

## COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE FACULTAD DE FILOSOFIA DE LA UTN DURANTE EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016 Y REHABILITACIÓN OPERATIVA

### BEHAVIOR OF STRUCTURES OF THE FACULTY OF PHILOSOPHY OF UTN OF EARTHQUAKE DURING APRIL 16, 2016 AND OPERATIONAL REHABILITATION

#### **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](mailto:rraguiar@espe.edu.ec)

#### **Marcos Zevallos y Julieth Córdova**

Facultad de Ciencias Matemáticas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Universidad Técnica de Manabí  
Correo Electrónico: [marcoszevallos@yahoo.com](mailto:marcoszevallos@yahoo.com)

### RESUMEN

Se analiza el comportamiento sísmico que tuvo la Facultad de Filosofía de la Universidad Técnica de Manabí, durante el terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8.

Durante el terremoto, la mampostería de los dos primeros pisos sufrió un daño extensivo en la mampostería, que era pesada y rígida; por lo que se decidió cambiar de material de las paredes a uno que sea liviano y flexible, en la reconstrucción.

Posteriormente se realiza el análisis sísmico de uno de los Bloques Estructurales ante el espectro de respuesta elástico obtenido en la Universidad Técnica de Manabí, empleando el Método Espectral.

Se presentan los resultados del análisis con mampostería pesada y con mampostería liviana; encontrando que con esta última opción se disminuye la deriva de piso en forma apreciable.

**Palabras Claves:** Rehabilitación de Bloques Estructurales de Filosofía. Sismo de Pedernales.

## ABSTRACT

The seismic behavior that had the Philosophy Faculty of the Technical University of Manabí, during the earthquake of April 16, 2016, magnitude 7.8 is analyzed.

During the earthquake, the masonry of the first two floors suffered extensive damage in the masonry, which was heavy and rigid; so it was decided to change wall material to one that is lightweight and flexible, in reconstruction.

Later seismic analysis of one of the building blocks to the elastic response spectrum obtained at the Technical University of Manabí, using the spectral method is performed.

The results of analysis with light heavy masonry and masonry are presented; finding that with the latter option drift floor is decreased appreciably.

**Keyword:** Rehabilitation of Structural Blocks of Philosophy. Pedernales earthquake.

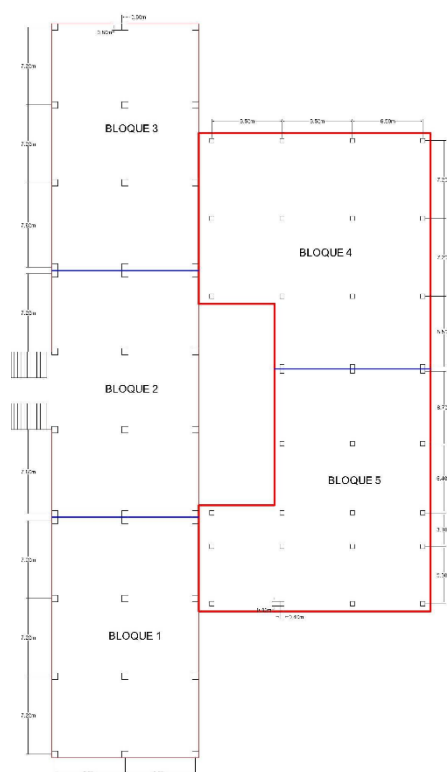
## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Facultad de Filosofía de la Universidad Técnica de Manabí, UTM, está conformada por 5 Bloques Estructurales, los mismos que se indican en la figura 1. Los Bloques 4 y 5 son de un piso; tienen columnas de 60/60 cm, y es una losa en la que no se observan vigas descolgadas. Los Bloques 1, 2 y 3 son de cuatro pisos con columnas promedio de 60/60 cm, y con vigas banda, en los dos sentidos; se estima que la misma estructuración se tiene en los Bloques de un piso.

Sobre la terraza del cuarto piso se realizó una ampliación con una estructura de lámina delgada, que no estaba contemplada inicialmente, la misma que será derrocada en la reconstrucción.

