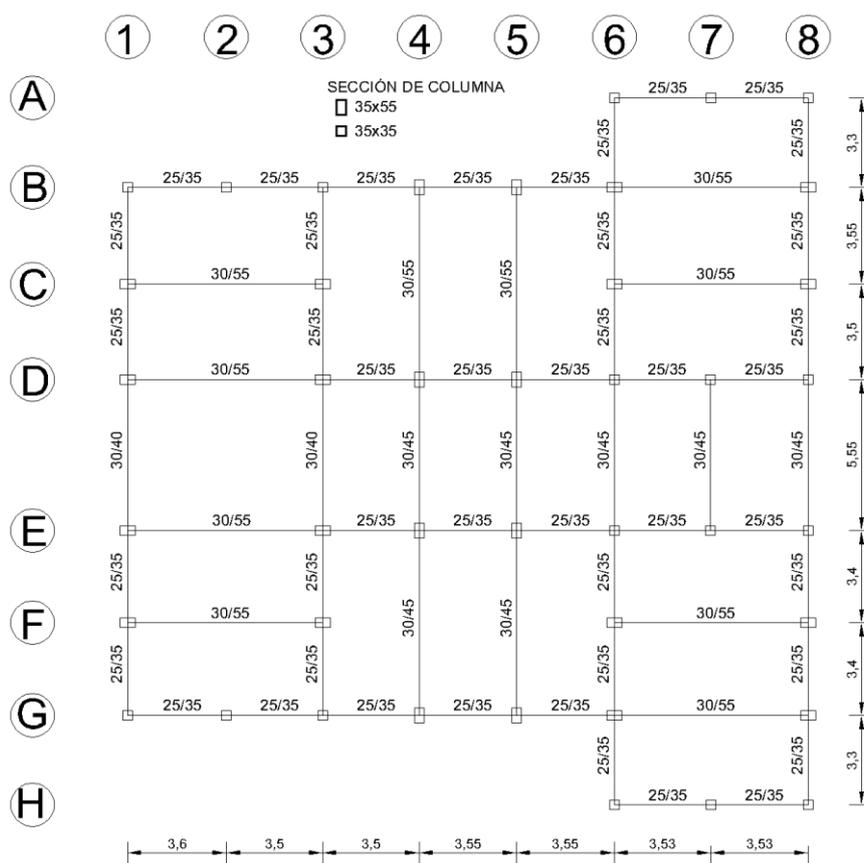


Figura 4. Vista Estructural de la primera planta de Bloque Estructural uno. Facultad de Informática.

Pensando que en la provincia de Manabí donde se ubica la ciudad de Manta, al igual que todas las provincias que limitan con el Océano Pacífico tiene una alta peligrosidad sísmica, se decidió en la ULEAM reconstruir las paredes con Gypsum por varias razones, la principal es que no van a causar heridos con la misma intensidad que lo hace las construcciones de ladrillos o bloques. Otra de las razones, es que al construir con Gypsum el peso por metro cuadrado está alrededor de 35 a 40 kg/m² en lugar de los 200 a 250 kg/m² que se tiene en las paredes de bloques de cemento o ladrillo, esta reducción es adecuada desde el punto de vista de la dinámica de estructuras ([5], [6], [7]). Finalmente, es más limpio y rápido reconstruir una pared con Gypsum que hacerlo en la forma tradicional. La desventaja, es relativa a los costos ya que es ligeramente mayor, pero a la larga se compensa debido a su mejor comportamiento.

2.1. Daño en mampostería de Facultad de Informática

En la planta baja del edificio de la Facultad de Informática las paredes no se encontraban en un solo plano vertical, sino que estaban en dos planos unidos entre sí por una pared inclinada, la misma tuvo un daño considerable en este elemento de acople, como se observa en la Figura 5. Igualmente se presenta que la mayor parte de las paredes tenían fisuras que en algunos

casos atravesaban el elemento, por lo que para la reconstrucción se decidió levantar las paredes en un solo plano vertical.



Figura 5. Paredes que no son rectas con daño en la Facultad de Informática durante el terremoto de 2016

El mayor daño se presentó en las paredes de los descansos de la grada, fragmentadas en forma explosiva (ver Figura 6). Sin embargo, se considera como daño local debido a la flexibilidad del descanso de la grada. En ese sitio se van a colocar columnas de acero para que el descanso no trabaje en voladizo.



