

NECESIDAD DE REFORZAR LAS ESTRUCTURAS AFECTADAS POR UN TERREMOTO

**Roberto Aguiar^(1,2), Marcos Zevallos⁽³⁾, Jorge Palacios⁽³⁾
Lincoln García⁽³⁾, Edgar Menéndez⁽³⁾**

**⁽¹⁾Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Av.
Gral. Rumiñahui s/n rrauiar@espe.edu.ec**

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

**⁽³⁾Escuela de Ingeniería Civil.
Facultad de Ciencias Matemáticas
Universidad Técnica de Manabí**

RESUMEN

En el sismo de 1998 que afectó a Bahía de Caráquez, algunas estructuras fueron reparadas pero no fueron reforzadas y en el terremoto del 16 de abril de 2016, de Pedernales, sucedió lo que tenía que suceder, tuvieron un mal comportamiento sísmico. En este artículo se presentan cuatro casos y son: Edificio Cabo Coral, Hotel Italia, Edificio Cevallos, Edificio Cedeño, ubicados en Bahía de Caráquez

El objetivo de este artículo es concientizar a la comunidad de que si una estructura tuvo año extensivo en la mampostería es necesario reforzar la estructura, no solo repararle y para ello se necesita contar con un espectro de diseño obtenido de un estudio de peligrosidad sísmica, conocer el tipo de suelo en que se halla la estructura mediante estudios geofísicos y en base a esta información ver la forma más idónea de reforzamiento.

1. INTRODUCCIÓN

El 4 de agosto de 1998, un sismo de 7.2, ubicado en las siguientes coordenadas: 80.53 W; 0.55 S, causó gran daño a la ciudad de Bahía de Caráquez, y se sintió con menos intensidad en Manta y Portoviejo. En la figura 1 se indica el epicentro y el mecanismo focal de éste sismo interplaca tipo thrust.

La EPN (1999) determinó cuatro grados de daño para evaluar el desempeño de las edificaciones de Bahía de Caráquez, de la siguiente manera:

Grado 0: No hay daños visibles, fisuración insipiente y daños menores en la tabiquería. Estructura portante sin daño.

Grado 1: Daños generalizados en la mampostería, caída y/o desprendimiento de trozos de paredes. Daños menores en los elementos estructurales que son fácilmente reparables.

Grado 2: Destrucción de la mampostería, volcamiento o grandes roturas en las paredes divisorias y algunos daños estructurales.

Grado 3: Daños importantes en los elementos estructurales que ameritan reparaciones y eventualmente su demolición. Edificios colapsados.

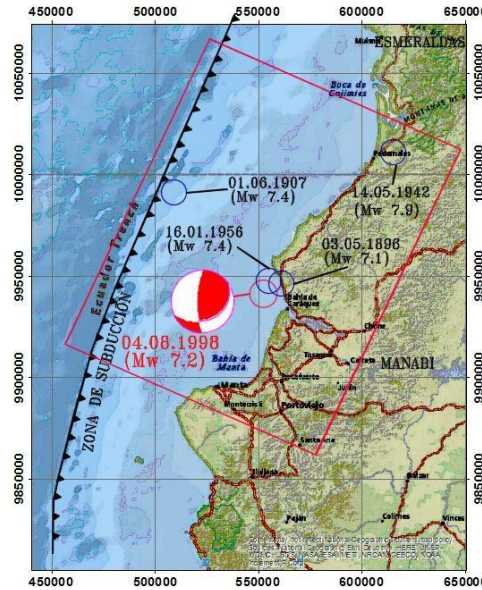


Figura 1 Mecanismo Focal y Epicentro del sismo de 1998 de Bahía de Caráquez.

Dos de los edificios que se analizan en el presente artículo, son el Cabo Coral de 10 pisos y que tuvo un Grado de Daño de 2 y el Hotel Italia de 5 pisos con grado de daño de 3. Estos edificios tuvieron un daño excesivo durante el terremoto del 16 de abril de 2016 de magnitud de momento 7.8 y al mes de agosto de 2016, el primero de ellos están derrocándolo y del Hotel Italia solo queda un solar vacío, ya lo botaron.

2. CABO CORAL

Luego del sismo de 1998, no se hizo absolutamente nada en el Edificio Cabo Coral que tenía dos núcleos de hormigón armado, uno alrededor del ascensor y otro alrededor de las gradas. Permaneció en pie al terremoto del 16 A, pero el grado de daño en sus elementos estructurales se habrá aumentado para que decidan derrocarlo.

En la figura 2 se aprecia el edificio y parte de las grúas, durante la demolición de este edificio ícono de Bahía de Caráquez.



Figura 2 Proceso de demolición del Edificio Cabo Coral en Bahía de Caráquez.

Si no se refuerza a una estructura afectada por un terremoto, es lógico pensar que en el próximo sismo va a colapsar, con el peligro que tienen las construcciones que se encuentran a sus alrededores.

3. HOTEL ITALIA

El Hotel Italia, ubicado en la calle Checa y Av. Bolívar, esquina, fue el primer edificio construido en Bahía de Caráquez con hormigón Armado al inicio de los años cincuenta, lucía como aparece en la figura 3, antes del terremoto del 16 A.



