

**REFORZAMIENTO DE GRADA DE ACCESO A  
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA DE  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**

**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)

Centro de Investigaciones en Ingeniería Sísmica  
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ULEAM

**Marcos Zevallos**

Facultad de Ciencias Matemáticas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Universidad Técnica de Manabí  
Correo Electrónico: [marcoszevallos66@yahoo.com](mailto:marcoszevallos66@yahoo.com)

**Edgar Menéndez, Jorge Palacios, Lincoln García,  
Yordy Mieles, Carlos Villacreces.**

Facultad de Ciencias Matemáticas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Universidad Técnica de Manabí

**RESUMEN**

Durante el terremoto del 16 de abril de 2016 de Pedernales, de Magnitud 7.8 un número considerable de gradas de edificios de Manta y Portoviejo, tuvieron un mal comportamiento sísmico, lo que obligará a estudiar con más detenimiento esta problemática. En éste artículo se presentan algunos casos de gradas que colapsaron durante el sismo o van a ser derrocadas.

Posteriormente se analiza el comportamiento sísmico y reforzamiento propuesto de la grada de acceso a los Bloques Estructurales de los Edificios de la Facultad de Administración y Economía de la Universidad Técnica de Manabí, de la ciudad de Portoviejo.

**Palabras Claves:** Reforzamiento de Grada. Sismo de Pedernales del 16 de abril de 2016.

## ABSTRACT

During the earthquake of April 16, 2016 Pedernales 7.8 Magnitude stands a considerable number of buildings Manta and Portoviejo, they had a bad seismic behavior, forcing to look more closely at this issue. In this article some cases of bleachers that collapsed during the earthquake or will be overthrown presented.

Later the seismic behavior and reinforcement proposed tier access to the building blocks of buildings of the Faculty of Administration and Economics at the Technical University of Manabí, Portoviejo city is analyzed.

**Keywords:** Strengthening ladder. Pedernales earthquake of April 16, 2016.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las fallas frecuentes en los Centros de Educación, durante el terremoto del 16 de abril de 2016, se dio en el Bloque de Escaleras, cuando a sus dos lados se tienen Bloques Estructurales de aulas, como el indicado en la figura 1, que corresponde a la Facultad de Informática de la Universidad Técnica de Manabí.

La causa del mal desempeño sísmico se debe a que las losas de los Bloques de aulas llegan a la mitad del Bloque de gradas, como se observa a la derecha de la figura 1 y la impactan al no haber dejado una separación adecuada entre éstos Bloques Estructurales.

En el Bloque de Gradas de la figura 1, la sección de las columnas en la mitad de la luz se redujo considerablemente por el impacto de los Bloque Estructurales adyacente y después del terremoto la estructura empezó a vibrar con el paso de la gente.



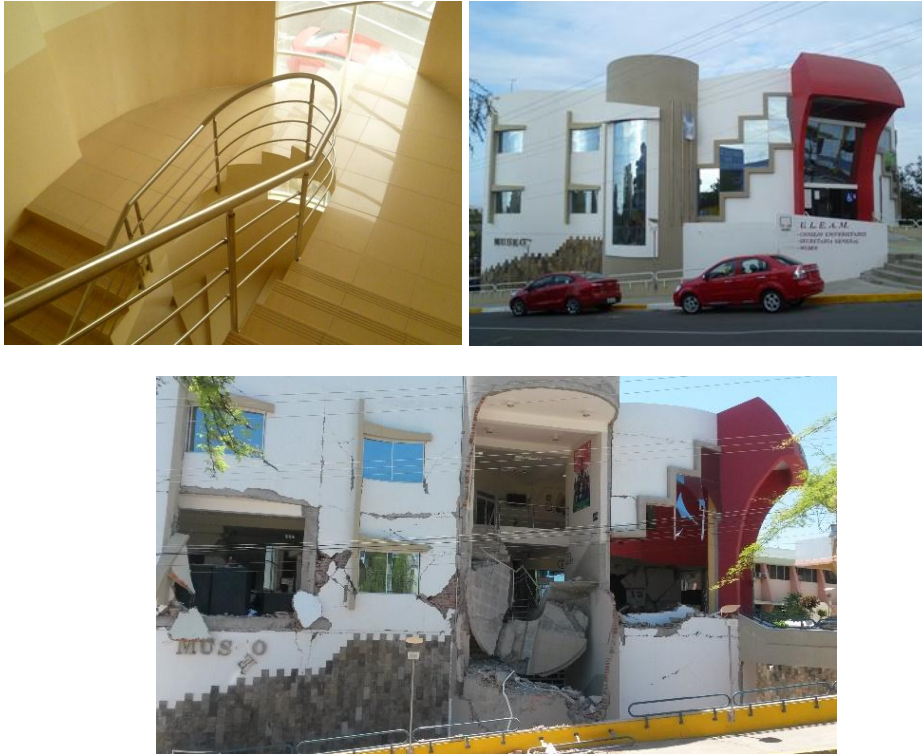
**Figura 1** Mal comportamiento de las gradas de la Facultad de Informática de la Universidad Técnica de Manabí.

Para evitar este tipo de fallas, se debe dejar una junta de construcción adecuada, y hacerla más rígida de preferencia con muros de corte.

La figura 2, corresponde al colapso de la grada de acceso al Rectorado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ULEAM. En la parte superior se tiene

una vista de cómo era antes del terremoto, se aprecia que el descanso es una losa circular que se apoyaba en las paredes.

