

REHABILITACIÓN DE EDIFICIO DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI AFECTADA POR EL TERREMOTO DE 2016

BUILDING'S REHABILITATION OF THE MEDICINE'S FACULTY IN THE UNIVERSITY "LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ" AFFECTED BY THE EARTHQUAKE IN THE 2016

Roberto Aguiar

Departamento de Ciencias de la Tierra y la
Construcción
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los
Chillos.
Correo Electrónico: rraguiar@espe.edu.ec

Carlos Cárdenas

Departamento de Ciencias de la Tierra y la
Construcción
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los
Chillos.
Correo Electrónico: andycar270@gmail.com

Stephania Empuño

Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Av. Circunvalación - Vía a San Mateo
Correo Electrónico: stephaniia85@gmail.com

Fernando Del Castillo

Centro de Investigaciones Científicas en
Ingeniería Sísmica
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Av. Circunvalación - Vía a San Mateo
Correo Electrónico:

Daniela Vera

Centro de Investigaciones Científicas en
Ingeniería Sísmica
Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de
Ingeniería
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Av. Circunvalación - Vía a San Mateo
Correo Electrónico: Daniela.vera.ch@gmail.com

RESUMEN

La Ingeniería Sísmica se soporta en tres pilares que son: el sismo, el suelo en el que se encuentra la edificación y la concepción estructural. En el caso del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, que tiene más de veinte años de existencia, el sismo de diseño fue el recomendado por el Código Ecuatoriano de la Construcción de 1977; tiene dos bloques estructurales y uno de ellos se encuentra muy próxima a una quebrada; la estructura responde al nivel de conocimientos de la época en que se diseñaba sin tener muy en cuenta que es fundamental que un eje de columnas continúe desde la planta baja a la última en la misma vertical, que es mejor mantener la misma sección de vigas en un piso y tener vigas descolgadas en los dos sentidos. Los tres últimos puntos indicados adolece el edificio de la Facultad de Medicina y lo convierte en vulnerable ante la acción de los sismos.

Los dos Bloques Estructurales de la Facultad de Medicina se encuentran separados por una junta; en primera instancia se creía que el único bloque afectado era el Bloque 2, el cual se encuentra de lado derecho si nos colocamos frente a esta Facultad, y por esto no se había tomado en cuenta al Bloque 1. Hasta el momento en que las paredes fueron derrumbadas se pudo notar el daño que ocasionó el terremoto del 16 de Abril en la estructura del Bloque 1, dando paso a hacer el análisis necesario.

Dos fueron las causas del daño registrado en algunas columnas; la primera tiene que ver con un desplazamiento de uno de los bloques estructurales por encontrarse muy próxima a una quebrada. Este tema no se aborda en el presente artículo y debe ser resuelto por un especialista en suelos.

La segunda causa está relacionada con la falla de **columna corta** que causó un daño apreciable en 3 columnas en el Bloque Estructural 1 y en dos columnas del Boque Estructural 2 y **se resuelve el problema encamisando las columnas falladas y convirtiendo a todas las columnas cortas en largas.**

Se realizó el análisis sísmico de la estructura reforzada considerando el espectro obtenido en la ciudad de Manta, del terremoto del 16 de abril de 2016, que tuvo una magnitud de 7.8. Este espectro presenta ordenadas más altas que el espectro que reporta la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. Se realizó considerando mampostería pesada y con mampostería liviana; la mejor opción es la última.

El reforzamiento propuesto es para que los Bloques Estructurales de la Facultad de Medicina sean operativos y puedan trabajar con seguridad. De registrarse un terremoto similar al de 2016, la estructura va a responder adecuadamente pero existirá daño en elementos no estructurales, para minimizar este daño es importante encamisar todas las columnas perimetrales y convertirlas en columnas largas. Además de ello se recomienda colocar disipadores de energía.

Se destaca que la rehabilitación de los dos Bloques Estructurales de la Facultad de Medicina debe hacerse con paredes livianas y flexibles; con Gypsum.

Palabras claves: Encamisado de columnas; columna corta.

ABSTRACT

Seismic Engineering is based on three pillars: the earthquake, the ground on which the building and structural design is. In the case of the building of the Faculty of Medicine at the university "Laica Eloy Alfaro de Manabí", which has more than twenty years of existence, the design's earthquake was recommended by the Ecuadorian Code of Construction 1977; It has two building blocks and one of them is very close to a stream; the structure responds to the level of knowledge in the time when it was being designed without taking into account that it is essential that an axis of columns continue from the ground floor to the last on the same vertical, it is better to keep the same section beams in a floor and have

dropped beams in both directions. The last three points indicated vitiates the building of the Faculty of Medicine and makes it vulnerable to the action of earthquakes.

The two building blocks of the Faculty of Medicine are separated by a board; at first it was believed that the only affected block was Block 2, which is of right if we stand in front of this faculty, and therefore had not taken into account in Block 1. Until the walls were collapsed could notice the damage caused by the earthquake of April 16 in the structure of Block 1, giving way to do the necessary analysis.

There were two causes of damage recorded in some columns; The first has to do with a shift of one of the building blocks for its proximity to a creek. This issue is not addressed in this article and should be resolved by a soil specialist.

The second cause is related to the failure of short column that caused appreciable damage in 3 columns in the Structural Block 1 and two columns of Structural Block 2 and the problem is solved by sleeving the failed columns and converting all short columns in long.

It was necessary to check with a seismic analysis of the structure that was reinforced considering the spectrum obtained in the city of Manta, in the earthquake of April 16, 2016, which had a magnitude of 7.8. This resents spectrum ordinates higher than the range reported by the Ecuadorian Standard Construction NEC-15. It was made considering heavy and light masonry; the best choice is the latter.

The proposed reinforcement is for the building blocks of the Faculty of Medicine can be operational and can work safely. If an earthquake similar at the 2016 register, the structure will respond appropriately but there will be damage to nonstructural elements to minimize this damage is important sleeving all perimeter columns and turn them into long columns. Furthermore it is recommended to place dissipating energy.

It is emphasized that the rehabilitation of the two building blocks of the Faculty of Medicine should be done with light and flexible walls; with Gypsum.

