

ANÁLISIS SISMICO ESPACIAL DEL BLOQUE 2 DE LA FACULTAD DE ECONOMIA DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI AFECTADA POR EL TERREMOTO DE 2016

SPACIAL SEISMIC ANALYSIS OF TOWER 2 OF ECONOMY FACULTY OF UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO FROM MANABI AFFECTED BY THE 2016'S EARTHQUAKE

Roberto Aguiar^(1,2), Francisco Delgado⁽³⁾, Jordán Manzaba⁽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
Av. Circunvalación - Vía a San Mateo**

**⁽³⁾Carrera de Ingeniería Civil
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Av. Circunvalación - Vía a San Mateo
frandelsanz@hotmail.com
jordan.manzaba@hotmail.com**

RESUMEN

El comportamiento de los edificios, así como de estructuras sujetas a cargas sísmicas, le corresponde a la ingeniería sísmica; esta a su vez debe apoyarse en la sismología quien estudia terremotos, propagación de ondas sísmica que se generan en toda la tierra, teniendo en cuenta todo lo que significa placas tectónicas.

El centro de estudios de la Facultad de Economía II es una estructura que tiene muy poco de construida, la cual ante el terremoto de Pedernales del 16A se comportó estructuralmente de gran manera gracias a tomar en consideración las normas estipuladas de la construcción, pero fallo severamente a nivel de mampostería debido a que no se tiene un conocimiento amplio en el sistema constructivo del mismo.

De los problemas evidenciados a nivel de mampostería vemos una falla tremenda a nivel de los chicotes que no fueron colocados adecuadamente, esto se debe a que queda a criterio del maestro la colocación del mismo, de cómo deben ir colocados, cada que tramo, en fin.

Otra causa es que las paredes tenían un gran tamaño tanto en altura como de longitud, y para esto se debió colocar un elemento estructural como viguetas o pilaretes para que se pueda confinar bien, es decir que actúa como una sola.

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.

Lo que se busca realizar es presentar un análisis sísmico para que se puede acondicionar la estructura, que esté operativa para el uso de la comunidad universitaria, se puede reforzar si pero no es necesario ya que la estructura funciona de excelente manera con un terremoto de gran intensidad; lo que si se debe hacer es colocar paredes más livianas y flexibles característica que tiene el Gypsum.

Palabras claves: Mampostería; flexible; liviana.

ABSTRACT

The behavior of buildings and structures subject to seismic loads, it is up to seismic engineering; this should lean on seismology that studies earthquakes, and the propagation of seismic waves that generate all around the earth, considering what tectonics plates means.

The study center of the Faculty of Economic II is a structure that has no considerable time of built, which one that before Pedernales earthquake of 16A behaved structurally greatly by taking into consideration the construction rules stipulated, but that failed severely at masonry level because set construction, but failed severely in his masonry because they do not have extensive knowledge in the construction system of that.

The problems evidenced in masonry's level we can see so much failures at the level of the whips that were not placed properly, that's because it is up to the master builder to be placement, how they should be placed, in which section, etc.

Another cause is that the walls have a large height and a large length and in these cases we should place a structural element like joists so that it can confine well, and the wall can act as one.

The seismic analysis of reinforced structure was made considering the spectrum obtained in Manta's city, in the earthquake of April 16, 2016, which had a magnitude of 7.8. This spectrum has a higher ordinate than the range reported by the Ecuadorian Construction Standard NEC-15. It was made considering heavy and light masonry; the best choice is the second.

What is sought to do is present a seismic analysis so that you can put the structure, which is operating for the use of the university community can be strengthened but is not necessary as the structure works excellently with an

earthquake of big intensity; what we have to do is to put lighter walls and flexible feature that has the Gypsum.

Keywords: Masonry; flexible; light.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La Facultad de Economía está comprendida por dos bloques estructurales el que se analizara en este documento es el segundo bloque, su principal daño fue en mampostería seguramente por errores constructivos en la ejecución de esta obra como también por estar escasos de conocimientos de confinamientos, a pesar de tener columna corta no tuvo mayor afectaciones por esto.



a)

b)

Figura 1 Fachada Principal y planta baja de la Facultad de Economía bloque 2

En la figura 2 se presenta la distribución en planta del segundo bloque de Economía 2, se observa la gran cantidad de columnas que tiene la construcción; con luces que se encuentran alrededor de los 2.75-3.35 m, Esto es muy positivo debido a que mientras más ejes resistentes tiene una construcción, tiene más redundancia.