La altura del primer piso de los Bloques Estructurales es de 4 m., la de los pisos superiores es de 3 m. De tal manera que, al tener las mismas secciones de columna en todos los pisos, por tener mayor altura el primer piso, este es menos rígido que los pisos superiores, contrario a lo prescrito en las normativas sísmicas de que el piso inferior debe ser más fuerte que el piso superior. (NEC-15).

Los Bloques Estructurales de un piso: 4 y 5 no presentan daño estructural ni en mampostería, son bloques rectangulares con columnas cuadradas de 60 cm, de lado; en la figura 2 se presentan estos Bloques. Desde el punto de vista estructural el problema que se tiene es que no existe una separación adecuada entre el Bloque un piso y el Bloque Estructural de 4 pisos.



**Figura 1** Bloques estructurales que conforman la Facultad de Filosofía de la UTM

## 2. COMPORTAMIENTO DE BLOQUES DE UN PISO

Las losas de los Bloques Estructurales 4 y 5 durante el sismo impactaron a las columnas de los Bloques Estructurales 3 y 1, debido a que sus columnas son de menor altura y como se indicó, la separación de la junta es insuficiente. Se recomienda en el sector de la losa que impactó con las columnas, se deje una separación de 5 cm, entre la losa y las columnas, para el efecto se debe cortar la losa 5 cm, de ancho y en una longitud mayor a la dimensión de la columna, en el sitio que se encuentra la columna de los bloques de 4 pisos. Además, se debe colocar una franja de Neopreno la misma que deberá quedar en forma de C, para que recubra el peralte de la losa de contacto con las columnas y pueda ser sujeta en la parte superior e inferior de la losa; estrictamente va en la zona de contacto, que va a quedar separada 5 cm.

En la figura 3 se observa que la losa empezó a dañar la columna por lo que se recomienda, en la zona del impacto retirar todo el enlucido, reparar la superficie, para colocar una capa de fibra de carbono CFRP en una longitud de 50 cm, y volver a enlucir la columna.

En resumen, son tres las acciones que se deben desarrollar relacionadas al impacto de la losa con la columna; la primera picar la losa un ancho de 5 cm, por 50 cm, de longitud en la zona del impacto; la segunda colocar el neopreno en la forma

indicada en la losa y la tercera restaurar la resistencia que ha perdido la columna impactada, mediante una capa de fibra de carbono en una longitud de 50 cm.



a)



b)

**Figura 2** Bloques 4 y 5 de un piso de Filosofía; a) Junta insuficiente entre Bloque 1 y 5; b) Bloque 2 y patio interior.



**Figura 3** Daño columna a nivel de enlucido y recubrimiento por impacto de la losa durante el terremoto del 16 de abril de 2016

En la figura 4 se aprecia que se tiene el problema de “columna corta” y no se observa ningún daño debido a que la capacidad al corte de las columnas es considerable para un piso, tiene una sección de 60 por 60 cm.



Figura 4 Columnas cortas de Bloques Estructurales 1, 2 y 3.

### 3. COMPORTAMIENTO DE LOS BLOQUES DE 5 PISOS

El mayor daño se dio en la mampostería de los dos primeros pisos debido a que se tienen grandes áreas de mampostería sin elementos confinantes como se ilustra en la figura 5 pero también se produjo rajaduras en paredes con elementos confinantes pero el área confinada es grande. Son dos problemas que se tiene con la construcción de éste tipo de paredes, la primera que son bastante pesadas y la segunda que al romperse causan heridos. Cuando se registró el terremoto del 16 de abril, los estudiantes se encontraban de vacaciones y ventajosamente no hubo nadie en los edificios que conforman la Facultad de Filosofía de la UTM.



Figura 5 Fallas en grandes áreas de mampostería sin elementos confinantes.

A la derecha de la figura 5 se observa que el último vano de mampostería en el segundo piso está desfasado de su eje y además presenta rotura de la pared. En esta misma grada se ve el Bloque de Escaleras, estructura independiente que funcionó bastante bien.