Keywords: Sheathing of columns; short column.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La Facultad de Medicina de la ULEAM, está conformada por dos Cuerpos Estructurales de hormigón armado, de tres pisos, los mismos que se observan en la figura 1; el Bloque de la Izquierda tiene mayor frente que el Bloque de la derecha; en la segunda columna que se observa a la derecha se tiene una junta de construcción de 5 cm. Se observa que la mayor parte de la fachada tiene el problema de *columna corta*, sin embargo de ello no presentan daño por efecto del terremoto del 16 de abril de 2016.



Figura 1 Fachada Principal de la Facultad de Medicina

En la figura 2 se presenta la distribución en planta de los dos Bloques Estructurales de la Facultad de Medicina, se observa la gran cantidad de columnas que tiene la construcción; con luces que se encuentran alrededor de los 3.5 m, (en promedio). Esto es muy positivo debido a que mientras más ejes resistentes tiene una construcción, se tendrá más redundancia en la misma.

Las vigas, por ejemplo del pórtico F, son de 30/30 cm, de los ejes 4 a 6, y del eje 4 al 1 la viga es de 30/60. Por otra parte solo existen vigas descolgadas en el sentido de los pórticos identificados por letras.

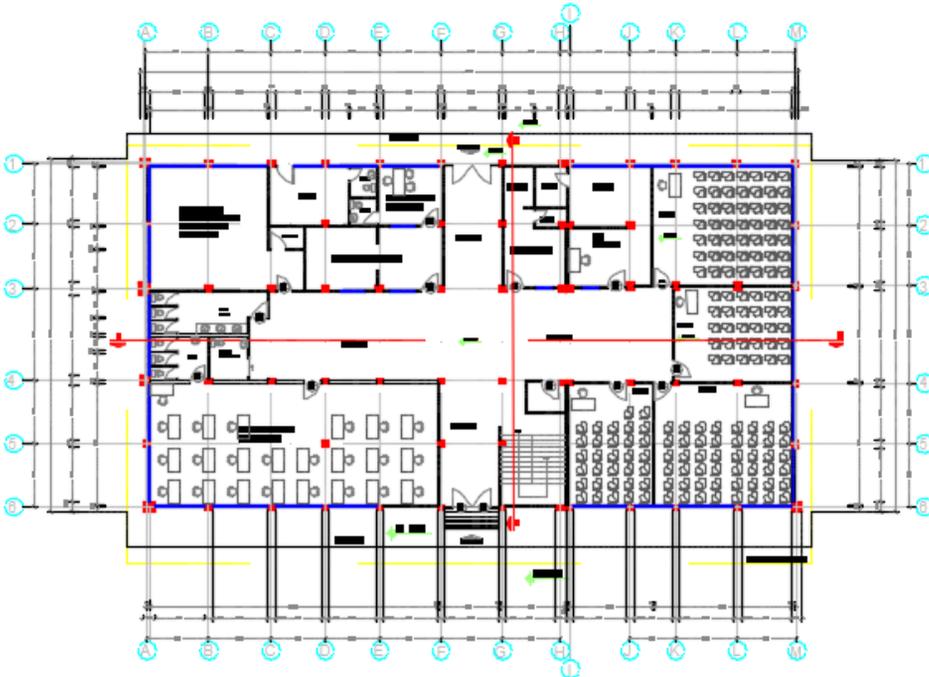


Figura 2 Planta baja de la Facultad de Medicina

2. DAÑOS REGISTRADOS

Si la estructura habría estado sobre un suelo que no tiene problemas de deslizamiento, no tenía ningún daño, durante el terremoto del 16 de abril de 2016. En la figura 3, a la izquierda se observa la fachada que presentó falla de *columna corta* y al fondo se observa el parqueadero. A la derecha de esta figura se ve que la vereda del parqueadero tiene un desplazamiento vertical considerable; por información se sabe que esta área ya ha tenido desplazamientos anteriores del suelo y unos días antes del terremoto las aceras y bordillos fueron reparadas y después del terremoto quedaron como se aprecia en la figura 3.



Figura 3 Desplazamiento del suelo en el sector próximo a la quebrada

En la figura 4 se presentan las tres columnas que tienen fisuras en el Bloque 1, por problemas de columna corta como se mencionó anteriormente, que son las A4 y A3 en planta baja, y la D4 en el primer piso.



Figura 4 a) Problema de columna corta en columnas A3, de planta baja.
 b) Problema de columna de corta en columna A4, de planta baja.
 c) Problema de fisuras en columna D4, de primer piso.

En la figura 5 se indican las dos columnas que ingresaron al rango no lineal y son las M3 y M4; por problemas de *columna corta*, aunque desde un punto de vista riguroso no se tiene *columna corta* debido a que la altura libre de la

ventana es 0.80 m, y la altura total hasta la losa es de 2.80 m, de tal manera que la relación entre estas dos alturas es 0.29. Para ser *columna corta* la relación debe ser menor a 0.25.



Figura 5 Problema de columna corta en columnas M3 y M4, de planta baja.

El Bloque 2 se desplazó en forma oblicua hacia la quebrada, en este desplazamiento la mampostería que se encuentra en la dirección perpendicular a la fachada del eje M, se convirtió en una carga lateral extra a las columnas M3 y M4, que terminaron con fallas de corte.

Por lo tanto, en la rehabilitación de las columnas se debe separar de las 3 paredes que la rodean, mediante la colocación de una junta en base a espuma flex. En la reconstrucción se tiene previsto colocar paredes de Gypsum, con este sistema constructivo no se requiere la separación de la columna, debido a que la pared estará conformada por una material liviano y flexible.

En la figura 6 se observa rajaduras en la planta baja de algunas paredes, que atraviesan todo el ancho de la pared. Se aprecia además que son de ladrillo macizo. La gran lección dejada de este terremoto, es que esta tipología estructural tuvo demasiado daño, en contraste con el buen comportamiento de paredes de Gypsum. (Aguiar, 2016,1).



