

**ANÁLISIS SÍSMICO ESPACIAL MODAL ESPECTRAL
DEL BLOQUE TRES DE LA FACULTAD DE
ADMINISTRACIÓN DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY
ALFARO DE MANABÍ AFECTADA POR EL
TERREMOTO DE 7.8 DEL 16 DE ABRIL DE 2016**

**SPECTRAL MODAL SPACE SEISMIC ANALYSIS OF
THE THIRD BLOCK OF THE FACULTY OF
ADMINISTRATION OF THE UNIVERSIDAD LAICA
"ELOY ALFARO" DE MANABI AFFECTED BY THE
EARTHQUAKE OF 7.8 FROM 16th APRIL 2016**

Roberto Aguiar ^(1,2), Adrián Mendoza ⁽³⁾, Andrés Salmerón ⁽³⁾

⁽¹⁾Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Av. Gral. Rumiñahui s/n. Valle de los Chillos, Sangolquí, Ecuador
P.O.BOX: 171-5-231B
rraguiar@espe.edu.ec

⁽²⁾Centro de Investigaciones Científicas en Ingeniería Sísmica
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

⁽³⁾Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Facultad de ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil
Ciudadela Universitaria-Vía a San Mateo
ecivil@uleam.edu.ec

RESUMEN

En este artículo se realiza un análisis sísmico modal espectral, en forma espacial del Bloque tres de la Facultad de Administración, ubicada en los predios de la Universidad Laica de Manabí de la ciudad de Manta, ante el terremoto del 16 de abril de 2016, considerando mampostería pesada y liviana. Se consideró un hormigón de 14 MPa, que es el valor promedio encontrado mediante un esclerómetro.

Esta facultad posee tres bloques estructurales, siendo unos de ellos las gradas del edificio; la estructura responde al nivel de conocimiento de la época en que fue diseñada; sin embargo no tuvo en cuenta que es fundamental que los ejes de columna sean continuos en todos sus pisos, que las secciones de vigas se mantengan con las mismas secciones en todos sus pisos, que las juntas que separan los bloques deben mantenerse en todos sus niveles y que la continuidad de las vigas no sea interrumpida por un ducto en la losa. Estos puntos indicados convierten a la

Recibido: Junio de 2016
Aprobado: Agosto de 2016

estructura en muy vulnerable ante la acción de los sismos, por lo que se recomienda su demolición, habida cuenta que tiene más de cuatro décadas de vida.

En el Bloque Tres no se encontró daños estructurales en vigas y columnas, sin embargo hubo una afectación grave en las manposteriorias del bloque y una notable separación de la juntas que separa a los bloques, debido a asentamientos de suelo.

Palabras Clave: Análisis sísmico de Bloque Tres de Edificio de Administración de la ULEAM ante terremoto del 16 de abril de 2016

ABSTRACT

In this article is performs an analysis seismic modal spectral, in form space of the block three of the Faculty of administration, located in them properties of the University secular of Manabi of the city of blanket, before the earthquake of the 16 of April of 2016, whereas masonry heavy and light. It was considered a concrete of 14 MPa, which is the average value found by a sclerometer.

This faculty has three structural blocks, one of them being the steps of the building; the structure responds to the level of knowledge of the era in which it was designed, however did not consider that it is essential that column shafts are continuous on all the floors, which sections of beams is kept the same sections in all its floors, to joints separating blocks must be kept at all levels and that the continuity of the beams is not interrupted by a vent in the slab. These points indicated make the structure very vulnerable to the action of earthquakes, so it is recommended its demolition, taking into account that has more than four decades of life.

In the three block not found structural damage in beams and columns, but there was a serious involvement in the masonry of the block and a remarkable separation of the Board that separates the blocks, due to ground settlement.

Keywords: Seismic Analysis of Block Three of the Administration Building ULEAM to earthquake April 16, 2016.

1. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA.

La Facultad de Administración de la ULEAM, está conformada por cinco Bloques Estructurales de hormigón armado; tres de ellos se presentan en la figura 1. El Bloque 1 fue analizado en el artículo anterior (figura 1 a); el Bloque 2, es el de gradas que permite el acceso a los Bloques Estructurales (figura 1 b). El Bloque de la derecha, figura 1 c, que se analiza en este artículo es el denominado Bloque Estructural 3. En la parte posterior existen dos bloques estructurales más.

La figura 2 muestra la distribución en planta de los tres bloques estructurales de la Facultad de Administración, en donde se puede observar que posee una irregularidad en planta; con luces que se encuentran alrededor de 3.10 m (en promedio); además tiene un ducto en la losa de cada bloque que impide la continuidad de cierta viga.



Figura 1 Facultad de Administración; a) Bloque estructural 1; b) Fachada Principal de la Facultad de administración, Bloque 2 de Gradass; c) Bloque Estructural 3 que se analiza.