Al colapsar la pared que era de bloque, el descanso empezó a trabajar en voladizo y al no tener vigas en su parte inferior colapsó, ver fotografía inferior de figura 2.



**Figura 2** Colapso de la grada al Rectorado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manta.

La estructura de la figura 3, es una construcción ubicada en el barrio Umiña 2, de la ciudad de Manta, que estuvo paralizada por algunos años, talvez porque es una construcción muy flexible para el número de pisos que tiene. Durante el terremoto del 16 de abril de 2016, las gradas de algunos pisos colapsaron como se aprecia a la izquierda de la figura 3.



**Figura 3** Colapso de gradas en algunos pisos de edificio flexible ubicado en Manta.

Nuevamente la losa de descanso de la grada fue la que estaba apoyada sobre la mampostería y al desplazarse lateralmente el edificio perdió apoyo y el descanso empezó a trabajar en voladizo y colapsó por ser muy flexible. Esta grada corresponde al típico modelo de grada empotrada-apoyada.

Si se habría proyectado la grada con una viga de descanso que se apoye en las dos columnas de la estructura, probablemente no colapsaba la grada.

Los casos presentados son algunos ejemplos del mal comportamiento que tuvieron las gradas durante el terremoto del 16 de abril de 2016 y constituyen un llamado de atención para dedicarle un mayor tiempo al análisis y diseño sísmico de estos elementos estructurales que son importantes en una construcción.

## **2. DESCRIPCIÓN DE GRADA DE FACULTAD DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN**

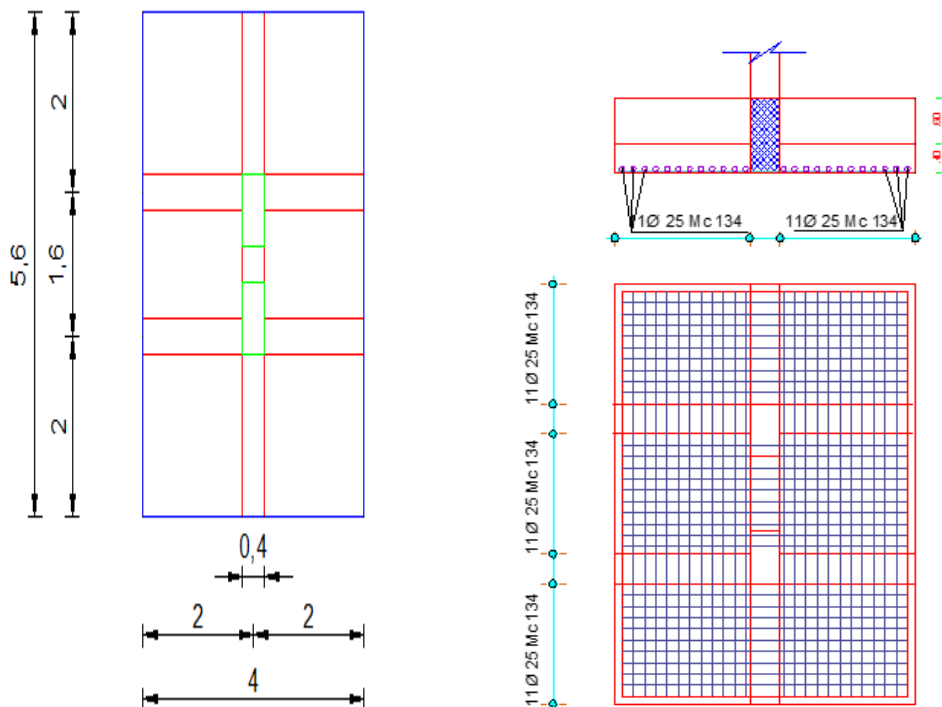
En la Universidad Técnica de Manabí existen dos construcciones idénticas, de cuatro pisos cada una; en la figura 4 se presenta una de ellas. En una de las construcciones funcionan las Carreras de Economía y Auditoría y en la otra la de Administración.

El objetivo del artículo es primero describir la grada de acceso que se indica en la figura 4, que no sufrió daño durante el terremoto pero quedó con un desplazamiento lateral y rotación permanente, por lo que se pensó en un inicio que el problema es de suelos, pero no es así.

Para entender el problema es necesario describir la estructura iniciando desde la cimentación, la misma que está compuesta por una losa maciza de 40 cm de espesor sobre vigas "T" invertidas de 40/100 cm, que se muestran en la figura 5. La capacidad portante del suelo es 7 T/m<sup>2</sup> y la profundidad de desplante es de 1 m.



**Figura 4** Edificio de la Carrera de Administración.



**Figura 5** Losa de cimentación de 40 cm de peralte con vigas "T" de 40/100 cm.

La estructura de la grada se apoya en dos columnas de 40/80 cm, en los dos primeros pisos; 40/70 cm, en los dos siguientes pisos y a nivel de tapa grada la sección de las columnas pasa a 40/60 cm. A la izquierda de la figura 6 se observan



las dos columnas donde también se ve las vigas de sección constante de 30/40 cm, y la viga de sección variable que llega a los bloques estructurales del edificio principal. Por el otro lado se tienen vigas de sección constante como se ve en la fotografía de la derecha de la figura 6.