Figura 6 Rajaduras en paredes de la planta baja

Las paredes con ladrillo o bloques, son muy pesadas y rígidas en comparación con las paredes de Gypsum que son livianas y flexibles. El peso de las primeras incluyendo enlucidos está alrededor de los 250 kg/m²; en contraste

con las segundas cuyo peso se encuentra por los 40 kg/m². La diferencia de pesos es notable y un principio de la Ingeniería sísmo resistente es que mientras más liviana sea una construcción mejor comportamiento sísmico va a tener.



Figura 7 Caída de plafones en el piso superior de la Facultad de Medicina

Se denomina plafón a un tablero que sirve para separar zonas, en el caso de la figura 7 para ocultar la cubierta metálica del tercer piso. Estos plafones se han caído debido a que no estuvieron lo suficientemente sustentados a los elementos de soporte. Es daño menor que será reparado.



Figura 8 Mampara de vidrio con daño, construida una parte sobre junta de construcción.

Algunos vidrios de la mampara que se indica en la figura 8 están rotos y uno de sus perfiles se desprendió de la pared. Esta mampara fue construida en el borde mismo de una junta de construcción y en otra parte sobre la junta, de tal manera que durante el terremoto una parte se desplazó y otra quedó fija.

3. ENCAMISADO DE COLUMNAS

En los dos primeros pisos, las losas son de hormigón armado y en el tercer piso es una cubierta en base a una celosía de lámina delgada. Por las luces que son cortas y la época en que se construyó se supone que las losas son alivianadas de 20 cm, de peralte.

El problema que se tuvo en las *columnas cortas* es de corte, por lo que se

decidió conferirle mayor capacidad para resistir el cortante, mediante un encamisado que se describe a continuación. Se destaca que las columnas no tienen problemas a flexo compresión que obliguen a llevar la armadura hasta los plintos y reforzar los plintos. El problema es de corte localizado y para ello se reforzará de la siguiente manera.

3.1 Procedimiento constructivo del encamisado

Lo primero que se debe hacer, es apuntalar bien las columnas dañadas con un puntales metálicos cada 40 cm. en dos direcciones en toda el área cooperante. Posteriormente eliminar 50 cm, de longitud de las tres paredes que llegan a la columna afectada, para poder trabajar.

Ahora, se debe retirar la parte afectada del hormigón que se halla suelto y limpiar bien la superficie.

Después se procederá a quitar todo el recubrimiento de los cuatro lados de la columna de 40/40, se debe dejar solo el núcleo como se observa en la figura 9, con esto la columna pasa a ser de 30/30.

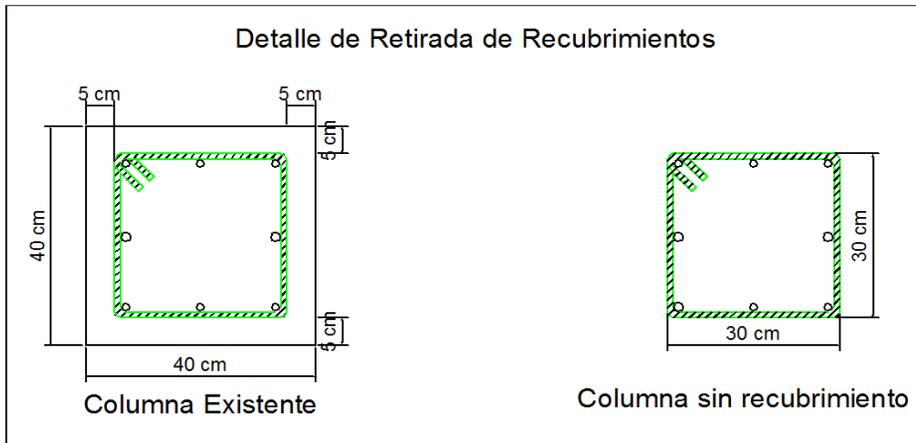


Figura 9 Retirada de recubrimiento de las columnas.

Una vez que se tiene solo el núcleo de hormigón, se procede a colocar la armadura vertical, la misma que irá anclada a la viga superior y a la cadena inferior. No es necesario que atraviese la cadena o la viga, **debido a que el problema es de corte. Solo se desea conferir una mayor capacidad al corte y eliminar el problema de columna corta**

En la figura 10 se indica la forma como proceder para colocar el nuevo refuerzo vertical y horizontal, destacando que son 2 estribos tipo U en cada fila. Cabe recalcar que en la columna D4 del primer piso, se tiene como opción el uso de FRP para su reforzamiento

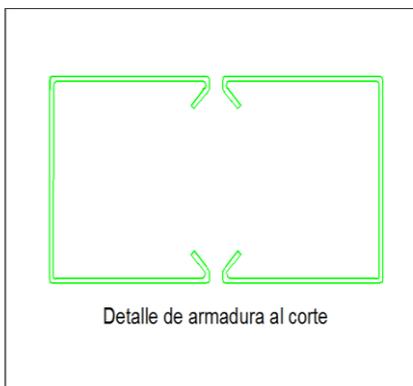
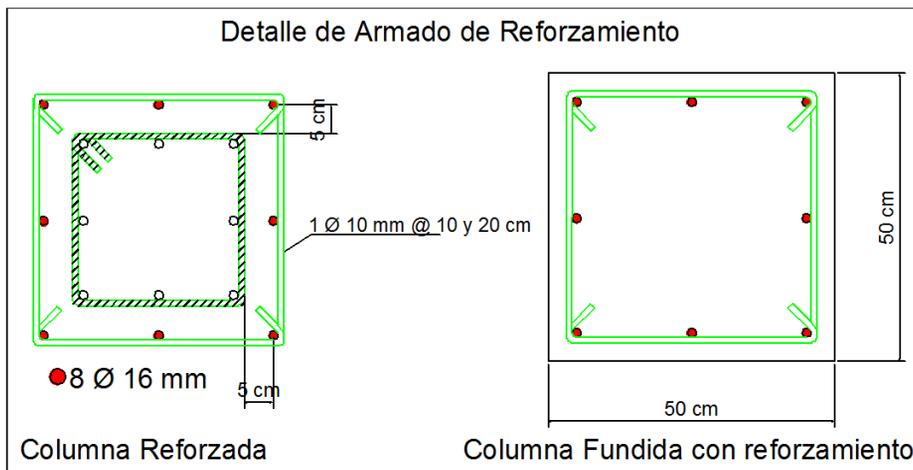


Figura 10 Colocación de armadura vertical a 5 cm, de la cara del núcleo de columna y estribos individuales en cada una de las caras.