Figura 6. Rotura de paredes en los descansos de la grada.

3. COMPORTAMIENTO DE PAREDES CON MATERIAL LIVIANO

En la Figura 7 se compara el desempeño que tuvieron durante el terremoto del 16 de abril, paredes de bloques de cemento y de material liviano como el Gypsum en el Edificio Fortaleza de la ciudad de Manta.



Figura 7a. Comportamiento de paredes de bloques de cemento en Edificio Fortaleza

En la Figura 7a, se pudo detectar la rotura y rajadura de paredes construidas con bloques. Mientras que en la Figura 7b, no se observa daño en otro apartamento del mismo piso pero con paredes de Gypsum.



Figura 7b. Comportamiento de paredes Gypsum en Edificio Fortaleza. Fuente: Aguiar y Del Castillo [8]

Por otro lado, las ciudades de Bahía de Caráquez, Manta y Portoviejo fueron afectadas por el sismo del 4 de agosto de 1998 [9], y en algunas estructuras la mampostería de ladrillo macizo que tuvieron falla de tensión diagonal fueron reparadas colocando grampas de acero en forma de “C” y luego enlucíéndolas. Esta forma de reparación no es adecuada, ya que en el terremoto de 2016 se volvió a producir daño en el mismo lugar, extendiéndose a otras zonas que no fueron dañados en el sismo de 1998 (ver Figura 8).



Figura 8. Desempeño de paredes en Facultad de Ciencias de la Salud de la UTM; a) pared reforzada con varillas de acero en forma de “C” luego del terremoto del 4 de Agosto de 1998; b) pared con material muy liviano que no presentó daño durante el terremoto de 2016.

Las imágenes se corresponden a la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Técnica de Manabí. En la imagen “a” de la Figura 8, se observa el comportamiento que tuvo la pared reforzada con varillas de acero en forma de “C” luego del terremoto del 4 de Agosto de 1998. Mientras que en el mismo piso se encontró una pared construida con material muy liviano, indicada en la Figura 8 “b” la cual no presentó daño alguno en el mismo evento, haciendo contraste con las otras paredes de ladrillo que fueron destruidas

Ahora bien, en el edificio del Banco Central de la ciudad de Manta, donde funcionan varias entidades del estado entre ellas la Corporación Nacional de Electricidad (CENEL), el Banco

Nacional de Fomento (BNF), ubicado en la Av. Malecón, se encontraron varias paredes con material liviano que no se comportaron satisfactoriamente durante el terremoto de 2016, debido a que no fueron correctamente ejecutadas. No se construyeron juntas de construcción en las paredes largas con material liviano, como se observa en la imagen “a” de la Figura 9, en que la pared terminó deformándose por la mitad aproximadamente. En la imagen “b” de la misma figura, se observa que uno de los paneles se rompió, aunque queda la interrogante si ocurrió durante o después del sismo ya que el marco de aluminio que lo sostenía no se deformó. Otra de las fallas comunes que se tiene en la colocación de las paredes livianas, es la falta de anclaje de la estructura de la pared, en la parte superior e inferior. Se puede observar esto en la imagen “c” de la Figura 9, se aprecia que uno de los paredes se desprendió y que estaban sujetas a los perfiles que soportan a los plafones, que dicho sea de paso se cayeron porque sus perfiles no estaban bien sujetos.



Figura 9. Construcción de paredes en Edificio del Banco Central ubicado en Manta; a) pared sin junta de construcción; b) rotura de panel de madera; c) caída de uno de los recubrimientos de la pared.

3.1. Paredes de Gypsum

El haber observado que no se está construyendo en forma adecuada las paredes de Gypsum, se decidió presentar aunque sea en una sola figura las recomendaciones que propusieron un grupo de investigadores de los Estados Unidos de Norte América, quienes investigaron el comportamiento de este material desde el 2008 al 2013 [10]. En la Figura 10 se presentan detalles de la forma en que se debe unir dos paredes ortogonales, al igual que especificaciones de los materiales utilizados y separaciones máximas permitidas.