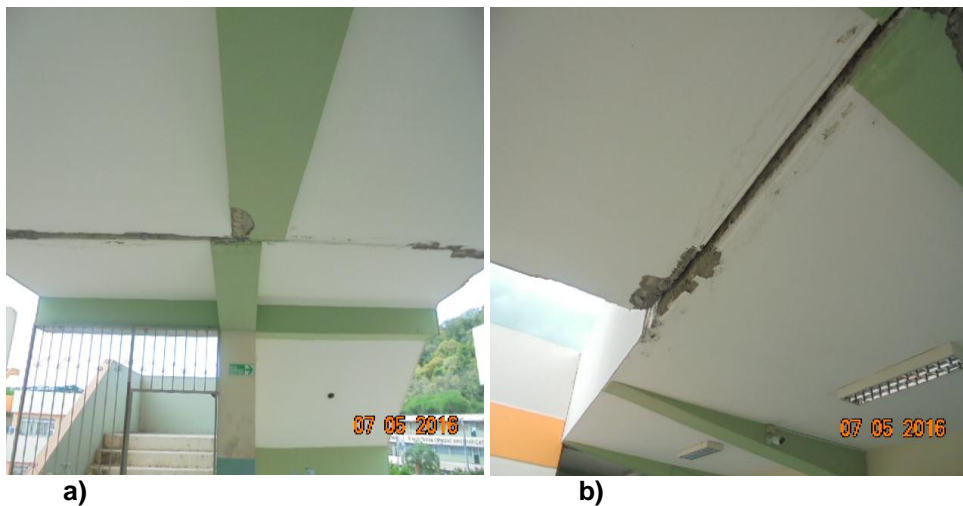


**Figura 6** Columnas y vigas de la grada.

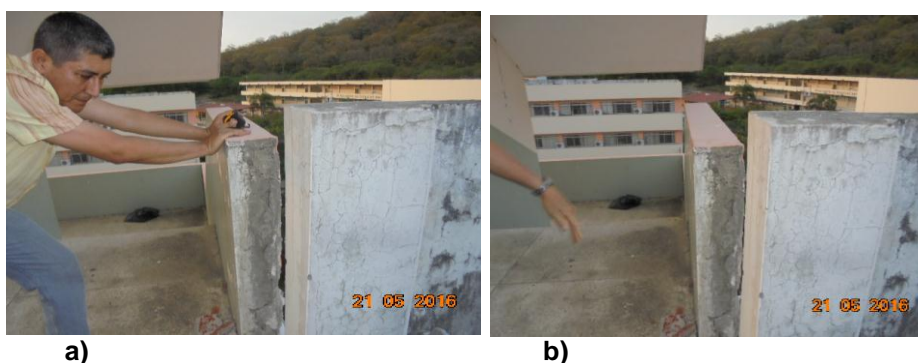
A partir del primer descanso se colocó mampostería entre las dos columnas, como se ve a la derecha de la figura 6 y no se observa ninguna fisura.

### 3. ESTADO DE LA GRADA DESPUÉS DEL TERREMOTO

La estructura de la grada, durante el terremoto del 16 de abril se impactó con el Bloque de la estructura principal, debido a que la junta existente tiene menos de 3 cm. Pero a más de ello, en el sentido ortogonal en que la grada no tiene ninguna restricción al desplazamiento lateral, se deformó una cantidad considerable. En la figura 7 a) se ve la viga de grada y la viga de la estructura principal es muy probable que nunca coincidieron. En la figura 7 b) se observa que hubo una ligera rotación de la grada.



**Figura 7** Estado de la grada después del terremoto: a) Desplazamiento Lateral; b) Rotación de la grada. Fotos tomadas en el último piso.



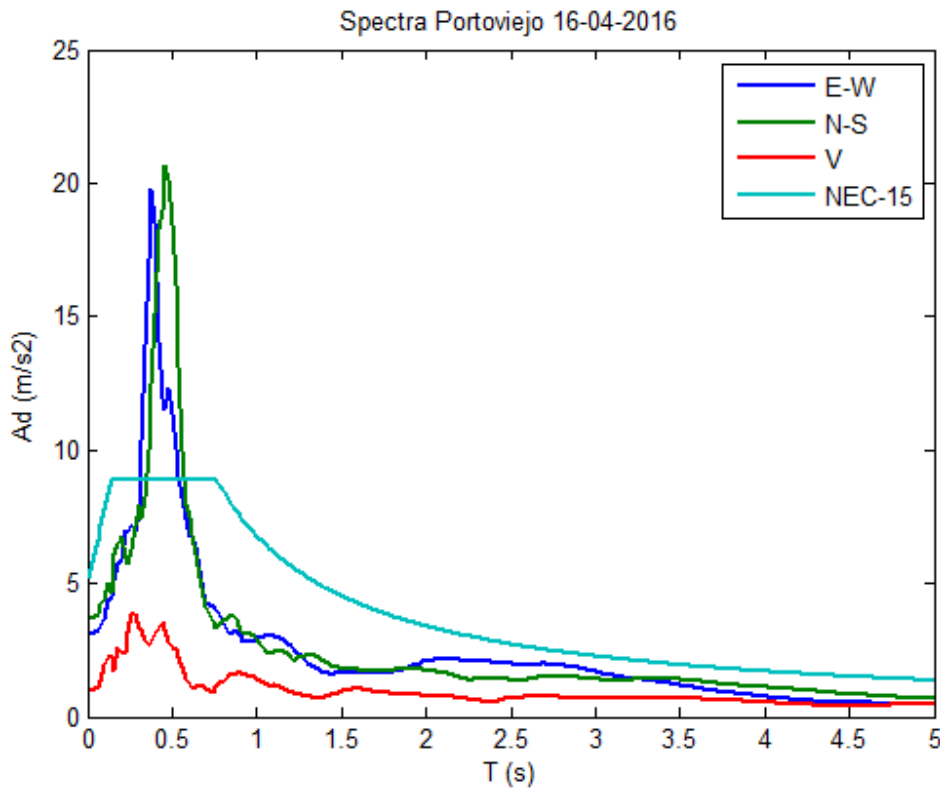
**Figura 8** La grada vibra; a) Condiciones Iniciales; b) Condición genérica del movimiento.