El espesor del hormigón en cada una de sus caras es de 10 cm, la armadura va en la mitad. Con el encamisado la columna pasa a tener una sección transversal de 50/50.

Para que trabaje en forma monolítica el hormigón antiguo con el nuevo, se debe colocar conectores de corte, cómo se indica en la figura 11. Los conectores tiene una forma de "C", 10 cm, deben anclarse en el hormigón viejo, para ello se hace una perforación con taladro ligeramente de mayor diámetro, se coloca el conector y se rellena con epóxico.

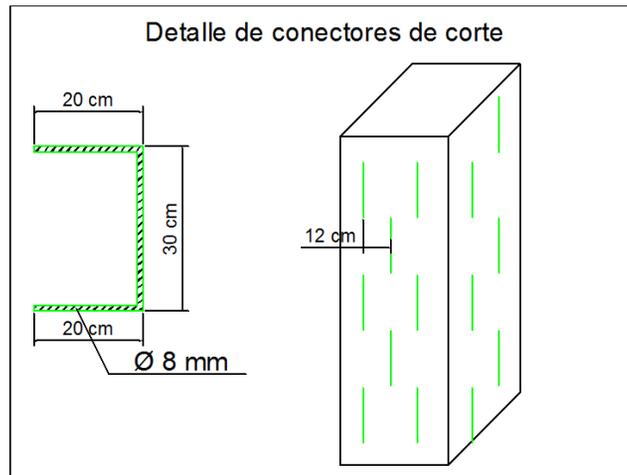


Figura 11 Conectores de corte a colocar en cuatro caras.

Para la colocación del hormigón se recomienda tener listos los tableros para poder fundir hasta la mitad en una primera etapa, una vez endurecido el hormigón se colocan los tableros para el vaciado del hormigón en la parte superior, se recomienda realizar una perforación en la losa para facilidad del hormigonado.

3.2 Inercia y área

Se va a realizar el análisis sísmico con dos modelos; el primero que considera que el núcleo del hormigón existente (30/30 o 25/25 según corresponda) ya no aporta a la rigidez y resistencia de la estructura. De tal manera que con el encamisado se tiene una columna hueca de 50/50 cm, en toda su longitud de 10 cm, de ancho.

El otro modelo considera que solo en la parte superior, la columna es hueca pero en el centro de luz y parte inferior, que no sufrieron daño; la columna no es hueca tiene una sección de 50/50 y de 45/45 cm. Para el primer caso el área y la inercia valen:

- **Inercia y área inicial**

- **Columna de 40/40**

$$I_g = \frac{0.4 * 0.4^3}{12} = 0.0021 \text{ m}^4$$

$$A_g = 0.4 * 0.4 = 0.16 \text{ m}^2$$

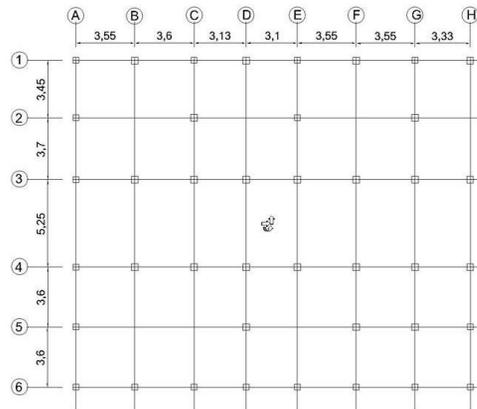
- Inercia y área de encamisado

$$I_g^* = \left(\frac{0.10 * 0.5^3}{12} \right) * 2 + \left(\frac{0.3 * 0.1^3}{12} \right) * 2 + (0.20^2 + 0.3 * 0.1) * 2 = 0.0045 m^4$$

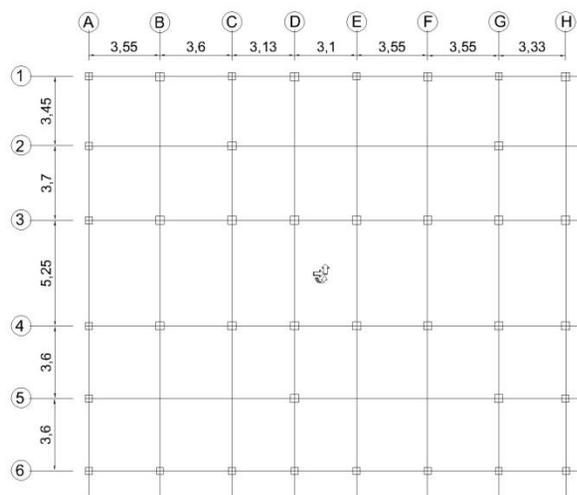
$$A_g^* = 0.5 * 0.5 - 0.3 * 0.3 = 0.16 m^2$$

4. MATRIZ DE RIGIDEZ EN COORDENADAS DE PISO

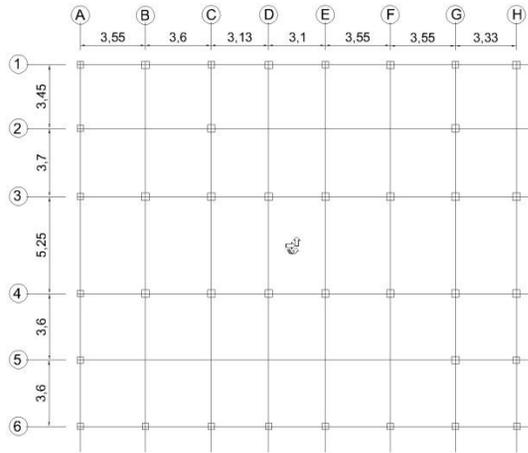
Los dos Bloques Estructurales, cuyas plantas de columnas de la planta baja, primer piso y segundo piso, se indican en la figura 12 y figura 13 son estructuras irregulares en planta y elevación, debido a que algunos ejes de columnas no continúan en los pisos superiores como se aprecia en el pórtico 2 de ambos bloques, figura 14 b.