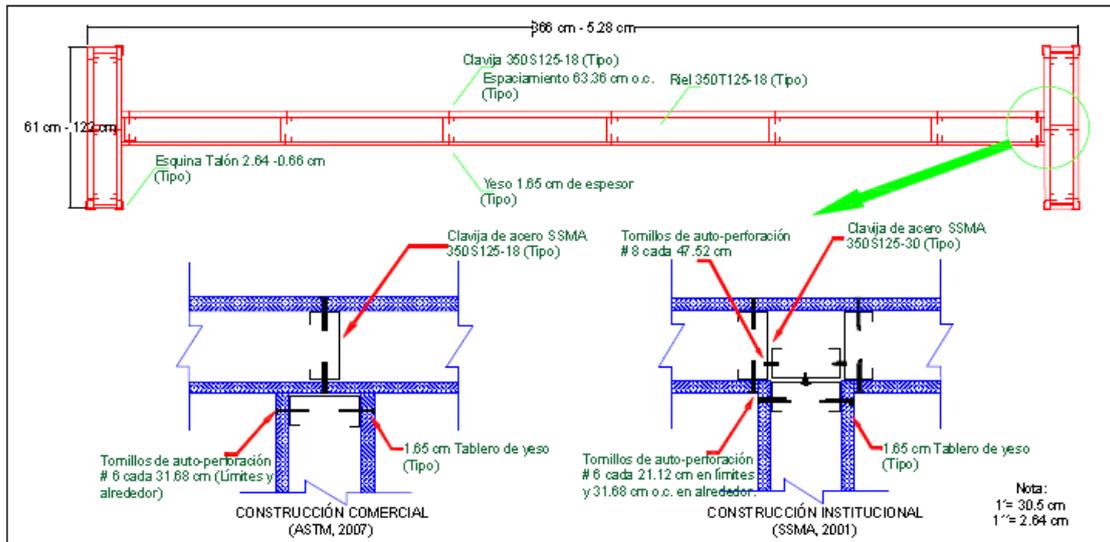


Figura 10. Detalles constructivos de las paredes con Gypsum. Fuente: Filiatrault [10]

En la construcción de las paredes con Gypsum efectuadas en el Bloque Estructural uno de la Facultad de Informática, se utilizó perfiles de tol en forma de "G" de 0.6 mm de espesor tal como se aprecia en la imagen "a" de Figura 11, separados cada 41 cm, es decir menor a los 60 cm permitidos. El espaciamiento se ve en la imagen "b".



Figura 11. Colocación de estructura de Gypsum: a) elementos verticales con perfiles G en tol de 1 mm, de espesor; b) Espaciamiento de 41 cm

Para disminuir la longitud de pandeo de los elementos verticales se decidió colocar un elemento horizontal a la altura del borde superior de la puerta con lo que también se tendrá un sitio donde pueden ser colocados los cuadros (ver Figura 12a) en que además se muestra que las instalaciones eléctricas van en la mitad de las planchas de Gypsum. Finalmente, en la Figura 12b se intenta presentar que la estructura que está inmersa, va unida a un riel en forma de "C" por su parte superior e inferior y que ésta va sujeta a las losas con pernos con tacos, de esta manera se tiene una unión adecuada. La longitud máxima de una pared con Gypsum es de 12 pies y 2 pulgadas, si se tiene paredes de mayor longitud se debe colocar una junta de construcción.



Figura 12. Colocación de estructura de Gypsum: a) elementos horizontales e instalaciones eléctricas; b) pernos de sujeción en la losa colocados con tacos.

4. ANÁLISIS SÍSMICO DE BLOQUE ESTRUCTURAL

En la Figura 4 correspondiente a la vista estructural de la primera planta de Bloque Estructural uno de la Facultad de Informática, se aprecia que dicha planta tiende a ser un cuadrado, lo que es favorable desde el punto de vista estructural. Se realizó un análisis espectral, considerando cada una de las componentes del espectro de respuesta elástico del terremoto del 16 de abril de 2016, obtenido en Manta.

En la Figura 13 se presenta un pórtico en sentido longitudinal, y en la Figura 14 otro pórtico en sentido transversal, correspondiéndose en la realidad a 4 pórticos ya que se repiten.