En la unión de la columna con la mampostería también se tienen rajaduras verticales por la diferencia de rigidez entre estos dos elementos, que no representa riesgo a la seguridad estructural.

### 3.1 Estructura de lámina delgada

La estructura fue proyectada de cuatro pisos, como se observa a la izquierda de la figura 6 pero se construyó un quinto piso con lámina delgada. Se recomienda derrocar este piso que no fue proyectado ya que se incrementa las cargas y además presenta elementos poco anclados que pueden desprenderse como se observa a través de la caída de un plafón (fotografía que se halla a la derecha) se aprecia además que la cubierta de asbesto cemento se halla rota.



Figura 6 Estructura de acero de lámina delgada en último piso.

## 4. RECONSTRUCCIÓN DE PAREDES

A los 30 días del terremoto del 16 de abril de 2016, se inició con la reconstrucción botando las paredes que presentaban rajaduras apreciables y se encontró que las columnas de hormigón armado, estaban recubiertas con ladrillos, con el propósito de darle mayor volumen a las mismas y talvez pensando en que se aporta significativamente a soportar mayor carga axial y darle protección a la armadura, que se oxida fácilmente en la costa.

A ciencia cierta se puede decir que los ladrillos alrededor de la columna, lo que dan es mayor peso a la estructura y por ende mayor fuerza sísmica por lo que se decidió derrocar con mucho cuidado los ladrillos.

En la figura 7 se observa uno de los Bloques Estructurales, sin las paredes y ahí se aprecia en la fotografía de la izquierda, una columna con ladrillos en su perímetro.

### 4.1 Fallas ocultas

Al quitar los ladrillos es muy probable que se va a encontrar columnas que ingresaron al rango no lineal durante el terremoto del 16 de abril, pero como estaban recubiertas no se las vio. Lo indicado puede ser el caso de las columnas indicadas en la figura 8, que corresponden al Bloque Estructural de Gradadas, en que una columna del segundo piso presenta una falla de corte a nivel de recubrimiento.



**Figura 7** Derrocamiento de paredes para la reconstrucción.



**Figura 8** Falla oculta de corte en una de las columnas del Bloque de Gradas.

## 4.2 Réplicas del 18 de mayo

A los 32 días del terremoto de magnitud 7.8, se registraron dos réplicas de considerable magnitud y muy superficiales. La una se dio a las 2h57 y la otra a las 11h46, de magnitud 6.8 y profundidad focal de 15 km.

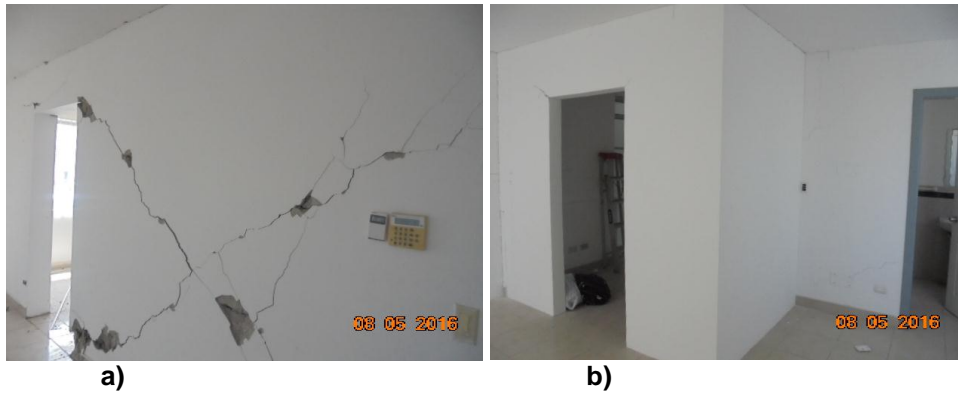
Fueron réplicas de considerable magnitud que se las sintió en Quito originando a los Rectores de algunas universidades a suspender las actividades académicas y científicas, para cerrar sus instalaciones. Lo propio sucedió con varias instituciones públicas.