Lo impresionante es que las gradas, después del terremoto vibran, cuando la gente corre. En la figura 8 presenta un problema de vibración libre en un sistema de  $n$  grados de libertad; en la figura 8 a) se dan las condiciones iniciales y en la figura 8 b) se presenta una posición genérica del movimiento. La grada oscila lateralmente. Se debe indicar que la grada toda la vida ha vibrado pero no tanto como ahora (Mieles, 2016)

Con esta realidad inicialmente se pensó en botar la grada y construir una nueva, pensando que el problema es de suelo. Pero la semana del 23 de mayo de 2016 se apuntaló la grada y se hizo una excavación con la idea de encontrar un suelo con un nivel freático alto pero no se vio nada de esto. Además un especialista de suelos de la Universidad hizo ensayos y descartó la posibilidad de que el problema es de suelos. (Veliz 2016).

#### 4. ANÁLISIS SÍSMICO DE LA GRADA

Se decidió realizar un análisis espectral de la estructura de la grada utilizando los espectros obtenidos en la ciudad de Portoviejo, en el Jardín Botánico de la Universidad los mismos que se presentan en la figura 9. (RENAC 2016). Donde también se indica el espectro que recomienda el NEC-15 para un perfil de suelo tipo "D" en Portoviejo.



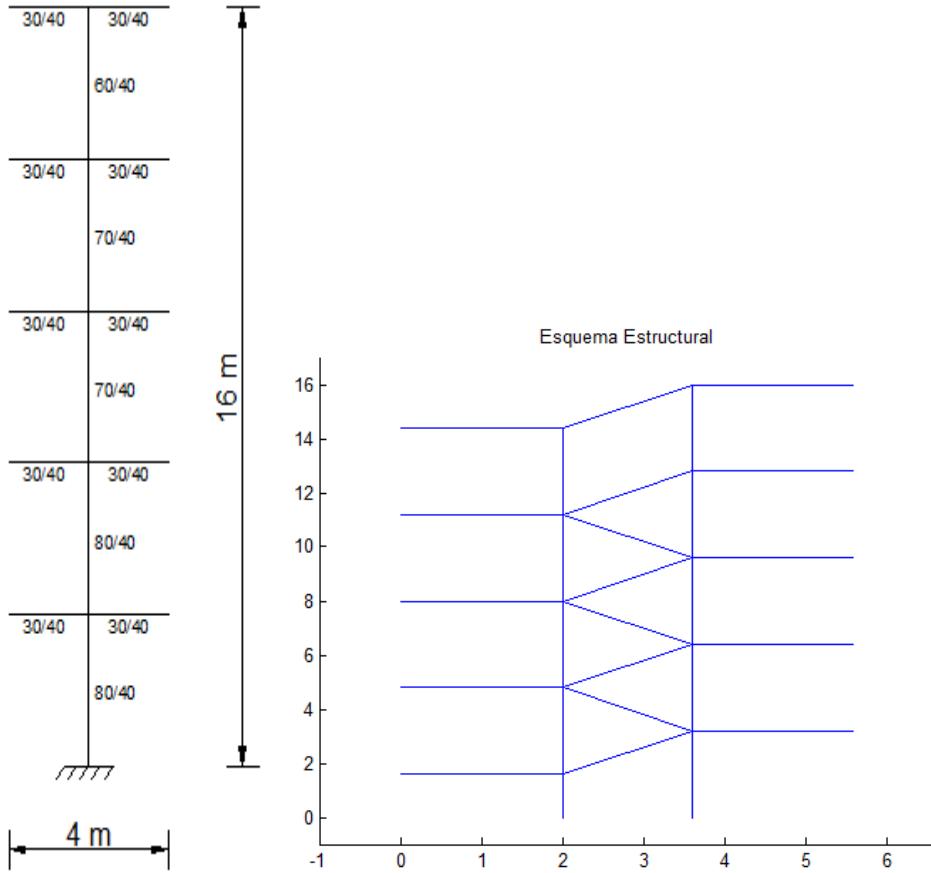
**Figura 9** Espectros de respuesta elástica para 5% de amortiguamiento del terremoto del 16 de abril de 2016, obtenidos en Portoviejo y espectro del NEC-15 para un perfil de suelo tipo D.

#### 4.1 Análisis sísmico de estructura

La grada tiene tres pórticos, dos en sentido transversal y es el indicado a la izquierda de la figura 10 a, compuesto por un eje de columnas y vigas que trabajan en voladizo a los dos lados. A más de ello existe un pórtico en sentido longitudinal que es el que se muestra en la figura 10 b.

Se realizó un análisis sísmico en coordenadas de piso, considerando tres grados de libertad por planta. (Aguiar, 2012 y 2014). La matriz de rigidez lateral del pórtico indicado a la izquierda de la figura 10 a, es de 5 por 5. No hay ningún problema para que la matriz de rigidez lateral del pórtico indicado a la derecha de la figura 10 b, sea del mismo orden se trabajó con el sistema de coordenadas generalizadas indicadas en la figura 11.