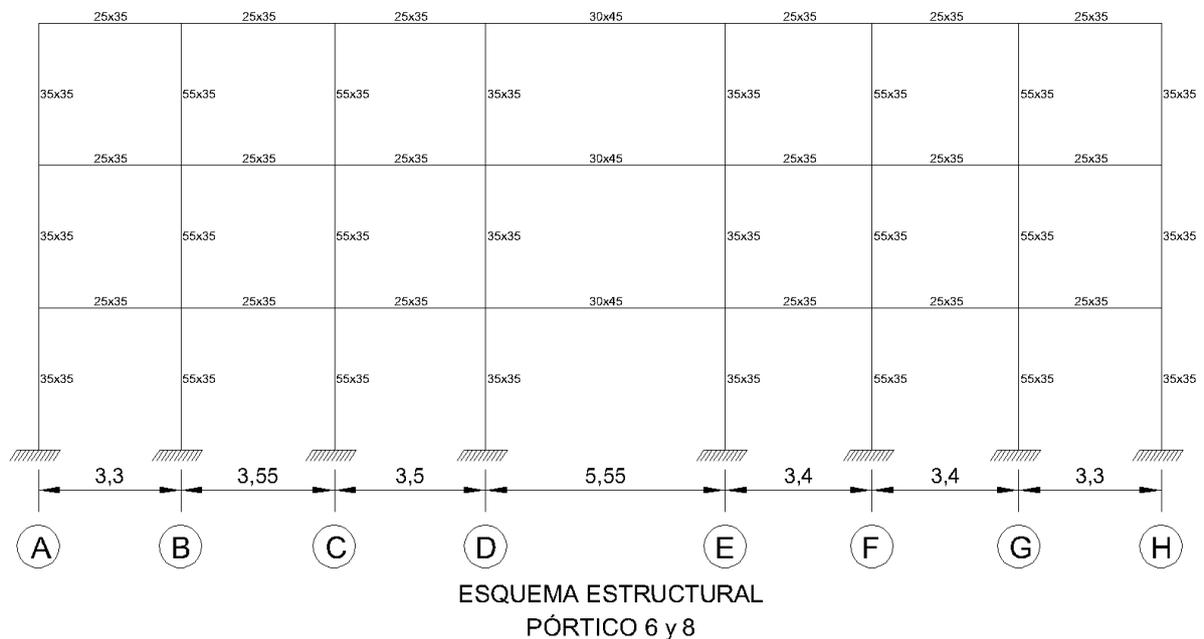


Figura 13. Pórticos en sentido longitudinal (6 y 8)

Se observa que las dimensiones de las columnas se mantienen en todos los pisos, en el caso de las columnas, son mayores a la dimensión mínima que recomienda el ACI 318 [11] que establece en 30 cm, y en el caso de las vigas cumple con la dimensión mínima de 25 cm. Por otro lado no existe problema de vigas cortas ya que la luz libre es mayor a 4 veces el peralte

de las vigas. La altura de cada entrepiso es de 3,30 m; la losa de los pisos 1 y 2, es alivianada de 20 cm de alto.