a)

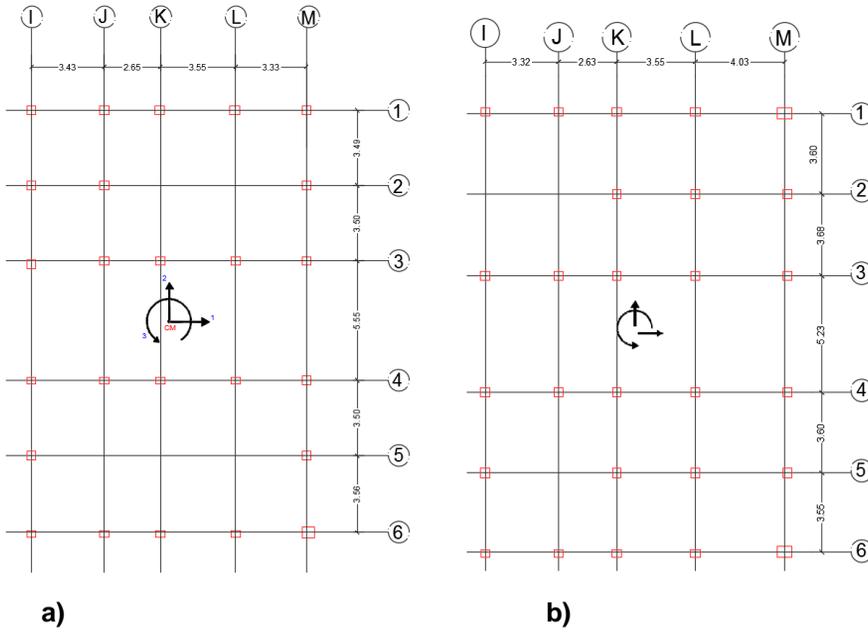


b)



c)

Figura 12 a) Planta de columnas, planta baja, Bloque 1 b) Planta de columnas, primer piso, Bloque 1 c) Planta de columnas, segundo piso, Bloque 1



a)

b)

Figura 13 a) Planta de columnas, planta baja, Bloque 2 b) Primer y segundo piso, Bloque 2

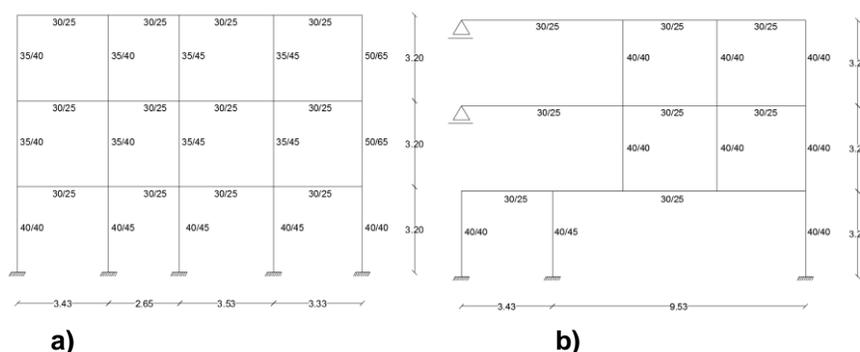


Figura 14 a) Pórtico 1, Bloque 2; b) pórtico 2, Bloque 2

4.1 Matriz de rigidez lateral de Pórticos en sentido X del Bloque 2

En el Bloque Estructural 1 se puede apreciar que las columnas exteriores tienen secciones de 35/35 en el lado izquierdo y de 40/40 en el lado derecho, el cual es el que se encuentra a lado del Bloque 2. La matriz de rigidez lateral del pórtico 1 es:

$$K_1 \begin{bmatrix} 17215 & -9885 & 2358 \\ -9885 & 11979 & -5207 \\ 2358 & -5207 & 3326 \end{bmatrix}$$

En la figura 14 a) se aprecia que una de las columnas exteriores es de 40/40 cm, en la planta baja y en la planta alta es de 50/65. Las matrices de rigidez lateral de los pórticos 1 y 2, son:

$$K_1 = \begin{bmatrix} 17710 & -11096 & 3007 \\ -11096 & 14181 & -6251 \\ 3007 & -6251 & 3724 \end{bmatrix} \quad K_2 = \begin{bmatrix} 5176.1 & -3152.1 & 1000.7 \\ -3152.1 & 4886.4 & -2214.2 \\ 1000.7 & -2214.2 & 1357.9 \end{bmatrix}$$

Las columnas exteriores de los pórticos 3 y 4 fueron encamisadas, tanto en el Bloque 1 como en el Bloque 2, por lo que su matriz de rigidez se indica posteriormente. En la figura 13, se indica la geometría de los pórticos 5 y 6; se observa que en la planta baja del Pórtico 5 se tiene una luz de 12.89 m; ventajosamente los pórticos 4 y 5 se encuentran a menos de 4.0 m.

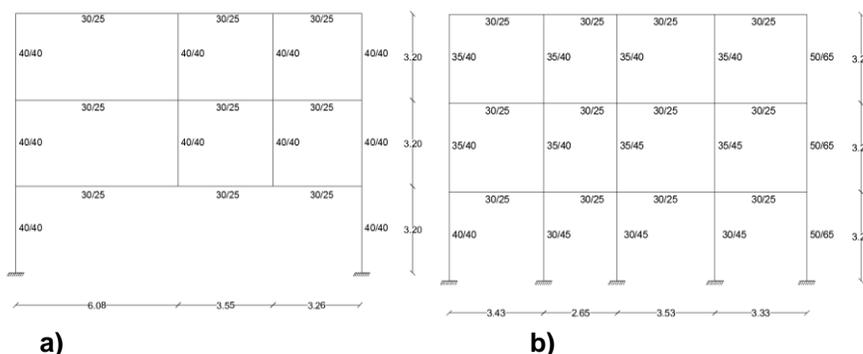


Figura 15 a) Pórtico 5; b) Pórtico 6

Las matrices de rigidez lateral de los pórticos 5 y 6, son las siguientes.

$$\mathbf{K}_5 = \begin{bmatrix} 6169.7 & -4597.9 & 1346.9 \\ -4597.9 & 6572.5 & -2290.6 \\ 1346.9 & -2990.6 & 1798.6 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_6 = \begin{bmatrix} 23920 & -13850 & 3437 \\ -13850 & 15692 & -6487 \\ 3437 & -6487 & 3761 \end{bmatrix}$$

Las matrices de rigidez lateral de los pórticos exteriores son mayores a las de los pórticos interiores, esto es positivo desde el punto de vista de torsión. Aguiar (2012, 2014).