Figura 3 Hotel Italia en Bahía de Caráquez.

Se aprecia que la altura de las columnas de la planta baja es mayor a la altura de las columnas de los pisos superiores y tienen la misma sección transversal. Por lo tanto, era un edificio con *piso blando*.

El daño se registró en las columnas de la planta baja y en la mampostería de los tres primeros pisos. Luego del terremoto de 1998, no fue reforzado, únicamente fue reparado. Aguiar *et al.* (1998).

Durante el terremoto del 16 A, tuvo gran daño y en agosto de 2016 ya no existe, a pesar de que luzca sólido en la figura 3.

4. EDIFICIO CEVALLOS

A decir de algunos vecinos, el Edificio Cevallos, que se presenta en la figura 4, soportó el sismo de 1998 y al no constar en las estructuras que fueron afectadas por el sismo. Aguiar *et al.* (1998); EPN (1999) es de suponer que no tuvo daño visible en 1998 por lo que pasó desapercibido o es probable que los vecinos no recuerdan bien y fue construido en este siglo.



Figura 4 Fachadas del Edificio Cevallos, ubicado en la Av. Bolívar en Bahía de Caráquez

No hay nadie en el edificio y solamente desde la calle se pudo tomar las fotos que se están presentando. En la figura 5, se presentan tres columnas en las que se formó rótula plástica en la cabeza de columna, su armadura longitudinal ha pandeado y estuvo a punto de colapsar.



Figura 5 Rótulas plásticas en cabeza de columna de Edificio Cevallos.

La estructura de 4 pisos y una ampliación en el quinto piso, tiene losa plana con voladizo a un lado y tiene gran riesgo de daño las estructuras adyacentes, una de ellas la que se ofrece en la figura 6, donde además se aprecia una nueva rótula en la columna (círculo).



Figura 6 Rótula plástica en columna y peligro para construcción adyacente de 2 pisos.

En un edificio de Manta, que por obvias razones se omite su nombre, una columna sufrió daño durante el terremoto del 16 A, y lo que hicieron en la reconstrucción fue quitar todo el hormigón de la columna como se ve en la figura 7 y seguramente piensan enderezar las varillas longitudinales que están deformadas y quizás colocar dos hierros del mismo diámetro en su lugar y volver a fundir el hormigón.



Figura 7 Columna de un edificio de Manta que sufrió daño durante el terremoto del 16 A, en la cual quitaron todo el hormigón dañado.

En otro edificio de Manta, que tuvo daño en pie de columna, simplemente con cemento taparon la falla y con ello hicieron quitar la papeleta roja por una verde que el edificio es habitable.

Estos dos edificios de Manta, si no realizan un reforzamiento estructural como es debido

en el próximo terremoto van a colapsar y las pérdidas que se den serán de responsabilidad del constructor y de quien dio los permisos para la rehabilitación en forma inadecuada.

No se puede colocar un maquillaje a un edificio afectado por un sismo, se debe pensar que la vida de quienes van a vivir en esos edificios que desconocen estas malas prácticas está en juego.

5. EDIFICIO CEDEÑO

Muy cerca del Edificio Cevallos se encuentra en la Av. Bolívar y Estrada, el Edificio Cedeño que se indica en la figura 8, tiene 6 pisos y una ampliación con lo que sería de 7 pisos. Es muy probable que la ampliación que se muestra en la figura de la izquierda y que todavía no ha sido terminado se realizó sin haber reforzado previamente la estructura.



Figura 8 Vista del Edificio Cedeño ubicado en la Av. Bolívar en la ciudad de Manta.

El Edificio Cedeño que se muestra en la figura 8, es una amenaza para las construcciones vecinas pues si llega a colapsar destruirá la construcción de 2 pisos que se halla en la Av. Bolívar o la construcción de 1 piso de la calle Estrada.

Al igual que en el Edificio Cevallos, este edificio está cerrado, no se puede ingresar de tal manera que el daño observado y que se presenta en este apartado es el que se ve desde la calle.



a)

b)

Figura 9 a) Daño en pie de columna del tercer piso y en el nudo; b) Daño en cabeza de columna del segundo piso.

En la figura 9 a, se observa daño en el pie de una columna del tercer piso, el mismo que se ha extendido hasta el nudo y en la figura 9 b, se aprecia daño en la cabeza de una columna del segundo piso. De paso se aprecia que las dimensiones de las columnas son pequeñas, no están en concordancia con un edificio de 7 pisos en una zona de alta peligrosidad sísmica.

La estructura tiene losa plana y por afuera se aprecia demasiado daño en la estructura. Lo que hace suponer que adentro el grado de daño en mampostería y elementos estructurales será muy grave.



Figura 10 Daño en nudos y cabeza de columnas.

6. PASOS MÍNIMOS A SEGUIR PARA REFORZAR UNA ESTRUCTURA

6.1 Espectros de diseño

En la figura 11 se presentan los registros de aceleración del terremoto del 16 A, que tuvo una magnitud de momento de 7.8; se indica además la aceleración máxima del registro, PGA, por sus siglas en inglés (Peak Ground Acceleration).