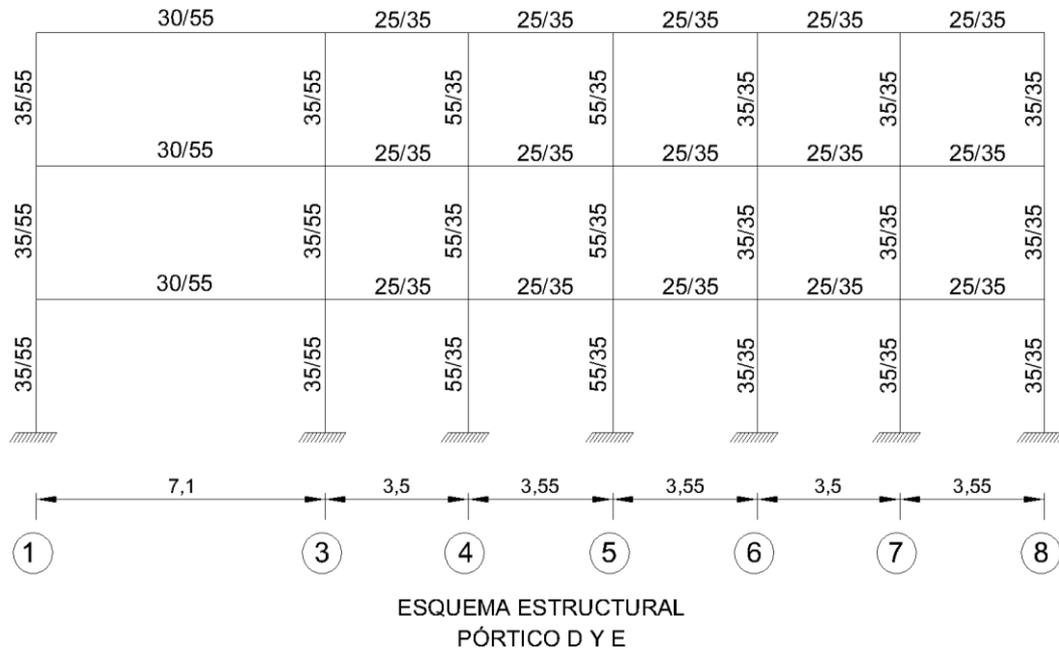


Figura 14. Pórticos en sentido transversal (D y E).

En la Tabla 1, se desglosan los desplazamientos laterales q y derivas de piso γ en porcentaje ante cada una de las componentes de movimiento del suelo. En la última fila se indica el período fundamental. La deriva máxima encontrada es 0,95% en el segundo piso, lugar donde se ocasionó más daño y es en el sentido transversal, aunque en el sentido longitudinal la deriva es un poco menor.

Tabla 1. Resultados del análisis espectral de estructura original ante terremoto de Manta de 2016.

Piso	Sentido Transversal				Sentido Longitudinal			
	Componente EW		Componente NS		Componente EW		Componente NS	
	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)
1	1,73	0,52	2,38	0,72	1,43	0,43	2,25	0,68
2	3,99	0,69	5,53	0,95	3,32	0,57	5,24	0,91
3	5,42	0,43	7,51	0,60	4,51	0,36	7,12	0,57
T (s)	0.51							

En la Figura 15 se presentan las derivas de cada uno de los pisos, se destaca que el sentido transversal es paralelo a los pórticos identificados por letras, y el sentido longitudinal a los pórticos identificados por números.