Dentro de la estructura se observan vigas de 30x55 y 30X35, en algunos pórticos del primer y segundo piso no se ve presencia de las misma que se asume son vigas bandas según lo muestra la figura 3, en cambio en el último piso se puede evidenciar la ausencia de vigas en ciertos tramos y la presencia de una cubierta metálica apoyada en las vigas

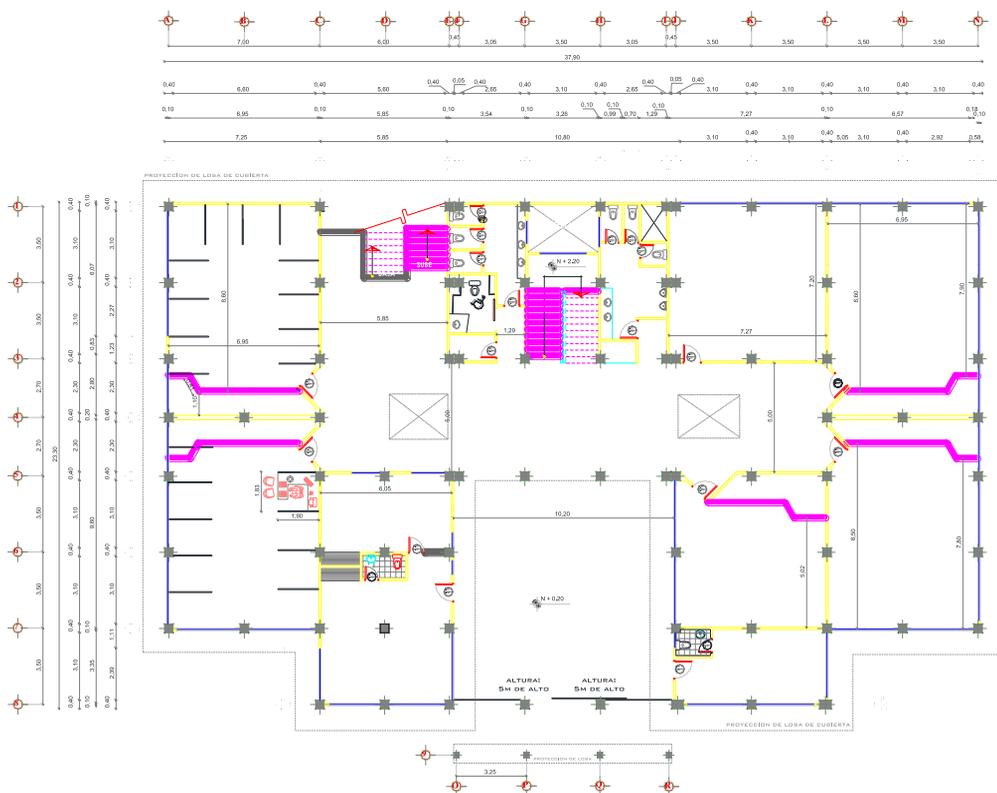


Figura 2 Planta baja de la Facultad de Administración



Figura 3 Bloque Estructural Tres de la Facultad de Administración

2. DAÑOS REGISTRADOS.

Desde hace ya más de tres décadas que este edificio fue construido, y dentro de ese rango de tiempo en Manta la arena de mar fue muy utilizada para construir. La alta salinidad que posee la arena, provoca una alta corrosión en los elementos estructurales, Figura 4, que pudo ser visible tras el terremoto del 16 de Abril del 2016



Figura 4 Desprendimiento del hormigón en pie de columna.

En la figura 4 se evidencia un alto grado de corrosión de las varillas; a más de ello se ve que una columna ha sido reforzada (luego del terremoto de 1998) con un encamisado.

Unos de los mayores daños que se pueden evidenciar en algunas construcciones, es el agrietamiento y colapso de las mamposterías, dentro del bloque estructural se presentan colapso de mamposterías y fisuras a 45°, tal y como se muestra en la Figura 5.



Figura 5 Colapso y fisuramiento en paredes de la primera plana alta

Dentro de las Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC-2015), se establecen la separación que deben tener las juntas que separan bloques estructurales, En la figura 6 se presenta la separación de 5cm entre bloques de la Facultad de Administración.



Figura 6 Separación de las juntas

En el último piso se muestra un agrietamiento de la losa, debido que no se respetó la construcción de la junta de separación entre bloques, la losa fue fundida monóticamente en todo el área equivalente a la facultad de administración, tal y como se ve en la figura 7.



Figura 7 Agrietamiento en losa producto de la juntas

También hubo la caída de lo que se denomina como plafón, que este caso se utilizó para ocultar la cubierta metálica del tercer piso, este colapso, generalmente se produce al no encontrarse bien acoplados a los elementos de soporte como se puede observar en la figura 8. Este daño lo podemos encontrar en casi todos los edificio de la ULEAM.