A no dudarlo, estas réplicas causaron más daño en los elementos estructurales que ya estaban afectados y probablemente aparecieron nuevas grietas y las paredes se dañaron más.

## 4.3 Paredes con Gypsum

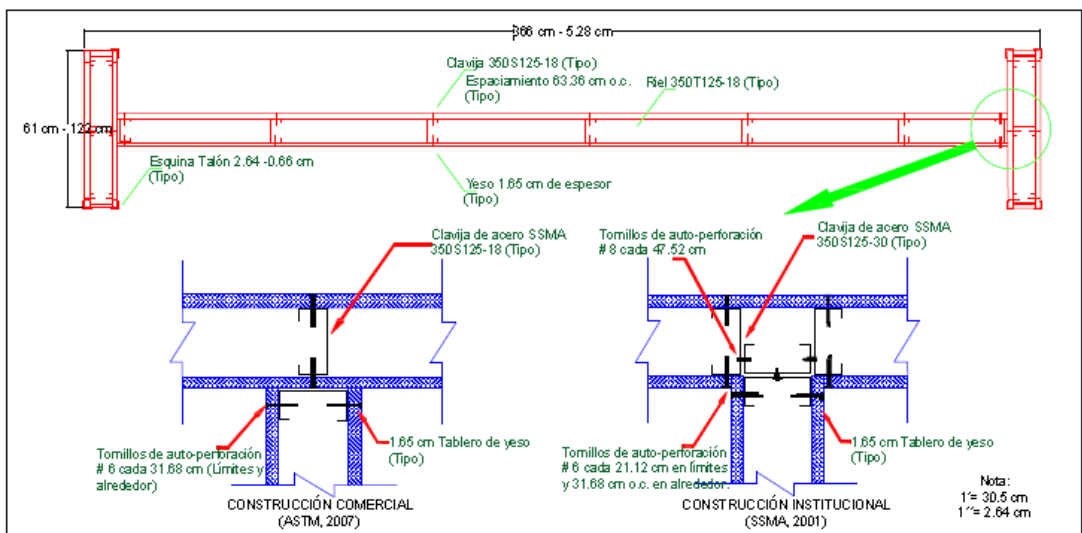
Durante el terremoto del 16 de abril se observó en varios edificios que las paredes construidas con Gypsum no sufrieron daño, en contraste con las construidas con mampostería. Un ejemplo de lo indicado se tiene en el Edificio Fortaleza, ubicado en la ciudad de Manta; en efecto, en el cuarto piso del edificio se encontró dos apartamentos el uno con paredes tradicionales de bloques y tuvo

bastante daño como se observa en la figura 9 a); y en el departamento que tiene paredes de Gypsum, no presentó daño alguno, figura 9 b).



**Figura 9** Paredes encontradas en dos apartamentos del cuarto piso de Edificio Fortaleza; a) Pared con bloques; b) Pared con Gypsum.  
Fuente: Aguiar y Borja (2016)

La reconstrucción de las paredes en la UTM se realizará con Gypsum, siguiendo las recomendaciones de cinco años de investigación, realizadas en los Estados Unidos, por un grupo de investigadores de diferentes universidades (2008-2013). En que se indican espaciamiento de los perfiles de acero de lámina delgada que conforman la parte central de la pared; forma de unir una pared con otra que es ortogonal; conexión de la pared con el piso y con la losa, etc. En la figura 10 se indica varias de estas recomendaciones.