La mayoría de los pórticos tienen la siguiente configuración columnas de 35x35 en la primera y segunda planta llegando a 30x30 en la tercera planta y con vigas peraltadas de gran inercia la mayoría de 30x50 y en los volados de 30x55.

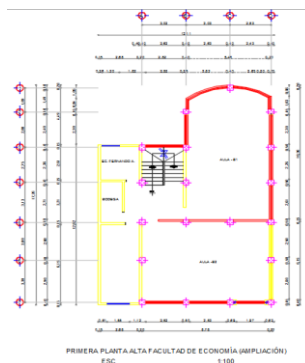


Figura 2 Primer Piso del segundo bloque de Economía

2. DAÑOS REGISTRADOS

La estructura de este bloque no tiene mayor problemas excepto en su mampostería, la cual perdió bastante de este y el desprendimiento de hormigón fue considerable, todo esto se debe que no se hizo el hormigón para el cual fue diseñado pero que seguramente ha sido por la mala calidad del hormigón la estructura a pesar de tener columna corta ningún pórtico tuvo fallo por este problema.



Figura 3 Estructura con la mampostería retirada.

En la figura 4 se presenta desprendimiento del hormigón en la columna D2 del tercer piso se pudo observar que era un hormigón de mala calidad, también se observa que la varilla se encuentra oxidada.



Figura 4 Columna D2 desprendimiento de hormigón

El Bloque 2 de economía tuvo mucho daño en mampostería pero su estructura se comportó de forma generalmente bien por eso su reparación se empezó a hacer muy rápido para que las aulas estén operativas en el menor tiempo posible.



Figura 5 Tercera planta con las paredes retiradas

En esta estructura como se dañó la mampostería se procedió a su retiro, 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/m^2 (donde hay bastante divisiones); en contraste con las segundas cuyo peso se encuentra por los 40 kg/m^2 . 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 y no solo eso sino que la estructura soportara menos peso y no sufrirá tanto como con una mampostería pesada.



Figura 6 Caída de plafones en el piso superior del Bloque 2 de Economía.

Se denomina plafón a un tablero que sirve para separar zonas, en el caso de la figura 6 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, y quien lo haga debe tener experiencia en la instalación y coloque los debidos elementos que le generen un mejor agarre a los plafones.

3. MATRIZ DE RIGIDEZ EN COORDENADAS DE PISO

Aparentemente el Bloque Estructural 2, cuyas plantas de columnas de la planta baja y primer piso, se indican en la figura 7, es una estructura no regular en planta y elevación, no lo es, debido a que algunos ejes de columnas no continúan en los pisos superiores como se aprecia en el pórtico 2, figura 7 b).

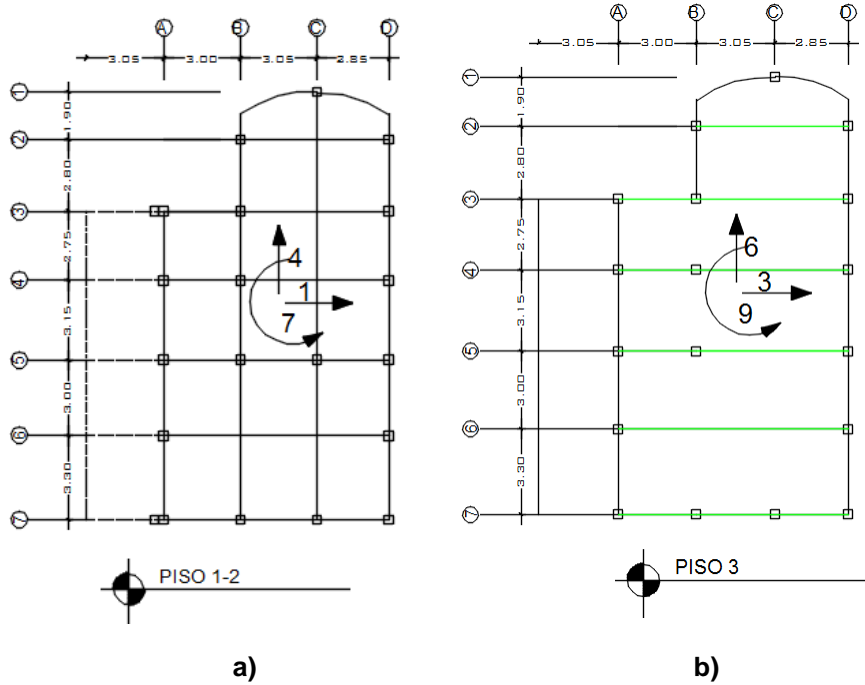


Figura 7 a) Coordenadas de piso en Planta Baja y segunda; b) Coordenadas de piso tercera planta