4.2 Matriz de rigidez en Pórticos en encamisados del Bloque 2

En la figura 14, con una línea roja, se identifica las columnas que han sido encamisadas y cuya área e inercia a flexión son: $A = 0.16 \text{ m}^2$; $I = 0.0045 \text{ m}^4$. Los pórticos encamisados son el 3 y 4; tienen la misma geometría, por lo que la matriz de rigidez lateral es la misma

$$\mathbf{K}_3 = \mathbf{K}_4 = \begin{bmatrix} 16221 & -8519 & 1950 \\ -8519 & 9880 & -4231 \\ 1950 & -4231 & 2714 \end{bmatrix}$$

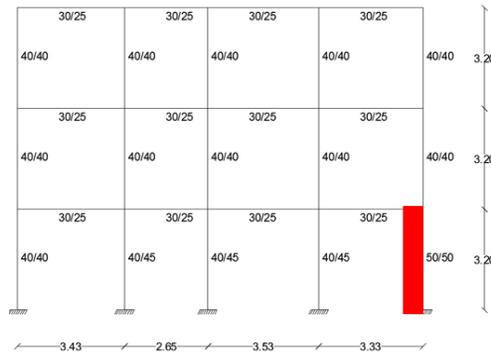


Figura 16 Pórtico 3 y Pórtico 4, son encamisados con hormigón armado

4.3 Matriz de rigidez lateral de Pórticos en sentido Y del Bloque 2

En la figura 15 se indica la geometría de los Pórticos en sentido Y, identificados con las letras: I, J. Se aprecia que algunas columnas de la planta baja tienen menores dimensiones que las del piso superior y que las vigas dentro de un mismo piso son de altura variable, para cubrir luces grandes son vigas de 30/65 cm, en cambio para luces cortas son de: 30/35 cm. Esto no se debe realizar debido a que al analizar un nudo se tendrá una viga fuerte por un lado y una viga débil por otro.

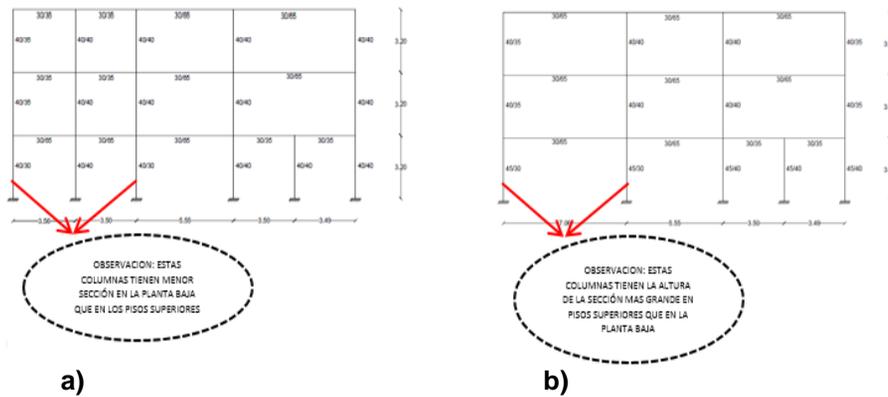


Figura 17. a) Pórtico I; b) Pórtico J

Las matrices de rigidez lateral de los pórticos I, J, son:

$$K_I = \begin{bmatrix} 13092 & -6933 & 1021 \\ -6933 & 11757 & -5588 \\ 1021 & -5588 & 4628 \end{bmatrix} \quad K_J = \begin{bmatrix} 11111 & -5586 & 640 \\ -5586 & 9554 & -4761 \\ 640 & -4761 & 4181 \end{bmatrix}$$

En la figura 16 a) se presenta la geometría del pórtico K que es igual a la del pórtico L, se indica las columnas que tienen menor sección transversal en el primer piso con relación al segundo piso. El pórtico M, es el que sufrió daño durante el terremoto del 16 de abril de 2016, y se ha encamisado, en esta primera fase del estudio solo las dos primeras columnas, para que esté operativo en el menor tiempo posible.

Las matrices de rigidez lateral de los pórticos K, L, M, son:

$$K_K = K_L = \begin{bmatrix} 11996 & -8480 & 1467 \\ -8480 & 14708 & -6664 \\ 1467 & -6664 & 5232 \end{bmatrix} \quad K_M = \begin{bmatrix} 27134 & -12468 & 2427 \\ -12468 & 16888 & -8249 \\ 2427 & -8249 & 6276 \end{bmatrix}$$

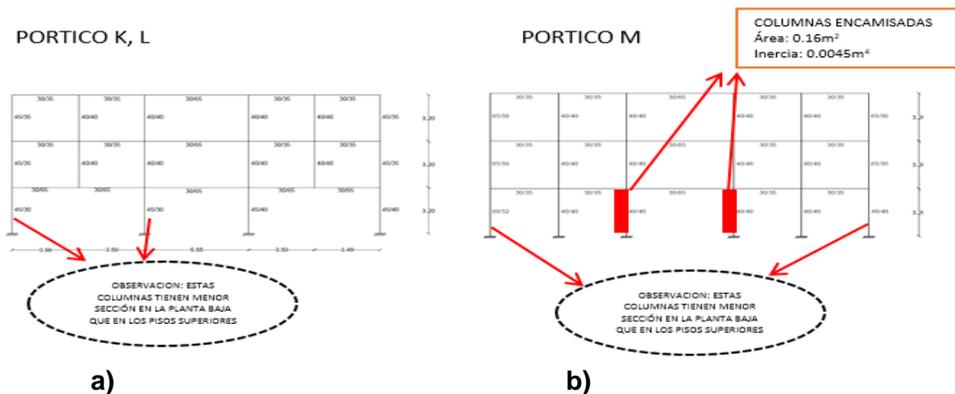


Figura 18. a) Pórtico K igual al Pórtico L; b) Pórtico M con encamisado de columnas que sufrieron daño en el terremoto del 16 de abril de 2016.