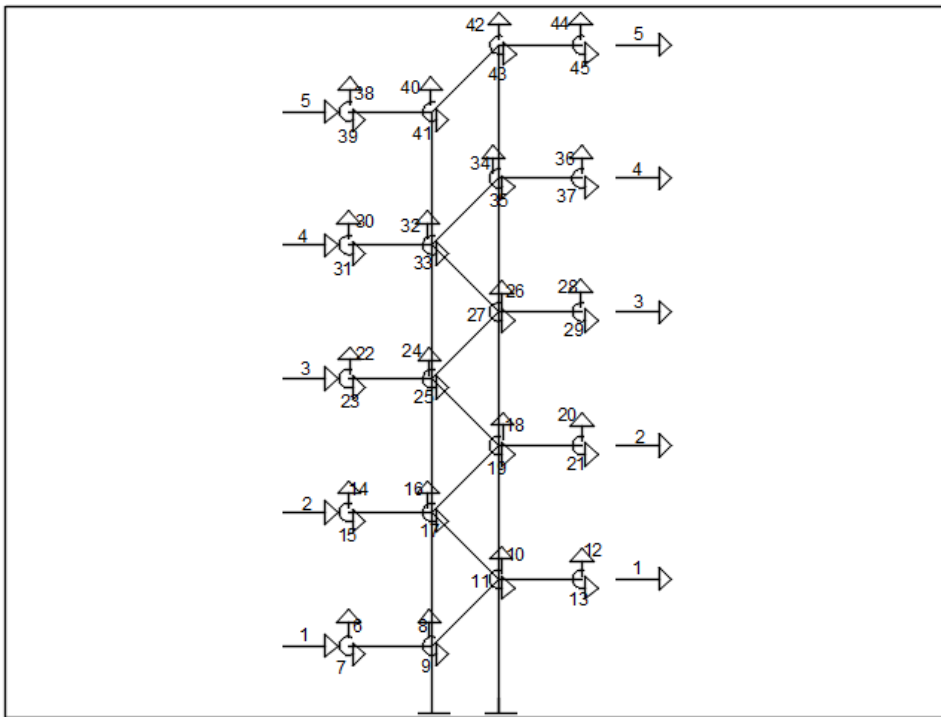




**Figura 10** Pórticos de la Estructura de la Grada.

El período fundamental de vibración que se encontró de la estructura es 8.25 segundos cantidad inadmisibles. Sin embargo se continuó con el análisis sísmico ante la componente EW del espectro obtenido en Portoviejo y los resultados se presentan en la tabla 1 y en la figura 12, las derivas de piso para los dos sentidos de análisis.

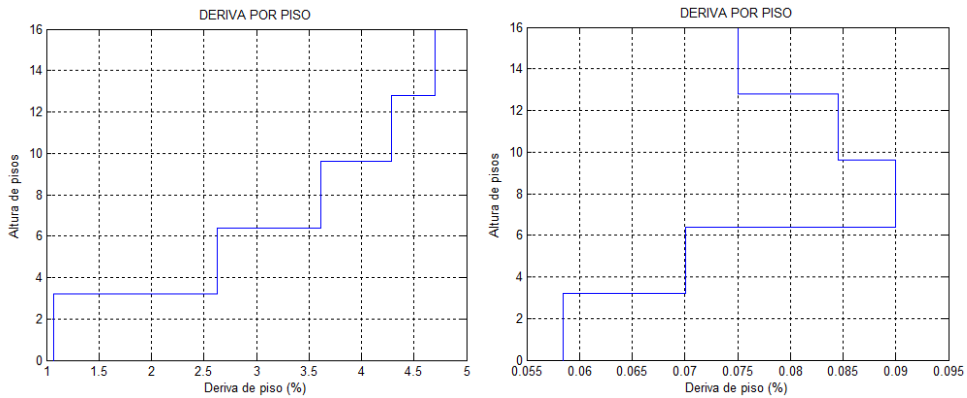
En el sentido transversal la grada durante el sismo se desplazó bastante llegando a un valor de 52.12 cm, en el tapa grada pero como no existe ninguna estructura en ese sentido no tuvo impacto. En el sentido longitudinal el desplazamiento en el tapa grada fue 1.21 cm se impactó con el edificio principal porque existe torsión. Los resultados de la tabla 1 son en el Centro de Masas de cada piso. El desplazamiento longitudinal encontrado concuerda con lo observado en el sentido que los dos bloques estructurales se impactaron pero no se “dañaron”.



**Figura 11** Grados de libertad considerados para encontrar matriz de rigidez lateral de Pórtico Longitudinal

**Tabla 1** Desplazamientos laterales y derivas de piso de Estructura de Grada durante el terremoto del 16 de abril de 2016. Resultados en Centro de Masas.

Piso	Sentido Transversal		Sentido Longitudinal	
	$q$ (cm)	$\gamma$ (%)	$q$ (cm)	$\gamma$ (%)
1	3.42	1.06	0.19	0.06
2	11.82	2.62	0.41	0.07
3	23.37	3.61	0.70	0.09
4	37.09	4.28	0.97	0.08
5	52.12	4.69	1.21	0.07



**Figura 12** Derivas de piso en sentido transversal y longitudinal de Estructura de Grada.

## 4.2 Nuevo modelo de análisis sísmico

Una vez que se conoce cuál es el problema se decidió modelar los pórticos transversales con apoyo en el lado izquierdo y con rodillo en el lado derecho como se muestra a la derecha de la figura 13. A la izquierda se indica el modelo inicial que trabaja en voladizo a los dos lados.