Figura 8 Caída de plafones en el piso superior del bloque tres de la facultad de administración

La resistencia del hormigón encontrada es de 140 kg/cm^2 , estando muy por debajo de lo establecido en el (NEC-2015), Además es muy notable el mal proceso constructivo el cual se evidencia en la figura 9.



Figura 9 Columnas de hormigón armado (segunda planta alta)

3. MATRIZ DE RIGIDEZ EN COORDENADAS DE PISO.

El bloque estructural tres de la facultad de administración, la cual se muestra en la figura 9, posee una irregularidad en planta y en elevación, esto se debe a que no existe una continuidad en algunos ejes de columnas y en vigas tal y como se muestra en la figura 10, además de que en ciertos tramos del tercer piso no existen vigas generalmente en el sentido transversal.

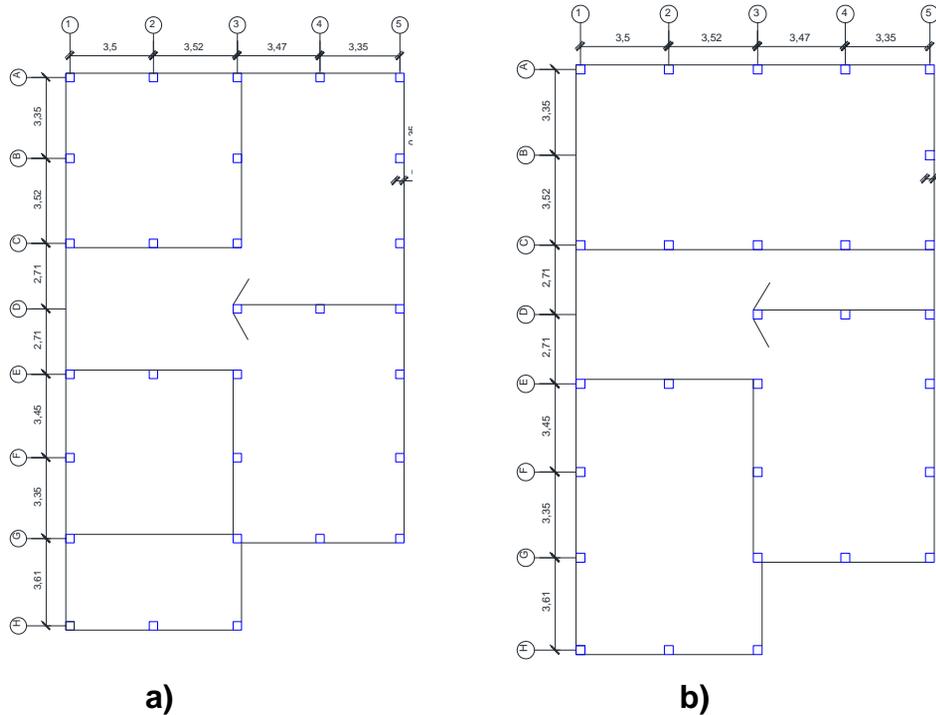


Figura 9 a) vista de la planta baja y primera alta; b) de la segunda planta alta.

3.1 Matriz de rigidez lateral de pórticos en sentido x

Se puede apreciar en la figura 10 que todas las columnas tanto exteriores como interiores son de 40/40 y que las vigas son de 30/50. Como pórticos interiores generan las siguientes matrices de rigidez lateral:

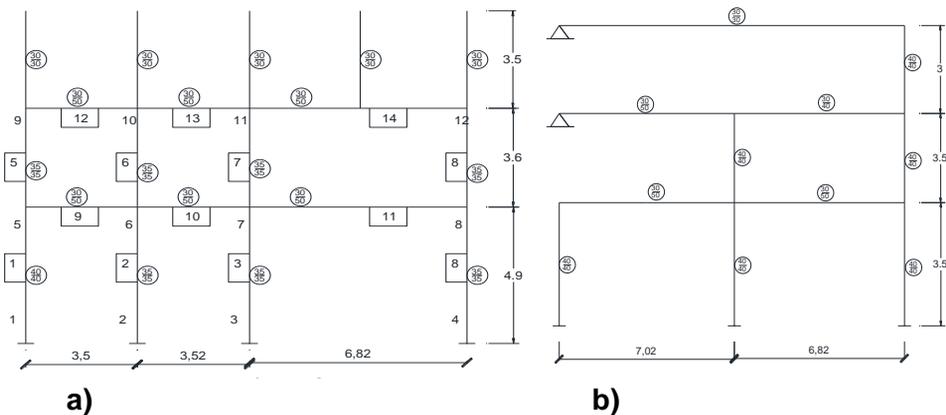


Figura 10 a) pórtico C; b) pórtico B.