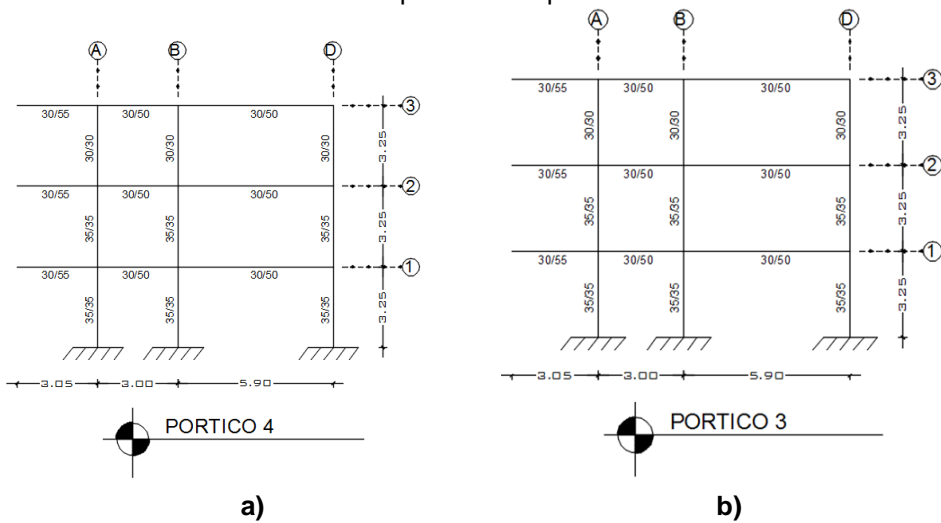


Figura 8 a) Pórtico 4; b) Pórtico 3.

4.1 Matriz de rigidez lateral de Pórticos en sentido X

Las matrices de rigidez lateral de los pórticos interiores 4 y 3 los cuales son iguales, y es la siguiente:

$$K_4 = K_3 = \begin{bmatrix} 5062.0 & -2577.2 & 226.9 \\ -2577.2 & 3621.5 & -1413.7 \\ 226.9 & -1413.7 & 1204.3 \end{bmatrix}$$

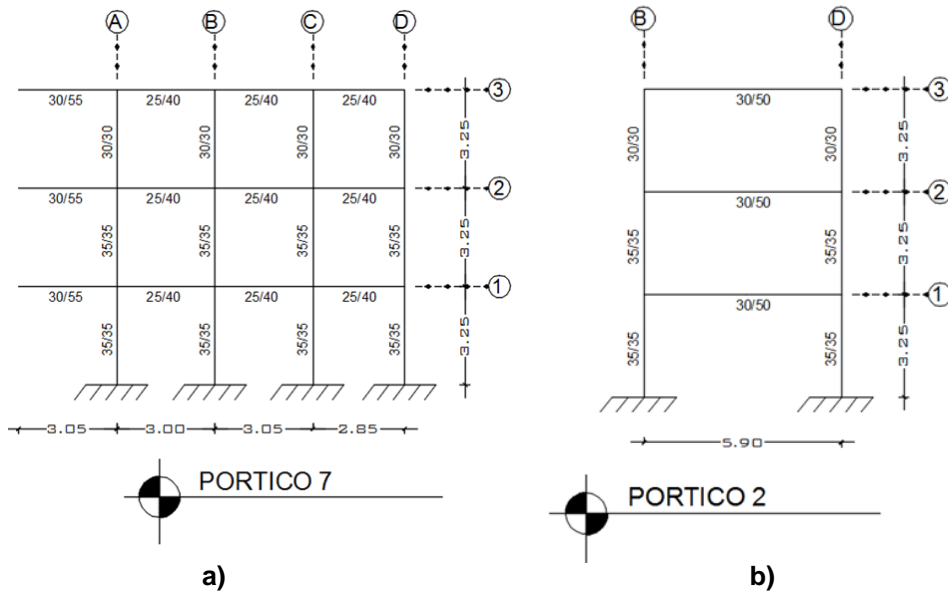


Figura 9 a) Pórtico 7 ;b) Pórtico 2

Las matrices de rigidez lateral de los pórticos exteriores 7 y 2, son las siguientes:

$$K_7 = \begin{bmatrix} 6613.3 & -3386.2 & 361.3 \\ -3386.2 & 4631.9 & -1840.3 \\ 361.3 & -1840.3 & 1516.3 \end{bmatrix} \quad K_2 = \begin{bmatrix} 3283.4 & -1685 & 193 \\ -1685 & 2285.1 & -918 \\ 193 & -918 & 746 \end{bmatrix}$$

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 lateral de Pórticos en sentido Y

En la figura 10 se indica la geometría de los Pórticos en sentido Y, identificados con las letras: A, D. Se aprecia que todas las columnas de la planta baja y segunda planta son mayores que las de tercer planta como tiene que ser las vigas todas son de 30/50 así mismo en el otro sentido tienen un valor alto de inercia.

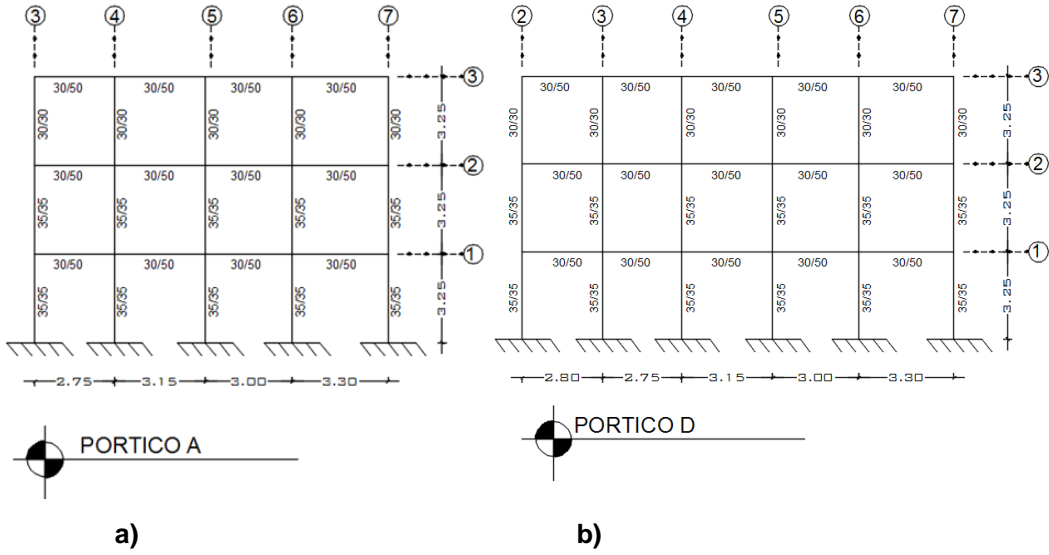


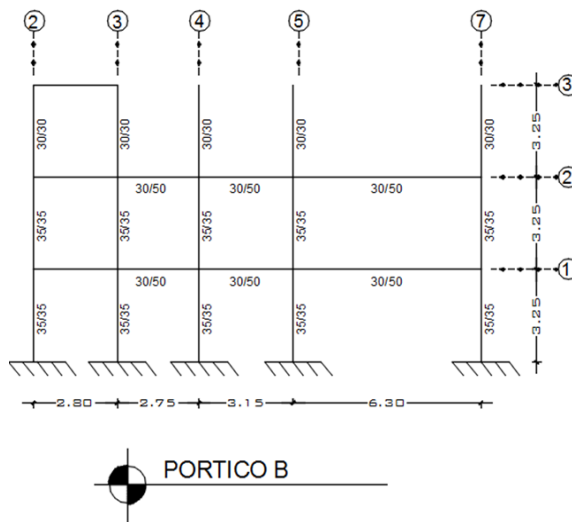
Figura 10 a) Pórtico A; b) Pórtico D

Las matrices de rigidez lateral de los pórticos A, D, ambos pórticos exteriores son:

$$K_A = \begin{bmatrix} 8667,9 & -4382,7 & 273,9 \\ -4382,7 & 6358,3 & -2425,5 \\ 273,9 & -2425,5 & 2163,7 \end{bmatrix} \quad K_D = \begin{bmatrix} 10433 & -5271 & 311 \\ -5271 & 7672 & -2918 \\ 311 & -2918 & 2621 \end{bmatrix}$$