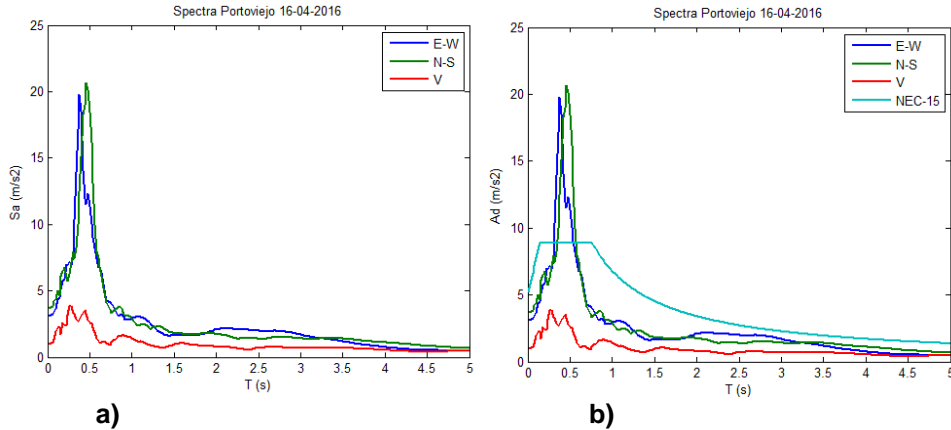
**Figura 10** Pared de Gypsum con armadura de lámina delgada y conexiones.  
Fuente: Filiatrault (2015)



## 5. ESPECTROS DEL TERREMOTO

Los registros del sismo, del 16 de abril, fueron registrados en Portoviejo, en el Jardín Botánico de la UTM, que corresponde a un suelo tipo D, de acuerdo a la clasificación del NEC-15, y fueron publicados por el IGP (2016).

En la figura 11 a) se observa que las componentes EW y NS presentan ordenadas espectrales muy parecidas, no sucede lo mismo con el espectro de la componente vertical que es considerablemente menor.



**Figura 11** a) Espectros obtenidos en la ciudad de Portoviejo; b) Comparación con espectro de NEC-15

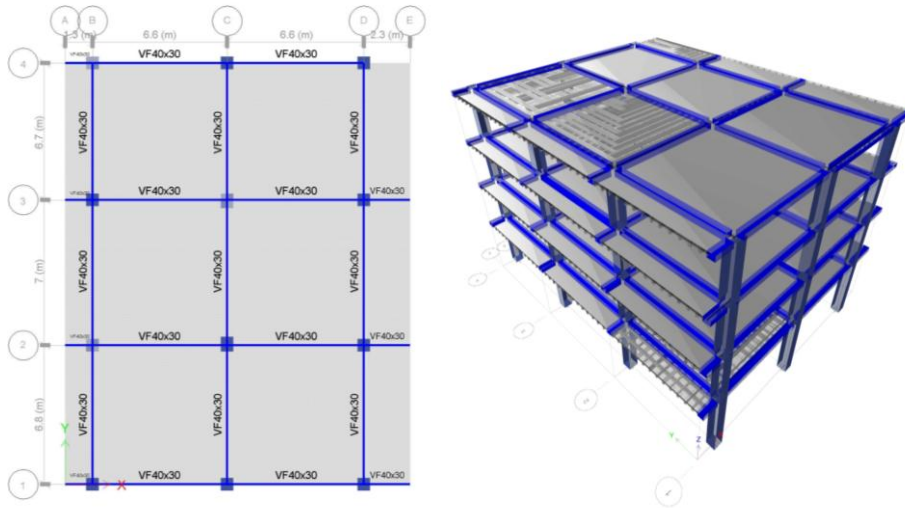
En la figura 11 b) se incluye el espectro que reporta el NEC-15 y se aprecia en la zona de períodos que están alrededor de 0.5 segundos las ordenadas del espectro de Portoviejo llegan a los 20  $m/s^2$ , en cambio las ordenadas del espectro del NEC-15 no llegan a 10  $m/s^2$ .

Por lo tanto, las ordenadas del espectro de Portoviejo, son mayores que las recomendadas por el NEC-15 en la zona de máxima aceleración (plataforma de aceleración constante).

Con este espectro de Portoviejo, se va a realizar el análisis sísmico en uno de los Boques Estructurales de la Facultad de Filosofía, pero sin tomar en cuenta el último piso, que va a ser derrocado. Se lo realizará considerando el peso de la mampostería de bloques y considerando el peso de las paredes de Gypsum.