$$K_b = \begin{bmatrix} 5513,3 & -2844,6 & 314,3 \\ -2844,6 & 3136,5 & -829,9 \\ 314,3 & -829,9 & 563,6 \end{bmatrix} \quad K_c = \begin{bmatrix} 7524,1 & -3907,1 & 395,5 \\ -3907,1 & 5415,2 & -2101,2 \\ 395,5 & -2101,2 & 1747,1 \end{bmatrix}$$

Como pórticos exteriores se presentan la rigideces laterales de los especificados en la figura 11

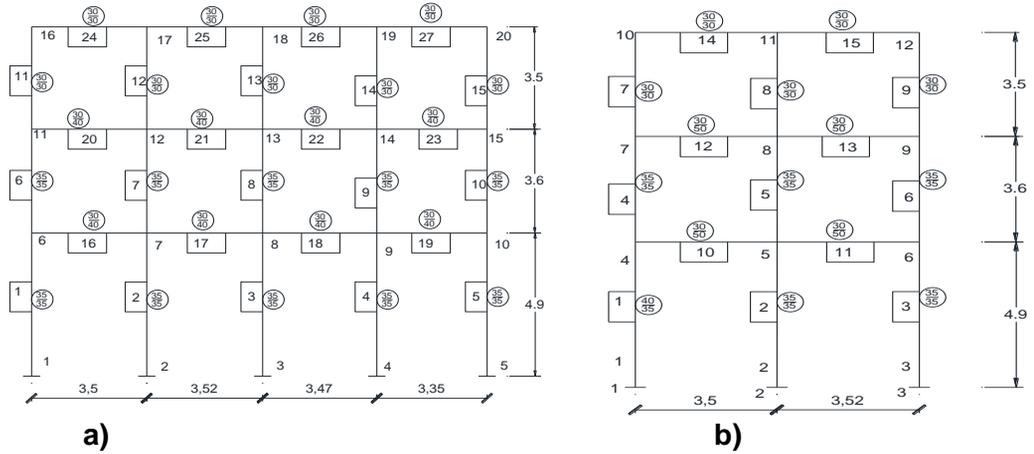


Figura 11 a) Pórtico A; b) Pórtico H

$$K_A = \begin{bmatrix} 9621 & -5161,3 & 598,4 \\ -5161,3 & 9749,1 & -5153,5 \\ 598,4 & -5153,5 & 4589,4 \end{bmatrix} \quad K_H = \begin{bmatrix} 5712,1 & -3094,5 & 408,3 \\ -3094,5 & 5603,9 & -2903,4 \\ 408,3 & -2903,4 & 2521,2 \end{bmatrix}$$

Las matrices de rigidez lateral obtenida demuestran que en el lado menos ancho del bloque estructural la rigidez lateral de los pórticos exteriores es menor a la de los pórticos interiores, lo cual puede considerarse negativo desde el punto de vista de la torsión.

3.2 MATRIZ DE RIGIDEZ LATERAL DE PORTICOS EN SENTIDO Y

En la figura 12 se indican la geometría de los pórticos en sentido y, identificado con los número 1 y 5, son pórticos externos de la estructura y presentaron las siguientes rigideces lateral

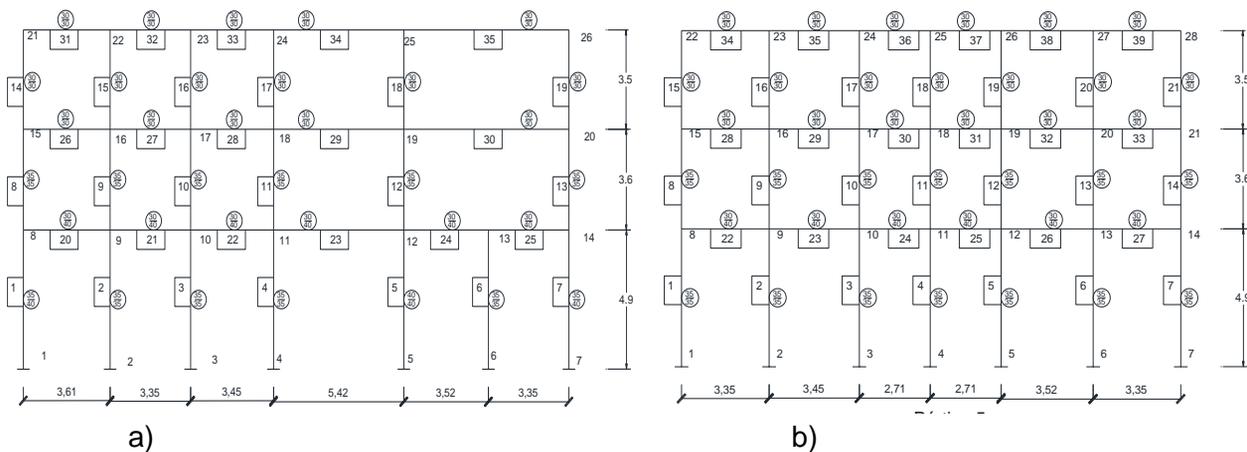


Figura 12 a) Pórtico 1; b) Pórtico 5.