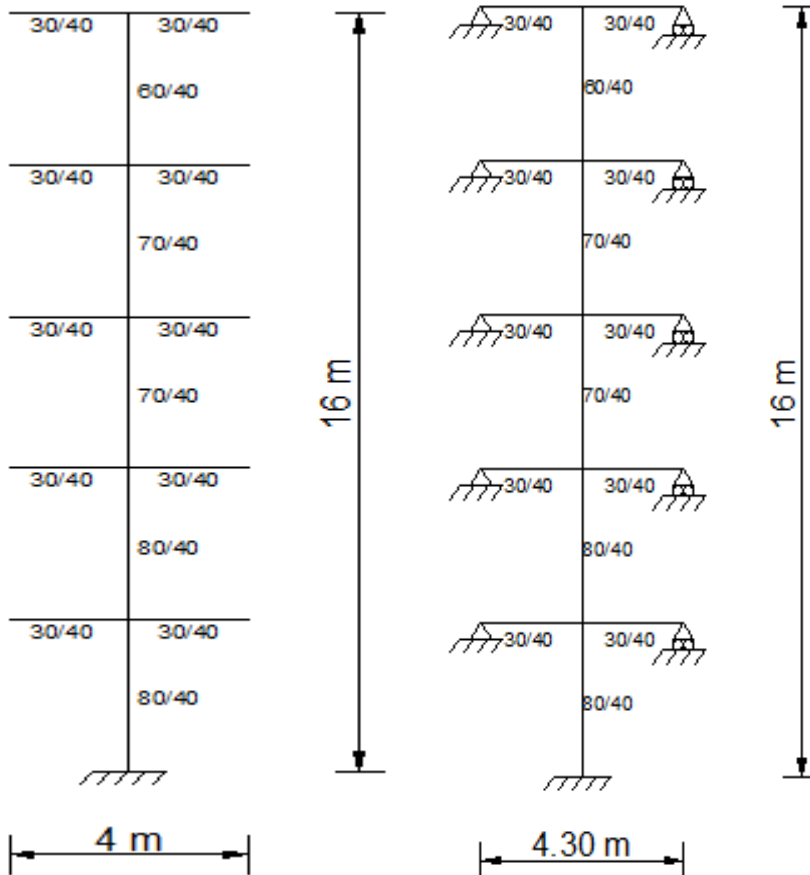
Posteriormente se indicará el sistema constructivo con el cual se alcanza el modelo indicado a la derecha de la figura 13. En el sentido longitudinal se mantiene el modelo de cálculo.

En este caso el período fundamental de la estructura es 1.83 segundos. Y en la tabla 2 se indican las respuestas en el Centro de Masas de cada piso, en desplazamientos y derivas de piso ante la componente EW del espectro de Portoviejo, que dicho sea de paso se considera como espectro de diseño para el reforzamiento.

**Tabla 2** Desplazamientos laterales y derivas de piso de Estructura de Grada con nuevo modelo de pórtico transversal utilizando el espectro obtenido en Portoviejo.

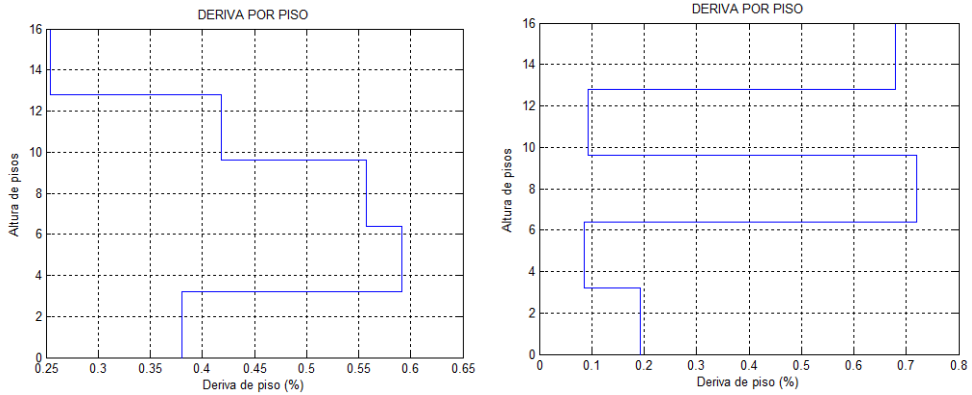
Piso	Sentido Transversal		Sentido Longitudinal	
	$q$ (cm)	$\gamma$ (%)	$q$ (cm)	$\gamma$ (%)
1	1.22	0.38	0.62	0.19
2	3.11	0.59	0.89	0.09
3	4.90	0.56	3.19	0.72
4	6.23	0.42	3.49	0.09
5	7.05	0.25	5.67	0.68

El máximo desplazamiento lateral que se tiene ahora es 7.05 cm, en sentido transversal y la máxima deriva de piso es 0.72%. En la figura 14 se presentan las derivas de piso encontradas.



**Figura 13** A la izquierda modelo inicial en el sentido transversal y a la derecha nuevo modelo de análisis pensando en el reforzamiento estructural.