Debido a que el encamisado realizado en el Bloque 1 será igual al del Bloque 2, se omite la explicación del mismo.

4.4 Matriz de rigidez en coordenadas de piso del Bloque 2

Con el propósito de que la matriz de masas sea diagonal, las coordenadas de piso se consideraron en el Centro de Masa. Se calculó la matriz de rigidez con un modelo de losa rígida con tres grados de libertad por planta, dos componentes de desplazamiento según los ejes X, Y, y una rotación con respecto a un eje perpendicular a la losa. Las sub matrices de la matriz de rigidez, son:

$$\begin{aligned}
 K_{XX} &= \begin{bmatrix} 71900 & -37400 & 6400 \\ -37400 & 63200 & -30400 \\ 6400 & -30400 & 24500 \end{bmatrix} & K_{YY} &= \begin{bmatrix} 85400 & -49700 & 12700 \\ -49700 & 61100 & -26400 \\ 12700 & -26400 & 16100 \end{bmatrix} \\
 K_{\theta\theta} &= \begin{bmatrix} 6461800 & -3593300 & 878700 \\ -3593300 & 4725000 & -2120600 \\ 878700 & -2120600 & 1391700 \end{bmatrix} & K_{XY} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 K_{X\theta} &= \begin{bmatrix} 67600 & -12800 & 6900 \\ -12800 & 15800 & -11000 \\ 6900 & -11000 & 5700 \end{bmatrix} & K_{Y\theta} &= \begin{bmatrix} 65600 & -35200 & 6200 \\ -35200 & 24300 & -6700 \\ 6200 & -6700 & 2800 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

La matriz de rigidez en coordenadas de piso, es simétrica, razón por la cual solo se copian las sub matrices de la matriz triangular superior.

$$K_E = \begin{bmatrix} K_{XX} & K_{XY} & K_{X\theta} \\ & K_{YY} & K_{Y\theta} \\ & & K_{\theta\theta} \end{bmatrix}$$

5. PROPIEDADES DINÁMICAS

Las propiedades dinámicas de la estructura en que se han encamisado las columnas que sufrieron daño, se indican en el siguiente apartado pero antes se debe indicar las cargas consideradas y la matriz de masa.

5.1 Matriz de masas

La carga por metro cuadrado de la losa de 25 cm, alivianada en dos sentidos es de 432.80 kg/m²; la carga de la mampostería es de 270 kg/m² (sin considerar que se va a cambiar de material de las paredes); la carga de los acabados en 150 kg/m²; la carga de las vigas es 86.56 kg/m² y la carga de columnas es 150 kg/m². En los pisos 2 y 3 existen unos antepechos de hormigón armado cuya carga promedio es 50 kg/m².

La carga muerta utilizada en el Bloque 1 para el piso 1 y el piso 2 será $D = 1.02 \text{ T/m}^2$. En el tercer piso debido a la cubierta de acero de lámina se tendrá 1.13 T/m². La carga viva se tendrá un valor de $L = 0.25 \text{ T/m}^2$

Tabla 3 Períodos de vibración, de estructura con mampostería pesada y rígida

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.584 | 0.415 | 0.390 | 0.169 | 0.144 | 0.122 | 0.096 | 0.093 | 0.072 |

Tabla 4 Períodos de vibración, de estructura con mampostería liviana y flexible

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.550 | 0.387 | 0.366 | 0.159 | 0.134 | 0.114 | 0.089 | 0.084 | 0.065 |

6. MÉTODO ESPECTRAL

Se realiza el análisis sísmico de dos formas, la primera suponiendo que se reconstruye con paredes pesadas y rígidas (situación actual) y la segunda considerando que se lo hace con paredes livianas y flexibles.

La condición más desfavorable resulta, realizar el análisis sísmico para la componente N-S del terremoto del 16 de abril de 2016.

Se considera el sentido longitudinal a aquel que está en dirección de los pórticos identificados por letras y en sentido transversal al ortogonal, es decir al que está identificado por números.

Se trabaja con un factor de reducción de las fuerzas sísmicas $R = 4$ debido a la falta de continuidad en las columnas, además de ello se tiene que el piso inferior es más débil que el piso superior y la no existencia de vigas descolgadas en el sentido transversal.

6.1 Análisis sísmico con paredes pesadas

Las respuestas máximas probables en el centro de masas de cada uno de los pisos se indican en la tabla 6 y tabla 7. El significado de las variables es: q_{INE} el desplazamiento inelástico esperado; γ es la deriva de piso; F es la fuerza lateral en cada piso, en el centro de masas.

Tabla 6 Respuestas máximas probables, considerando paredes pesadas y rígidas. Bloque 1

| Piso | Análisis Sentido Longitudinal | | | Análisis Sentido Transversal | | |
|----------------|-------------------------------|------|------|------------------------------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| q_{INE} (cm) | 2.77 | 5.72 | 7.04 | 2.99 | 7.61 | 11.01 |
| γ (%) | 0.84 | 0.90 | 0.40 | 0.91 | 1.40 | 1.03 |

Tabla 7 Respuestas máximas probables, considerando paredes pesadas y rígidas. Bloque 2

| Piso | Análisis Sentido Longitudinal | | | Análisis Sentido Transversal | | |
|----------------|-------------------------------|------|------|------------------------------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| q_{INE} (cm) | 1.91 | 4.08 | 5.14 | 3.53 | 9.21 | 13.45 |
| γ (%) | 0.60 | 0.68 | 0.33 | 1.10 | 1.78 | 1.32 |

En la figura 19, se presenta las derivas de piso encontradas en el análisis sísmico en sentido longitudinal como transversal.

Con derivas de piso inelásticas mayores a 0.1% se presenta daño en la mampostería (Filiatrault, 2015). Con las derivas de piso encontradas, se justifica el gran daño que se tuvo en la mampostería de la estructura.