$$\mathbf{K}_1 = \begin{bmatrix} 11668 & -6179 & 1449 \\ -6179 & 11325 & -5839 \\ 1449 & -5839 & 4493 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_5 = \begin{bmatrix} 12791 & -7324 & 1571 \\ -7324 & 14034 & -7426 \\ 1571 & -7426 & 5950 \end{bmatrix}$$

En la figura 13 se muestran la geometría de los pórticos interior 2 y 4, estos elementos presentan grandes longitudes de tramos, una columna que no posee continuidad y además en su último piso no existe viga alguna. Estos pórticos poseen las siguientes matrices de rigidez lateral:

$$\mathbf{K}_2 = \begin{bmatrix} 6757,4 & -3866,5 & 977,6 \\ -3866,5 & 4788,1 & -1809 \\ 977,6 & -1809 & 978,4 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_5 = \begin{bmatrix} 5095,6 & -2946 & 679,2 \\ -7324 & 3427,3 & -1508,4 \\ 679,2 & -1508,4 & 982,5 \end{bmatrix}$$

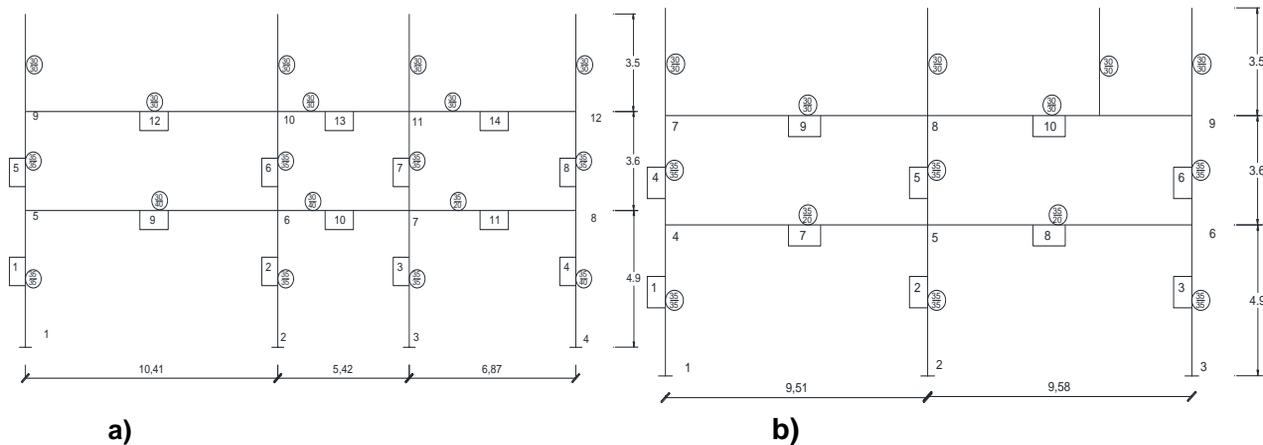


Figura 13 a) Pórtico 2; b) Pórtico 4.

A diferencia de los pórticos de sentido x, la matriz de rigidez lateral de los pórticos externos son mayores a la de los pórticos internos los cual es considerado positivo desde el punto de vista de la torsión. Aguiar (2012-2014)

3.3 Matriz de rigidez en coordenadas de piso.

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:

$$\mathbf{K}_{XX} = \begin{bmatrix} 48100 & -27100 & 3400 \\ -27100 & 42400 & -19000 \\ 3400 & -19000 & 15900 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_{YY} = \begin{bmatrix} 50900 & -28300 & 6200 \\ -28300 & 47900 & -23700 \\ 6200 & -23700 & 18100 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_{\theta\theta} = \begin{bmatrix} 4121300 & -2302800 & 357100 \\ -2302800 & 3978200 & -1963000 \\ 357100 & -1963000 & 1636100 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_{XY} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K_{X\theta} = \begin{bmatrix} -11700 & -3500 & 2300 \\ -3500 & 6000 & -1900 \\ 2400 & -2500 & 300 \end{bmatrix} \quad K_{Y\theta} = \begin{bmatrix} 3800 & -5700 & 1200 \\ -5700 & 15500 & -16300 \\ 0 & -10700 & 15200 \end{bmatrix}$$

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.

4. PROPIEDADES DINAMICAS.

Para la obtención de las propiedades dinámica de una estructura, es necesario determinar la matriz de masa, como se indica a continuación.

4.1 Matriz de masa.

La carga por metro cuadrado de la losa de 25 cm, alivianada en dos sentidos es de 408,00 kg/m²; la carga de la mampostería es de 150,63 kg/m² (sin considerar que se va a cambiar de material de las paredes); la carga de los acabados en 33 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 se considera el peso por las cerámica cuya carga promedio es 25 kg/m².