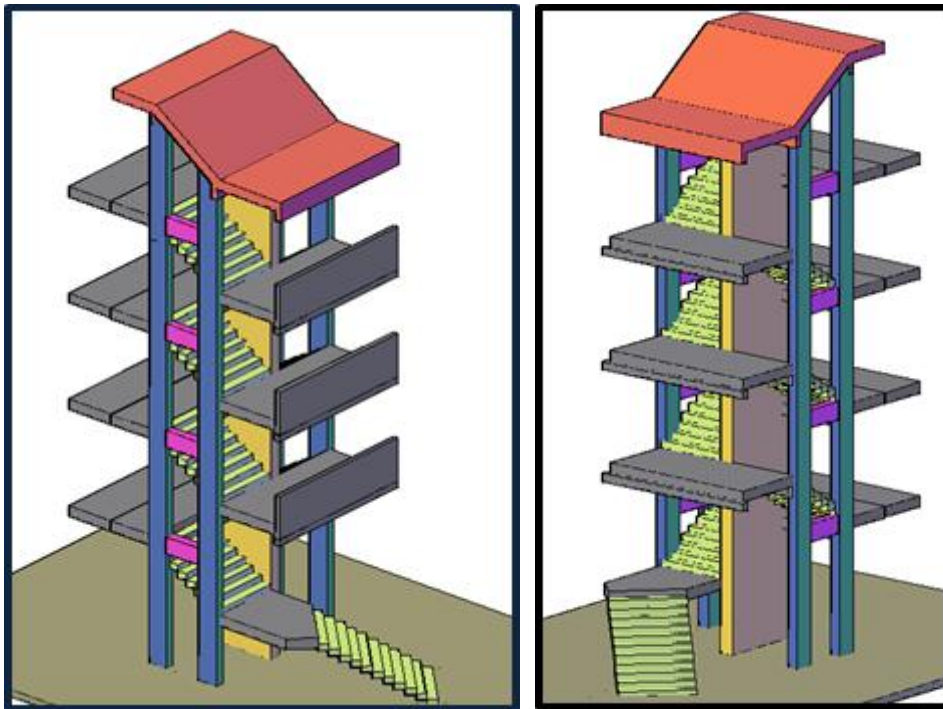
En resumen al cambiar el modelo de análisis del pórtico en sentido transversal mejora notablemente el comportamiento sísmico de la grada. Ahora como se espera tener los apoyos en los extremos de las vigas es mediante la construcción de una estructura por los lados con una viga que pase por la mitad para que no se desplace verticalmente, en el siguiente apartado se ilustra la forma como de construcción del reforzamiento propuesto.



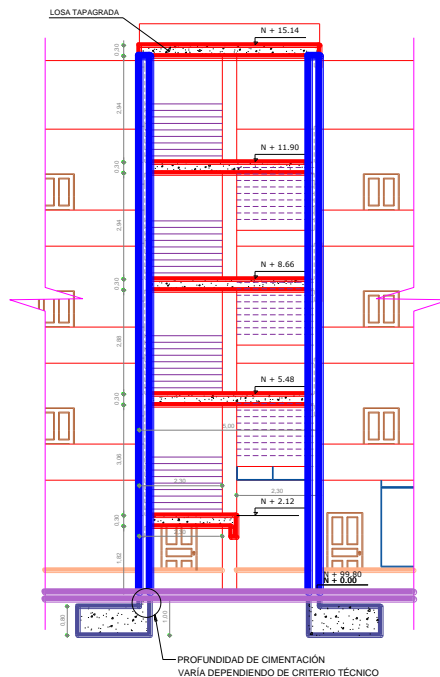
**Figura 14** Derivas de Piso en Centro de Masas en sentido transversal y longitudinal con nuevo modelo de Pórtico en sentido transversal.

## 5. REFORZAMIENTO SÍSMICO DE LA GRADA

El reforzamiento de la grada consiste en construir cuatro columnas por la parte exterior de las gradas, como se muestra en la figura 15 y vigas horizontales que unan las columnas en sentido longitudinal y en sentido transversal, ver figura 16. Las vigas transversales van en parte inferior de la losa de la grada.



**Figura 15** Pórticos Exteriores a la grada que se van a construir en el reforzamiento sísmico.



**Figura 16** Columnas exteriores a construir y viga de unión de las columnas. Sobre estas vigas se apoya la grada y se consigue el modelo propuesto.

En la parte inferior de la grada se indica el detalle de la cimentación de las columnas que no interfiere en nada con la cimentación existente.

En la figura 17 se presenta una vista lateral de la grada, en que se aprecia el desarrollo de la misma y las columnas y vigas que se van a construir.

Una grada muy similar a la analizada, se tiene en el Hospital Rodríguez Zambrano de la ciudad de Manta, conformada por un muro de corte en la parte central de tal manera que es muy rígida en el sentido del muro de corte pero en el otro sentido no lo es y se impactó con la estructura a la que daba acceso. Para el reforzamiento se procedió en forma similar colocando muros de corte en el sentido transversal; con todo esto lo que se pretende es que el lector analice con detenimiento el comportamiento sísmico de una grada en los dos sentidos, como la estudiada en estos últimos apartados.

Finalmente se debe manifestar que la profundidad de desplante de la grada fue de 1.00 m, en un suelo con una capacidad resistente muy baja. Si se habrían profundizado en la cimentación a una cota de 3 m, se habría cimentado en un mejor suelo y lo más importante, tenía mayor empotramiento la estructura de la grada y no habría sido necesario ningún reforzamiento.