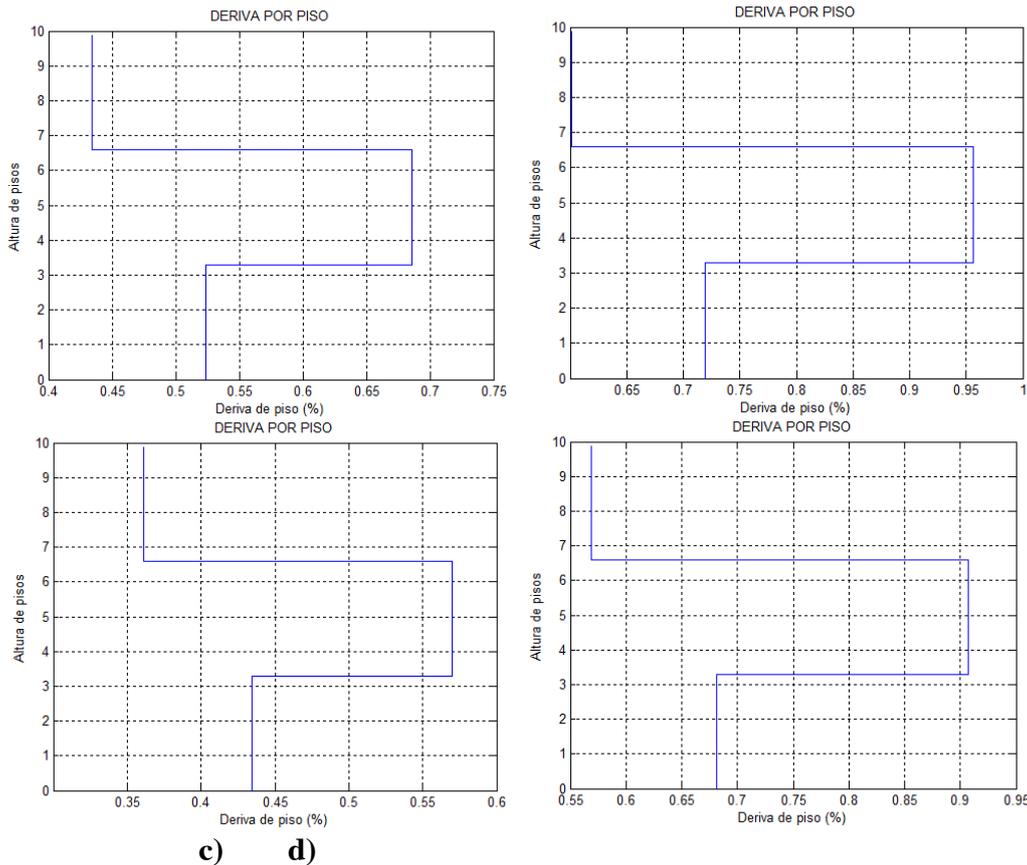


Figura 15. Derivas de piso de estructura original: a) Sentido transversal ante componente EW; b) sentido transversal ante componente NS; c) sentido longitudinal ante componente EW; d) sentido longitudinal ante componente NS.

Artículo de Investigación

4.1. Análisis con paredes livianas

El período fundamental de la estructura rehabilitada con paredes de Gypsum es de 0,47 s, es decir, se rigidizó ya que la masa es menor. Las respuestas máximas probables encontradas del análisis sísmico ante las dos componentes del espectro hallado en Manta se indica en la Tabla 2 y en la Figura 16, donde se muestran las derivas de cada uno de los pisos. La deriva máxima de piso disminuyó a 0,90%.

Tabla 2. Resultados del análisis espectral de estructura con paredes de Gypsum ante terremoto en Manta. 2016

Piso	Sentido Transversal				Sentido Longitudinal			
	Componente EW		Componente NS		Componente EW		Componente NS	
	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)
1	1,42	0,43	2,22	0,67	1,24	0,37	1,98	0,60
2	3,30	0,57	5,22	0,90	2,88	0,50	4,65	0,80
3	4,54	0,37	7,17	0,59	3,96	0,33	6,38	0,53
T (s)	0,47							