## 6. ANÁLISIS SÍSMICO DE BLOQUE ESTRUCTURAL

En la figura 12 se presenta la planta y elevación del Bloque estructural de 4 pisos, de hormigón armado, que se analizó, utilizando el programa SAP 2000; en la figura 13 se indican dos pórticos en sentido longitudinal y en la figura 14 un pórtico en sentido transversal.



**Figura 12** Vista en planta y elevación de Bloque Estructural analizado, de Facultad de Filosofía.



**Figura 13** Pórticos en sentido longitudinal.

En las figuras 13 y 14 se indica la sección transversal de los elementos, destacando que la losa es con vigas banda. La resistencia del hormigón empleado es 21 MPa.

Se realizó un Análisis Espectral considerando un modelo de losa rígida con tres grados de libertad por planta. (Aguiar, 2012) Un factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R = 6$ . Se analizó para dos condiciones de carga, la primera con las paredes pesadas y rígidas; en este caso la carga adicional que se dio al SAP 2000, fue de  $400 \text{ kg/m}^2$ , se entiende que el programa determina los pesos propios de los elementos estructurales, de tal manera que la carga dada corresponde a la que no puede calcular el programa y corresponde a la mampostería con enlucidos en los dos lados, acabados de piso y enlucidos horizontales.

La otra condición de carga contempla la colocación de paredes livianas y flexibles (Gypsum) en este caso la carga adicional dada al SAP 2000 es de 200 kg/m<sup>2</sup>. Los resultados del análisis sísmico se indican en la tabla 1 y se comentan a continuación.



**Figura 14** Pórtico en sentido Transversal

**Tabla 1** Resultados del análisis sísmico con dos condiciones de carga; i) considerando paredes pesadas y ii) con paredes livianas

Carga Mampostería Pesada Sentido Longitudinal				
Pisos	1	2	3	4
q <sub>line</sub> (cm)	3.436	7.48	11.04	13.588
γ (%)	0.76	1.24	1.08	0.76
T (s)	1.087			
Vo (Ton)	88.14	78.93	59.53	33.11

Carga Mampostería Liviana Sentido Longitudinal				
Pisos	1	2	3	4
q <sub>line</sub> (cm)	2.244	4.884	7.2	8.856
γ (%)	0.52	0.8	0.72	0.52
T (s)	0.967			
Vo (Ton)	58.25	52.17	39.93	20.87

Carga Mampostería Pesada Sentido Transversal				
Pisos	1	2	3	4
q <sub>line</sub> (cm)	3.272	7.008	10.296	12.82
γ (%)	0.76	1.08	1.08	0.84
T (s)	1.165			
Vo (Ton)	92.26	74.92	62.88	46.15

Carga Mampostería Liviana Sentido Transversal				
Pisos	1	2	3	4
q <sub>line</sub> (cm)	2.668	5.808	8.6	10.684
γ (%)	0.64	0.96	0.88	0.68
T (s)	1.036			
Vo (Ton)	72.53	66.55	48.43	31.84

- **Estructura con Mampostería Pesada (que resistió el terremoto)**

El período fundamental de vibración es 1.165 segundos; el desplazamiento lateral máximo hallado es 13.588 cm; la deriva de piso máxima es 1.24%; la altura total del edificio es 13 m. Se tuvo un daño extensivo en paredes.

- **Estructura con paredes de Gypsum (para la reconstrucción)**

El período fundamental de vibración es 1.036 segundos; el desplazamiento lateral máximo esperado es 10.684 cm; la deriva máxima es 0.96%; la altura total 13 m.

## 7. RESUMEN DE TRABAJOS A REALIZAR

- **Reforzamiento con CFRP**

El segundo piso fue el que presentó las mayores derivas de piso, superiores a la unidad, durante el terremoto del 16 de abril. Por lo que en todas las columnas de los tres bloques de ese piso se colocarán en la cabeza se colocarán tres láminas horizontales de 10 cm de ancho y espaciadas cada 10 cm, de CFRP. Lo propio se realizará en el pie de columna. Las láminas darán una vuelta completa al perímetro de la columna y tendrán un traslape de 20 cm.