Con estos valores la carga muerta para los dos primeros pisos es $D = 0,698 \frac{T}{m^2}$ y $0,687 \frac{T}{m^2}$. En el tercer piso, la cubierta es de acero de lámina delgada $D = 0,236 \frac{T}{m^2}$. La carga viva $L = 0,25 \frac{T}{m^2}$. Para el análisis sísmico se considera el 25% de la carga viva, por la probabilidad de ocurrencia de un terremoto con toda la carga viva.

Las sub matrices de la matriz de masas (Aguiar 2014)

$$m = \begin{bmatrix} 26.86 & 0 & 0 \\ 0 & 26.52 & 0 \\ 0 & 0 & 8.8 \end{bmatrix} \quad J = \begin{bmatrix} 1582.41 & 0 & 0 \\ 0 & 1562.65 & 0 \\ 0 & 0 & 256,17 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix}$$

4.2 Periodos de vibración.

En la tabla 1, se indican los periodos de vibración de la estructuras con mampostería pesada y rígida. El periodo fundamental es 0,546 seg.

Tabla 1 Periodos de vibración, de estructura con mampostería pesada y rígida

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.5459	0.5357	0.3638	0.1826	0.1745	0.126	0.1072	0.1021	0.0821

Cambiando la mampostería rígida por una liviana y flexible, como lo es el Gypsum, las masas de la estructura bajaron, pero los periodos de vibración de la estructura se mantuvieron.

5. ESPECTROS

En la tabla 3 se presentan los PGA (Peak Ground Acceleration) del terremoto del 16 de abril de 2016, registrado en la ciudad de Manta, se observa que el PGA para la componente N-S es 514.26 gals, en función de la aceleración de la gravedad es **0.525 g**.

Componente E-W (gals)	Componente N-S (gals)	Componente V (gals)
397.12	514.26	162.06

Tabla 3 Valores de PGA para acelerogramas registrados en Manta durante el terremoto del 16 de abril de 2016

En la tabla 3 se presentan los PGA (Peak Ground Acceleration) del terremoto del 16 de abril de 2016, registrado en la ciudad de Manta, se observa que el PGA para la componente N-S es 514.26 gals, en función de la aceleración de la gravedad es **0.525 g**.

En la figura 18, se presentan los espectros obtenidos en la ciudad de Manta para el terremoto del 16 de abril de 2016, se aprecia la existencia de varios picos característicos, típicos de los sismos interplaca tipo thrust. (Aguiar 2010).

Los picos característicos son aquellos valores en los cuales la aceleración espectral vuelve a subir y por ende ingresa una mayor cantidad de energía a la estructura.

En la figura 18 b) se ha incluido el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, para un perfil de suelo tipo D, ubicado en la ciudad de Manta. Se observa que para períodos cortos, caso del edificio de la Facultad de Medicina, las aceleraciones espectrales del terremoto de 2016, superaron notablemente a las que reporta el espectro del NEC-15.

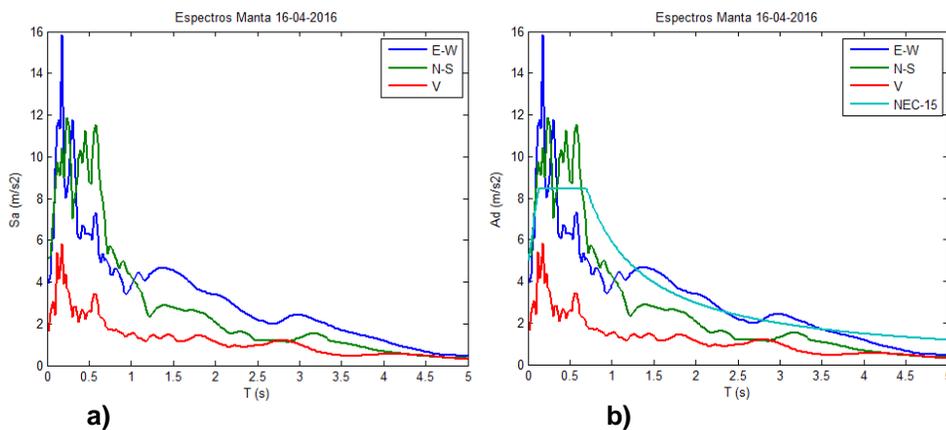


Figura 15 a) Espectros obtenidos para la ciudad de Manta del terremoto del 16 de abril de 2016; **b)** Espectros del Terremoto y el recomendado por el NEC'15 para suelo tipo D.

Por lo tanto, el análisis se realiza considerando el espectro del terremoto del 16 de abril de 2016 utilizando la componente E-W y N-S

6. METODO ESPECTRAL

Se realiza el análisis generalmente de dos formas, la primera en su situación actual, es decir, con paredes pesadas y rígidas; la segunda con paredes flexibles y livianas.