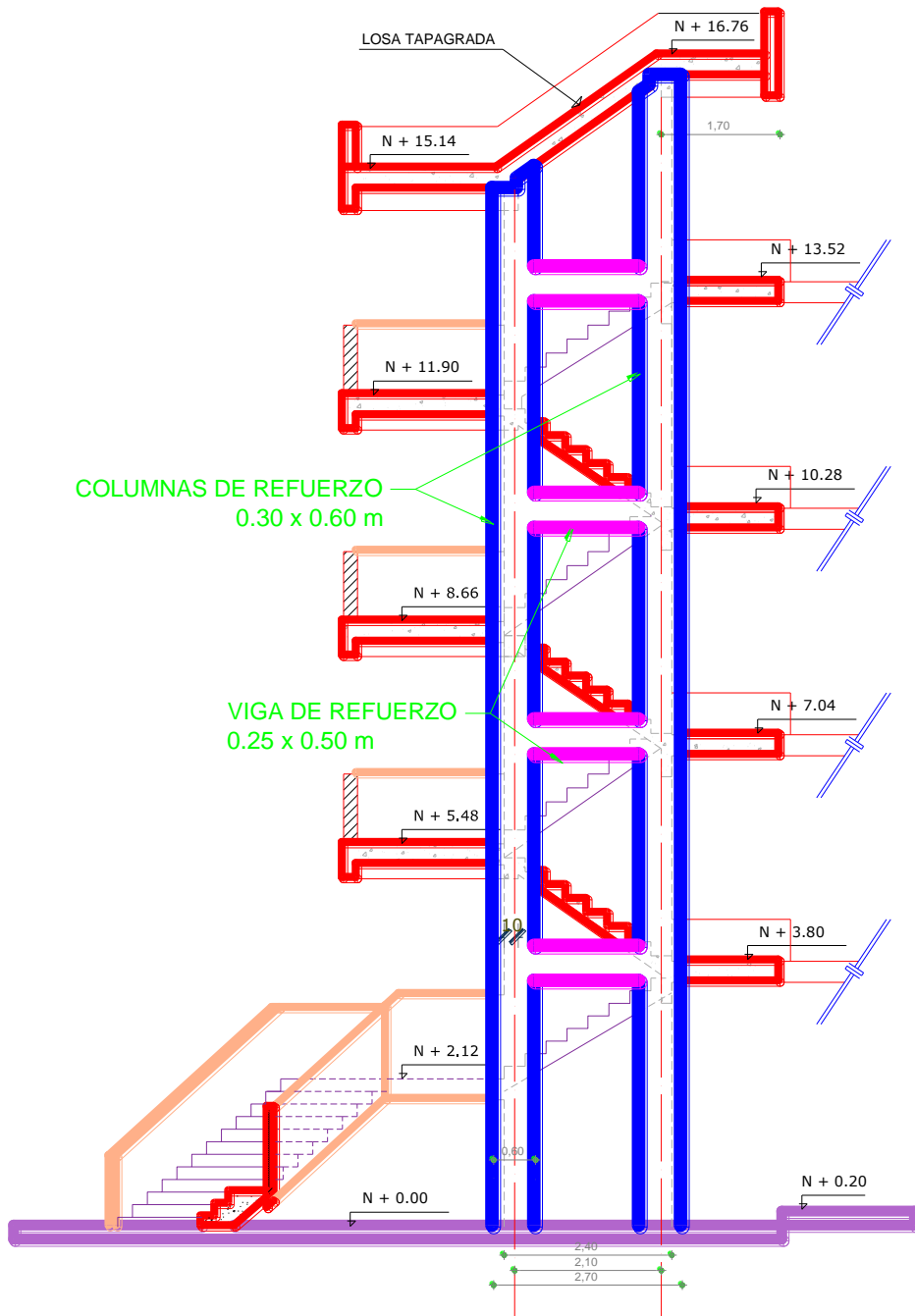


Figura 17 Vista de la grada existente y de las columnas y vigas de refuerzo.

## 6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado algunos casos de gradas que tuvieron un mal comportamiento durante el terremoto del 16 A, y todas ellas tienen un denominador común, se construyeron en una estructura bastante flexible que durante el terremoto se desplazó bastante lateralmente y los descansos de sus gradas estaban apoyados en paredes que colapsaron, en esa condición el descanso trabajó en voladizo y por su peso propio colapsó.

Si las estructuras habrían sido más rígidas o el descanso de la grada se apoyaba en una viga que a su vez está conectada a dos columnas, se habrían comportado mejor la grada. Otro tema que aquí no se abordó y que está relacionado con el comportamiento de las gradas es el armado mismo de la grada, que también tuvieron deficiencias.

Posteriormente se presentó el reforzamiento sísmico de una grada pero lo más interesante fue ver como se planteó la solución; primero se modeló en voladizo como estaba trabajando y posteriormente se colocó apoyos y se obtuvo un excelente desempeño. Luego la forma de cristalizar esos apoyos en el proyecto de reforzamiento es lo que se ha presentado.

Lo más importante es que el lector desarrolle primero modelos numéricos de cálculo sencillos, analice sus resultados y después vea la forma de minimizar los desplazamientos, en este caso cambiando el voladizo por un apoyo.

Se aspira con el desarrollo de este artículo haber dado luces para el reforzamiento sísmico de gradas que tienen estructuras similares.

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Vicente Pico, por la valiosa información suministrada sobre las gradas de la Facultad de Administración y Economía. De igual manera a los egresados y nuevos ingenieros: Rocío Romero y Julieth Córdova.

## 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., (2014), *Análisis Matricial de Estructuras*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH, cuarta edición, 676 p., Quito.
3. Mieles Y., (2016), *Comunicación personal sobre comportamiento de gradas de Facultad de Administración y Economía*. Portoviejo.
4. Veliz M., (2016), *Informe de suelos de cimentación de grada de Facultad de Administración y Economía*. Portoviejo.
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.