En las columnas de la planta baja que tienen daño por efecto del impacto de la losa del Bloque Estructural de un piso, se colocará una lámina de 50 cm, de ancho en todo el perímetro de la columna.

- **Mayor junta de construcción**

Las losas de los Bloques Estructurales de un piso, deberán ser cortadas 5 cm, de ancho en una longitud mayor a la dimensión de la columna de los Bloques de Hormigón Armado de 4 pisos, con las cuales se han impactado. Además, se colocará neopreno como material amortiguante para tener una precaución extra en caso remoto de un nuevo choque de la losa con la columna.

- **Mampostería Liviana y flexible**

Se ha demostrado numéricamente que se obtienen desplazamientos laterales y derivas de piso menores, con paredes livianas y flexibles. Es importante que estén debidamente sujetadas a las losas del piso inferior y superior; de igual manera que cumplan con lo recomendado por Filiatrault (2015)

- **Derrocamiento de estructura metálica**

Se debe derrocar la estructura metálica, debido a que las derivas de piso, encontrada, con paredes livianas y sin considerar ésta estructura es 0.96% al realizar el análisis sísmico con la estructura metálica saldrá mayor a la unidad y eso implica daño. Además, existen elementos que no están bien sujetos que pueden caerse.

## 8. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Durante el terremoto del 16 de abril, las estructuras de hormigón armado de cuatro pisos y una cubierta metálica, tuvo demasiado daño en la mampostería, a tal punto que si el sismo se registraba con estudiantes en sus aulas, habría una gran cantidad de heridos. Las paredes de bloques o ladrillos cuando cubren grandes áreas sin elementos confinantes explotan; cuando tienen elementos confinantes se dañan menos.

Por lo expuesto en el párrafo anterior se decidió reconstruir con paredes livianas y flexibles, como gypsum. En caso de dañarse estas paredes, no causan heridas como lo hacen las de bloques. En varios edificios de Manabí se ha visto un

comportamiento bueno de las paredes con Gypsum. Con el cambio de paredes pesadas a livianas, mejora notablemente el comportamiento de las estructuras.

Existe evidencia de que una columna del segundo piso del Bloque de Gradadas, ingresó al rango no lineal, figura 8. Por otro lado, del análisis sísmico en uno de los Bloques Estructurales empleando el espectro obtenido en Portoviejo se halló que la deriva máxima del segundo piso es 1.24%, que implica la existencia de fisuras milimétricas en los elementos estructurales, que no se les ha apreciado por lo que se debe reforzar con CFRP todas las columnas del segundo piso, de los tres bloques estructurales, en la forma indicada en el apartado anterior.

En los tres Bloques Estructurales de un piso, el comportamiento fue muy bueno, no existió daño alguno. En cambio, en los tres Bloques Estructurales de 4 pisos de Hormigón Armado más la cubierta metálica, el daño en la mampostería de los dos primeros pisos fue *extensivo* y de los restantes pisos superiores *moderado*, utilizando la clasificación de daño de FEMA 306.

En promedio, el daño registrado en las columnas del segundo piso de los tres bloques estructurales fue leve; en los restantes pisos no se ha observado daño estructural.

## AGRADECIMIENTO

A los Profesores de la Universidad Técnica de Manabí: Carlos Villacreces, Lincoln García, Jorge Palacios, Yordy Mieles, Edgar Menéndez, por los valiosos comentarios realizados durante el trabajo de campo. De igual manera a los egresados y nuevos ingenieros: Rocío Romero, César Cedeño, Katherine Navarrete y Diana García por el apoyo dado al desarrollo de este estudio.

## REFERENCIAS

1. Aguiar R. (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH. Segunda edición, 416 p., Quito.
2. Aguiar R., Del Castillo F., (2016), "Comportamiento de edificio Fortaleza ubicado en Manta, durante el terremoto del 16 de abril de 2016", *Consultoría*, 13 p. Manta.
3. 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.
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-15, (2015), *Norma Ecuatoriana de la Construcción*, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI.

6. RENAC (2016) *Acelerogramas del terremoto del 16 de abril de 2016*, Red Nacional de Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, Quito.