En la figura 11 a) se presenta la geometría del pórtico interior B se indica las columnas del último piso hay algunas que no tienen vigas, no sufrieron ningún daño. Las matrices de rigidez lateral del pórtico B es:

$$K_B = \begin{bmatrix} 8575,6 & -4261,4 & 224,8 \\ -4261,4 & 5153,4 & -1291 \\ 224,8 & -1391 & 1180,1 \end{bmatrix}$$



4.4 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:

$$\mathbf{K}_{XX} = \begin{bmatrix} 30100 & -15300 & 1400 \\ -15300 & 20800 & -7900 \\ 1400 & -7900 & 6600 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_{YY} = \begin{bmatrix} 32500 & -16300 & 1000 \\ -16300 & 21900 & -7500 \\ 1000 & -7500 & 6500 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_{\theta\theta} = \begin{bmatrix} 1170000 & -599990 & -54300 \\ -599990 & 834700 & -325600 \\ -54300 & -325600 & 277900 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_{XY} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_{X\theta} = \begin{bmatrix} -3600 & 1700 & 500 \\ 1700 & -3500 & -600 \\ -200 & 1400 & 200 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_{Y\theta} = \begin{bmatrix} 26000 & -13100 & 1200 \\ -13100 & 18000 & -8500 \\ 900 & -6600 & 7400 \end{bmatrix}$$

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.

$$\mathbf{K}_E = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{XX} & \mathbf{K}_{XY} & \mathbf{K}_{X\theta} \\ & \mathbf{K}_{YY} & \mathbf{K}_{Y\theta} \\ & & \mathbf{K}_{\theta\theta} \end{bmatrix}$$

4. PROPIEDADES DINÁMICAS

Las propiedades dinámicas de la estructura se encuentran a continuación

4.1 Matriz de masas

La carga por metro cuadrado de la losa de 20 cm, alivianada en dos sentidos es de 380 kg/m²; la carga de la mampostería es de 140 kg/m² (sin considerar que se va a cambiar de material de las paredes); la carga de los acabados en 50 kg/m²; la carga de las vigas es 50 kg/m² y la carga de columnas es 60 kg/m².

Con estos valores la carga muerta para los dos primeros pisos es $D = 0.68 \text{ T/m}^2$. En el tercer piso, la cubierta es de acero de lámina delgada $D = 0.43 \text{ T/m}^2$. La carga viva $L = 0.25 \text{ T/m}^2$. 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)

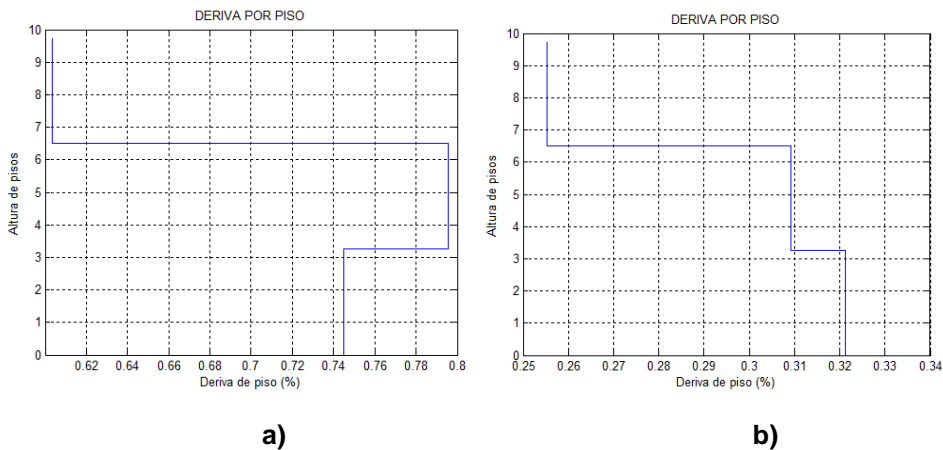
$$\mathbf{m} = \begin{bmatrix} 11.85 & 0 & & \\ 0 & 11.85 & & \\ & & 6.86 & \\ & & & & & \end{bmatrix} \quad \mathbf{J} = \begin{bmatrix} 383.47 & & & & \\ & 383.47 & & & \\ & & & & \\ & & & & 242.21 \\ & & & & & & \end{bmatrix}$$