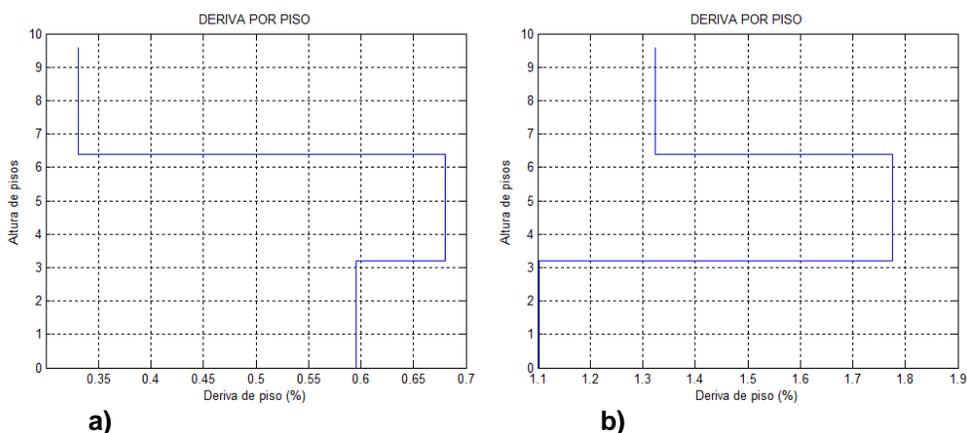


Figura 19. Derivas de piso: a) Sentido longitudinal; b) Sentido transversal. Bloque 2

6.2 Análisis sísmico con paredes livianas

En la tabla 8 se presentan los resultados del análisis sísmico considerando paredes livianas y en la figura 20 se indica la deriva de piso obtenidas en el Centro de Masas, para cuando el sismo actúa en dirección longitudinal y transversal.

Si se comparan los resultados de las tablas 5 y 6; y las figuras 21 y 22, se concluye que **al cambiar de paredes de pesadas a livianas se mejora notablemente el comportamiento sísmico de la estructura.**

Tabla 8 Respuestas máximas, considerando paredes livianas y flexibles. Bloque 1

| Piso | Análisis Sentido Longitudinal | | | Análisis Sentido Transversal | | |
|----------------|-------------------------------|------|-------|------------------------------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| q_{INE} (cm) | 2.88 | 6.05 | 7.60 | 2.69 | 7.01 | 10.30 |
| γ (%) | 0.87 | 0.96 | 0.447 | 0.82 | 1.31 | 1.00 |

Tabla 9 Respuestas máximas, considerando paredes livianas y flexibles. Bloque 2

| Piso | Análisis Sentido Longitudinal | | | Análisis Sentido Transversal | | |
|----------------|-------------------------------|------|------|------------------------------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| q_{INE} (cm) | 0.63 | 1.40 | 1.84 | 3.11 | 8.23 | 12.19 |
| γ (%) | 0.20 | 0.24 | 0.14 | 0.97 | 1.60 | 1.24 |

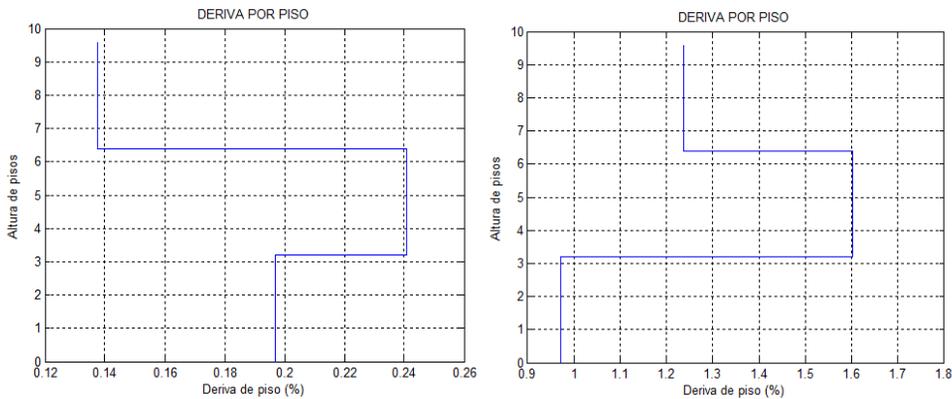


Figura 20. Derivas de piso considerando paredes livianas Bloque 2

7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Si bien es cierto, las estructuras donde funciona la Facultad de Medicina, responden al nivel de conocimientos de hace más de dos décadas, no es menos cierto que el daño que tuvieron dos *columnas cortas* fue debido al desplazamiento del suelo durante el terremoto del 16 de abril de 2016.

En este artículo se resuelve el problema de *columna corta* encamisando las columnas con hormigón armado y convirtiéndola en columna larga. De igual manera se mejora notablemente el comportamiento sísmico de los bloques estructurales cambiando las paredes que tienen daño, por paredes de Gypsum.

La solución que se presenta en este artículo es para dejar operativo a los dos Bloques Estructurales y que quienes ahí trabajan puedan hacerlo en un ambiente de completa seguridad, ya que la estructura es capaz de soportar un sismo de igual magnitud al del 16 de abril de 2016.

Es importante que se resuelva el problema de deslizamiento del suelo, con la participación de un especialista en la materia, este tema no fue abordado en este estudio.

REFERENCIAS

1. ACI 318S-14 (2014) *Requisitos de reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Comentario a requisitos de reglamento para Concreto Estructural (ACI 318RS-14). Preparado por el Comité ACI 318*, American Concrete Institute, 587 p.
2. Aguiar Roberto (2014), *Análisis Matricial de Estructuras*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH, cuarta edición, 676 p., Quito.
3. Aguiar Roberto (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, Segunda Edición, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, 416 p., Quito.

-
4. Aguiar Roberto (2010) *El mega sismo de Chile de 2010 y lecciones dejadas para el Ecuador*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, 173 p. Quito Ecuador.
 5. FEMA 306, (1998), *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings, Basic Procedures Manual*, Applied Technology Council (ATC-43 Project), Federal Emergency Management Agency, 270 p.
 6. Filiatrault A., (2015), *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.
 7. NEC-11, (2011) *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Cámara de la Construcción de Quito.
 8. NEC-15 (2015), *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS*, Ministerio de la Vivienda MIDUVI.