Como se explicó anteriormente se utilizara la condición más desfavorable, es decir, con la componente N-S del terremoto del 16 de abril de 2016, sin embargo también se presenta el análisis con la componente E-S

Se considera el sentido longitudinal a los pórticos identificados por números y transversal a los que se encuentran identificados por letras.

Se considera que el factor de reducción de la fuerza sísmica $R=4$ debido a la falta de continuidad en las columnas, además de que se tiene que el último piso es más débil.

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 4. 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 4 Respuestas máximas probables, considerando paredes pesadas y rígidas.

	COMPONENTE N-S					
	Análisis Sentido Longitudinal			Análisis Sentido Transversal		
	Piso	1	2	3	1	2
q_{INE} (cm)	3.6	8.67	12.42	3.80	7.50	10.21
γ (%)	1.026	1.45	1.25	1.09	1.06	0.904

	COMPONENTE E-W					
	Análisis Sentido Longitudinal			Análisis Sentido Transversal		
	Piso	1	2	3	1	2
q_{INE} (cm)	2.5	5.55	7.92	2.36	4.56	6.21
γ (%)	0.71	0.87	0.79	0.67	0.63	0.55

En la figura 16, se presenta las derivas de piso encontradas en el análisis sísmico en sentido longitudinal como transversal.

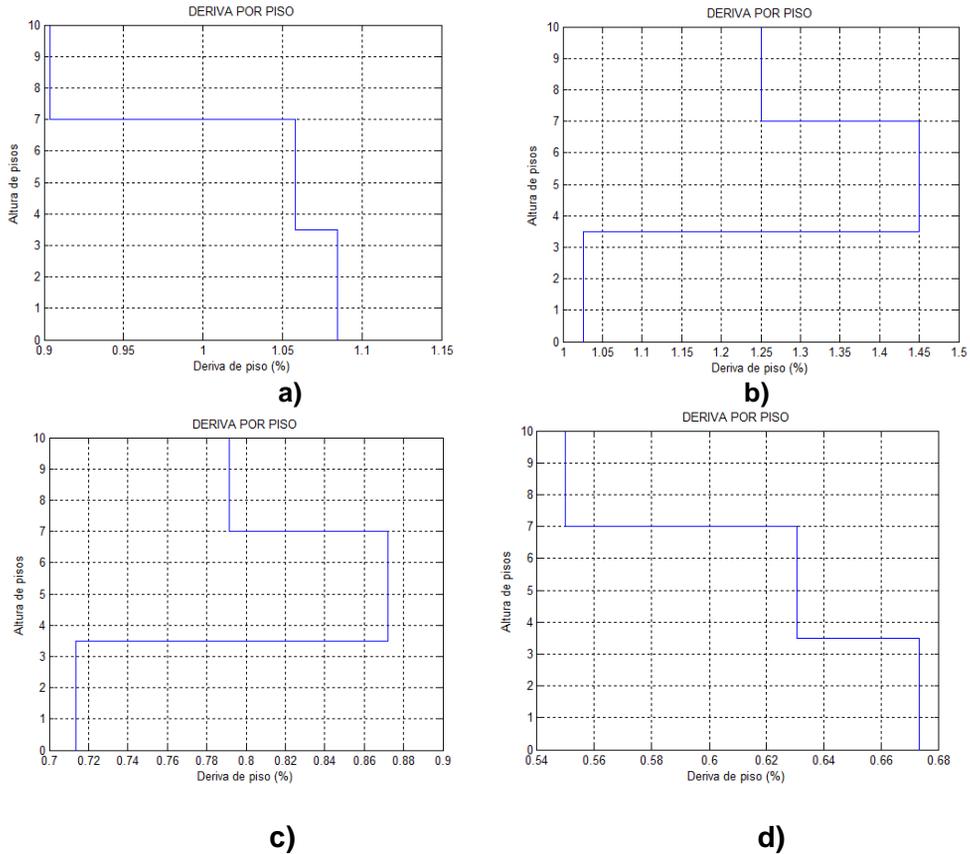


Figura 16 Derivas de piso: **Componente N-S** a) Sentido Longitudinal; b) Sentido Transversal **Componente E-W** c) Sentido Longitudinal; d) Sentido Transversal

6.2 Análisis sísmico con paredes livianas

Para poder seguir con el análisis, es necesario ahora, analizar el comportamiento de la estructura antes cargas equivalentes a paredes livianas y flexibles. En las **tabla 5** se presentan los resultados obtenidos tras la disminución de las masas por piso y en la **figura 17** se indican gráficamente las derivas obtenidas por cada piso, considerando que el sismo actúa en dirección longitudinal y transversal.

Tabla 5 Respuestas máximas, considerando paredes livianas y flexibles.