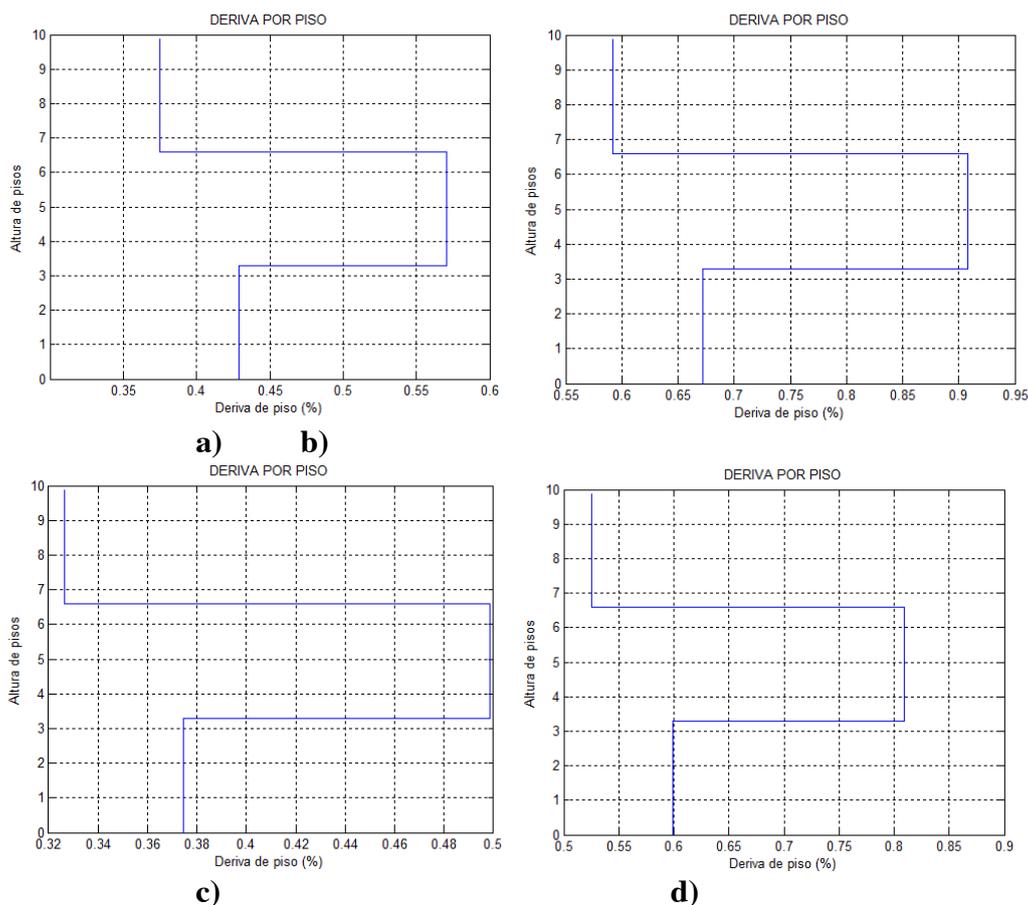


Figura 16. Derivas de piso de estructura con paredes de Gypsum: a) sentido transversal ante componente EW; b) sentido transversal ante componente NS; c) sentido longitudinal ante componente EW; d) sentido longitudinal ante componente NS.

5. CONCLUSIONES

Una de las lecciones dejadas por el terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7,8 en Ecuador fue que las paredes construidas a base de ladrillos o bloques explotan durante un terremoto y pueden causar daño a las personas, lo que no sucede cuando se emplea materiales livianos como el Gypsum. Las paredes livianas tuvieron un mejor comportamiento durante el evento sísmico, por lo que se decidió reconstruir las paredes en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí con Gypsum.

El primer edificio considerado para la reconstrucción fue el de la Facultad de Informática, que se ha analizado su comportamiento durante el terremoto en el presente artículo, observándose una deriva máxima inelástica de 0,95 % sin tener daño en los elementos estructurales, pero una avería que va de moderado a severo en la mampostería. Al cambiar el material de las paredes a Gypsum, se rigidiza la estructura y la deriva máxima inelástica ante el terremoto del 16 de abril de 2016 llegó a 0,90 %. Por lo tanto, en este estudio se ha visto que derivas de piso inelásticas menores a 1% no presentan daño en los elementos estructurales pero si un daño en

la mampostería que va de moderado a severo.

6. REFERENCIAS

- [1] J. Nocquet, P. Mothes, y A. Alvarado “Geodesia, geodinámica y nido sísmico en Ecuador”. En: *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador desde la Costa Continental hasta las Islas Galápagos*. Editores: Collot J., Sallares V, 29-45. ISBN 978-9978-92-737-3. 2009
- [2] J. Collot, F. Michaud, A. Alvarado, B. Marcaillou, M. Sosson, G. Ratzov, y A. Pazmiño “Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: Implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Costa Continental hasta las Islas Galápagos” En: *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador desde la Costa Continental hasta las Islas Galápagos*. Editores: Collot, Sallares, Pazmiño, pp. 47-74. 2009
- [3] R. Trenkamp, J. Kellogg, J. Freymuller, H. Mora “Wed plate margin deformation South Central America and Northwestern South America, CASA GPS observations”, *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 157-171. 2002
- [4] NEC-SE-DS, *Norma Ecuatoriana de la Construcción*, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI. 2015
- [5] J. C. Vielma, M. Cando, “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras de acero residenciales del Ecuador” IS-70, Barcelona, España. 2015
- [6] J. C. Vielma, A. Barbat y S. Oller, Proyecto sismorresistente de estructuras porticadas, IS-65, ISBN: 978-84-95999-60-3. Barcelona, España. 2011
- [7] A. Barbat, S. Oller y J. C. Vielma, Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02, IS-56, Barcelona España. 2005
- [8] R. Aguiar, F. Del Castillo, “Comportamiento de Edificio Fortaleza ubicado en Manta durante el terremoto del 16 de abril de 2016” Consultoría, 13 p. 2016
- [9] R. Aguiar, M. Romo, M. Torres y P. Caiza, El sismo de Bahía, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 125 p. Quito, Ecuador, 2008.
- [10] A. Filiatrault, Seismic design and analysis of nonstructural components, Chapter 5 Seismic performance of cold-formed steel framed Gypsum partition walls. Material entregado en el XX Curso Internacional de Estructuras realizado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, en Ecuador, 2015
- [11] ACI 318, Requisitos de reglamento para Concreto Estructural (*ACI 318SUS-14*), American Concrete Institute, Versión en español, 592 p. 2014