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	3
q_{INE} (cm)	2.42	5.01	6.97	1.64	3.39	4.73
γ (%)	0.74	0.79	0.60	0.32	0.31	0.26
F (T.)	13.67	26.89	20.31	6.70	13.67	11.68
COMPONENTE E-W						
	Análisis Sentido Longitudinal			Análisis Sentido Transversal		
Piso	1	2	3	1	2	3
q_{INE} (cm)	1.53	3.11	4.34	1.01	2.1	2.93
γ (%)	0.47	0.49	0.43	0.21	0.18	0.16
F (T.)	7.31	12.65	16.07	2.43	6.45	8.99

En la figura 14, 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.



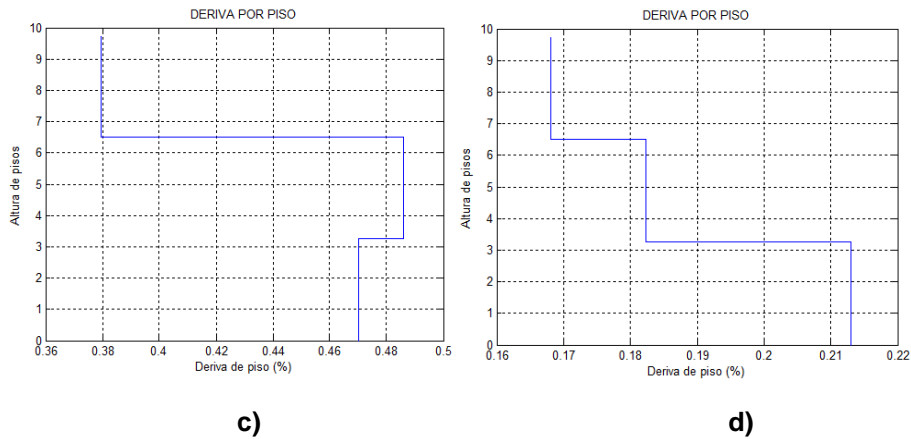


Figura 14 Derivas de piso: a) Sentido Longitudinal **N-S**; b) Sentido Transversal. **N-S**; a) Sentido Longitudinal **E-W**; b) Sentido Transversal. **E-W**

5.2 Análisis sísmico con paredes livianas

En la tabla 5 se presentan los resultados del análisis sísmico considerando paredes livianas y en la figura 15 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 3 y 4; y las figuras 14 y 15, se concluye que **al cambiar de paredes de pesadas a livianas se mejora notablemente el comportamiento sísmico de la estructura.**

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)	2.03	4.25	6.05	0.66	1.29	1.81
γ (%)	0.62	0.68	0.55	0.20	0.19	0.16
F (T.)	10.59	20.65	20.34	4.31	9.02	9.88
COMPONENTE E-W						
	Análisis Sentido Longitudinal			Análisis Sentido Transversal		
Piso	1	2	3	1	2	3
q_{INE} (cm)	1.35	2.77	3.96	0.51	0.92	1.29
γ (%)	0.42	0.44	0.37	0.15	0.13	0.11
F (T.)	5.69	7.82	14.57	1.40	4.19	8.26

En la figura 15, se presenta las derivas de piso encontradas en el análisis sísmico en sentido longitudinal como transversal.