	COMPONENTE N-S					
	Análisis Sentido Longitudinal			Análisis Sentido Transversal		
Piso	1	2	3	1	2	3
q_{INE} (cm)	3.54	8.54	12.24	3.74	7.42	10.08
γ (%)	1.01	1.42	1.23	1.07	1.04	0.892

	COMPONENTE E-W					
	Análisis Sentido Longitudinal			Análisis Sentido Transversal		
Piso	1	2	3	1	2	3
q_{INE} (cm)	2.45	5.47	7.8	2.33	4.50	6.13
γ (%)	0.69	0.86	0.78	0.66	0.62	0.54

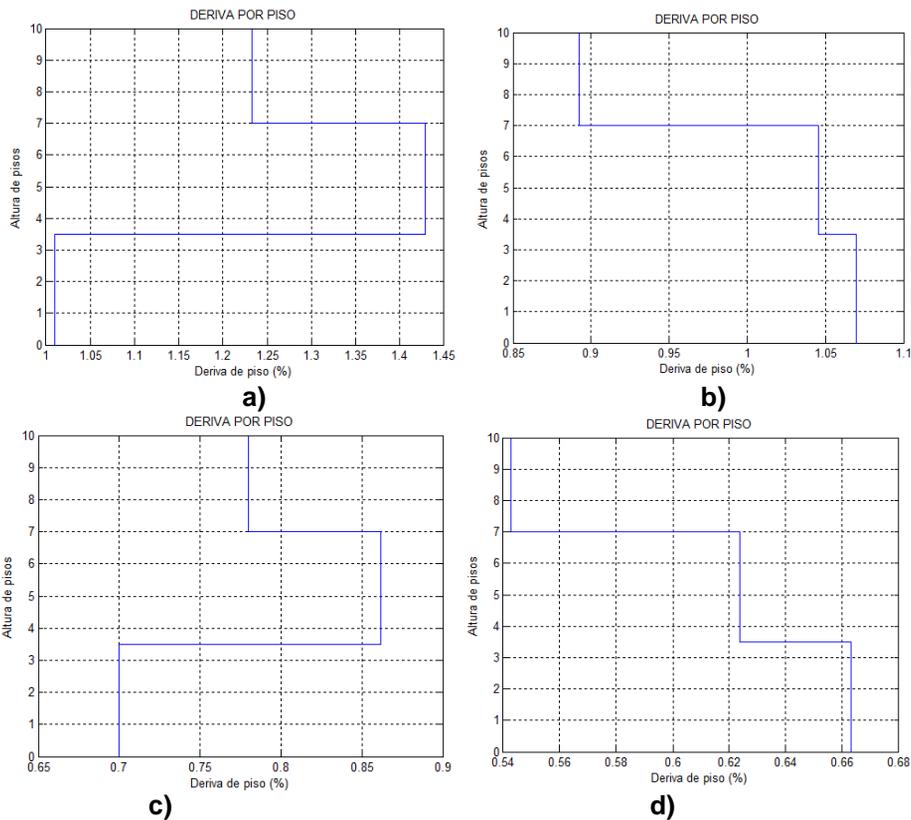


Figura 17 Derivas de piso con paredes livianas: **Componente N-S** a) Sentido Longitudinal; b) Sentido Transversal **Componente E-W** c) Sentido Longitudinal; d) Sentido Transversal

7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis de la estructura, lo primero que se debe comentar es el mal proceso de fiscalización en el transcurso de la construcción de la obra, esto se debe a que hay ciertas irregularidades dentro de la construcción, en relación a la continuidad de las columnas en los pisos superiores.

Se debe considerar que la resistencia obtenida del hormigón es muy baja, para el tamaño de la estructura y para su uso, siendo esta de 140 kg/cm^2 , como se indicó a lo largo de la redacción de este artículo. Sin embargo de ello tuvo un

comportamiento sísmico aceptable debido a que las columnas son de 40/40 cm, y vigas que varían desde 30/35 a 30/50; las luces están alrededor de los 3 m.

Es importante recalcar que los resultados obtenidos se evidencian en la condición actual del edificio tras el terremoto, esto se debe a que el mayor daño físicamente del bloque se refleja en la primera planta alta, en donde se encuentran paredes colapsadas y agrietadas, tal y como indican los resultados de las derivas de piso.

Si bien la deriva de piso encontrada en el análisis sísmico ante el espectro hallado en Manta del terremoto del 16 A, es menor al 2%, establecido por en NEC-15 se recomienda su demolición por la mala calidad del hormigón, falta de continuidad de las columnas, problemas de suelo y fallas en la construcción.

REFERENCIAS

1. Aguiar Roberto (2014), *Análisis Matricial de Estructuras*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH, cuarta edición, 676 p., Quito.
2. Aguiar Roberto (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, Segunda Edición, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, 416 p., Quito.
3. 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.
4. NEC-11, (2011) *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Cámara de la Construcción de Quito.
5. NEC-15 (2015), *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS*, Ministerio de la Vivienda MIDUVI.