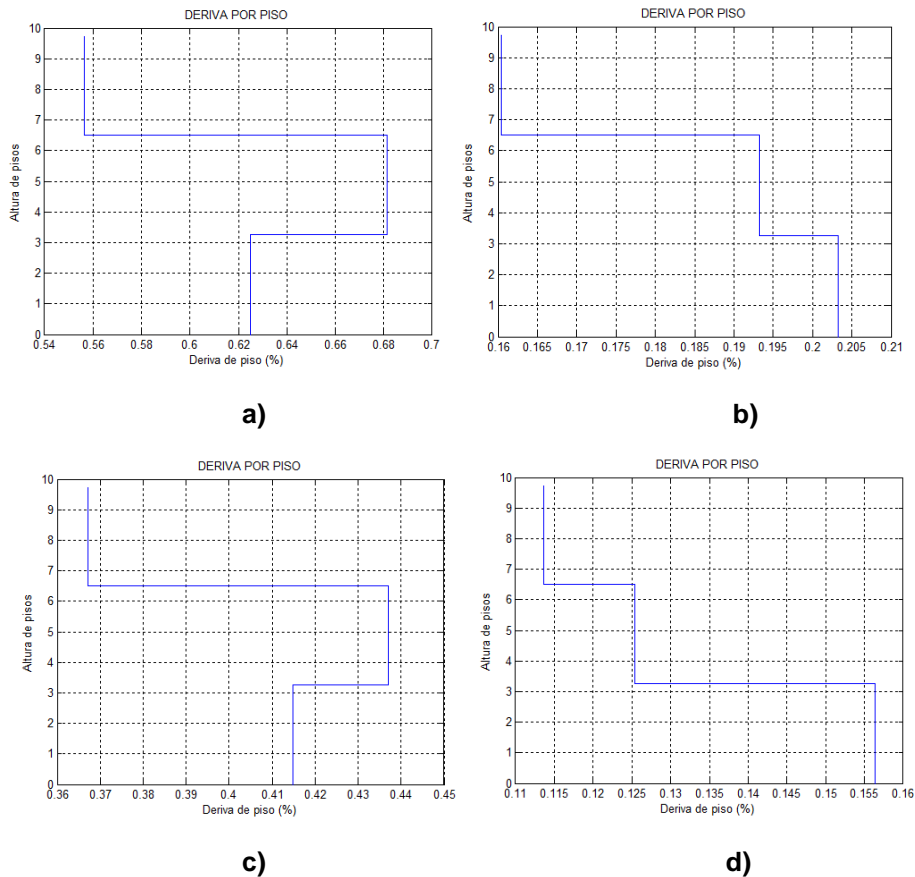


Figura 15 Derivas de piso: a) Sentido Longitudinal **N-S**; b) Sentido Transversal. **N-S**; a) Sentido Longitudinal **E-W**; b) Sentido Transversal. **E-W**

6 PAREDES DE GYPSUM

Para hacer la instalación de una pared rápida y eficiente se utiliza lo que es el gypsum, material que da mejores acabados, además de esto el utilizar este material cumple con un fin primordial que es el de alivianar la carga muerta de una obra.

Este material es preparado en base a yeso, fibras minerales y de vidrio, tratados a temperaturas para que se endurezcan; cabe mencionar que es importante porque viene ya con medidas normalizadas cosa que ayuda en su instalación.

Aparte de esto podemos mencionar más ventajas que ayuda en una estructura, por ejemplo dan protección y seguridad por su resistencia al fuego, no contribuyen a combustión y ante cualquier caída del material se

sabe que es muy liviano; también tiene un control acústico muy importante aislando los ruidos de ambientes exteriores; la durabilidad es muy alta; el bajo peso que es lo que nos interesa siendo el ideal para el diseño, ante un evento telúrico la estructura funciona mejor sísmicamente.



a)

b)

Figura 16 a) Proceso de instalación; b) pared de gypsum.

El gypsum da muchas ventajas en comparación de la mampostería rígida de bloques o ladrillos ya que se le puede dar diversidad de formas.



Figura 17 Fachada principal de la Facultad de Economía

7 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Hemos sido testigos del crecimiento de la aceptación que tiene la carrera de Economía de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por eso se necesita

de adecuar y que esté operativa para que la sociedad universitaria pueda ayudar con ciencia y poder combatir contra las nuevas preguntas académicas que surgen hoy en día.

Estructuralmente actuó de gran manera por eso no hay temor, el problema es a nivel de mampostería cosa que tuvo un colapso desproporcional y razón de peligro para personas que se encuentran dentro de él.

Ante este terremoto que fue de gran magnitud se hizo el análisis sísmico con paredes pesadas, y livianas también obviamente se aceptara la segunda ya que actúa mejor sísmicamente, es más flexible y el material en este caso de gypsum no representa un peligro ante alguna eventualidad; hay que dejar de construir con bloque o ladrillos materiales más pesados y reemplazarlos con gypsum.

Así como se ha dicho anteriormente, el principal defecto estructural que tuvo esta construcción, fue en la parte constructiva, así como de usar paredes muy pesadas, las cuales no solo aumentan el peso de la estructura, sino que también aumentan los riesgos de accidentes fatales debido a estas

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. 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.
5. NEC-11, (2011) *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Cámara de la Construcción de Quito.
6. NEC-15 (2015), *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS*, Ministerio de la Vivienda MIDUVI.