Figura 11 Aceleraciones y PGA del terremoto del 16 A. Fuente: RENAC (2016); Aguilar (2016)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 recomienda que para la costa ecuatoriana el PGA es mayor a 0.5 g pero la mayor parte de Proyectistas Estructurales utilizan el valor de 0.5 g siendo g la aceleración de la gravedad. A ningún calculista se le habrá ocurrido considerar un PGA de 1.413 g que es el PGA registrado en Pedernales.

De seguro que en corto plazo, aparecerá una nueva norma con nuevos valores espectrales porque en varias ciudades los espectros obtenidos fueron mayores a los recomendados por el NEC-15 pero hasta que ello ocurra quedan dos opciones, la primera realizar un estudio de peligrosidad sísmica en forma probabilística y la otra si se trata de un edificio de vivienda u oficinas utilizar los espectros del terremoto del 16 A, obtenidos en Manta, Portoviejo, Chone, Pedernales. En esas ciudades se tienen espectros con ordenadas más altas que los recomendados por el NEC-15. De tal manera que si una estructura se encuentra en Manta se

debe utilizar el espectro obtenido en esa ciudad del terremoto del 16 A.

6.2. Estudio de Suelos

Manabí es famoso en el campo de la Ingeniería Estructural por su arcilla expansiva, que en verano es muy dura y en invierno, en contacto con el agua, se expande. Cuando existe una construcción encima de ella, de algunos pisos no la levanta, pero se deforma lateralmente causando deslizamientos; en cambio sí tiene poco peso, levanta el piso pero no en forma uniforme ya que habrá partes en que lo hace lateralmente. En la figura 12 se presenta un deslizamiento de suelo cerca de la Facultad de Medicina de la ULEAM.



Figura 12 Desplazamiento del suelo en el parqueadero y edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Fuente: Aguiar *et al.* (2016)

Por otra parte, en ciudades como Bahía de Caráquez y Manta en los sectores que fueron muy afectados por el terremoto del 16 A. La Puntilla de Bahía o la zona cero de Tarqui fueron suelos ganados al mar. En estos sitios existe una amplificación notable de las condiciones locales del suelo.

Por lo tanto, es fundamental hacer un estudio geofísico para conocer a profundidad las características del suelo en el que se halla una estructura que va a ser reforzada o diseñada pero a más de ello se debe complementar el estudio con ensayos de suelo como el de penetración estándar.

6.3 Calidad de Materiales

Es grave el problema de corrosión que existe en la costa. En efecto si se tiene acero o aluminio en un balcón si no se lo cuida continuamente, se oxida. Ahora en la construcción si las varillas de acero de un elemento de hormigón armado no tienen suficiente recubrimiento se va a oxidar, el caso se agrava si utilizaron arena de mar para la elaboración del hormigón.

Lo propio va a suceder con las estructuras de acero si no tienen un tratamiento contra la corrosión pero este debe darse en forma continua, durante su vida útil.

Por lo tanto cuando se va a reforzar un edificio es básico ver el grado de corrosión del acero. Es fundamental conocer la resistencia y calidad del hormigón mediante un esclerómetro o con la extracción de hormigones para ser estudiados en laboratorio.

6.4 Grado de daño de los elementos estructurales

FEMA 306 presenta una metodología para en primer lugar clasificar el daño de los elementos estructurales y en segundo lugar determinar factores con los cuales se reduce la rigidez y resistencia de los elementos estructurales. Por lo tanto se debe hacer una inspección muy detallada de la estructura que va a reforzarse.

Es importante conocer la curva de capacidad sísmica resistente que tiene un elemento, mediante su diagrama momento curvatura o momento rotación. Igual de importante es conocer la curva de capacidad de la estructura que relaciona el cortante basal con el desplazamiento lateral máximo, la misma que puede hallarse con análisis no lineal estático, utilizando la técnica del Pushover o mediante un análisis dinámico incremental.

En base a esa curva aplicar la demanda sísmica que viene definida por un espectro y encontrar el punto de desempeño.

7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Es bastante complejo y laborioso reforzar una estructura que ha sido afectada por un terremoto, lo que no se puede hacer es darle un maquillaje a la estructura para que se vea sin daño ya que en el próximo terremoto se tendrá gran daño con el grave riesgo de colapso.

Si existió demasiado daño en la mampostería y aparentemente no se observa daño en los elementos estructurales. Es probable que el problema sea solo por la falta de confinamiento de las paredes pero lo más probable es que se trata de una estructura flexible y debe realizarse un estudio muy detenido para ver la mejor forma de reforzamiento. Para esto se requiere un espectro o espectros de análisis; conocimiento del suelo; conocer la calidad de los materiales y hacer un estudio detenido para determinar las cargas actuantes y la forma óptima de modelar la estructura.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., Del Castillo F., Cárdenas C., Vera D., Empuño S., (2016), "Rehabilitación de edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí afectada por el terremoto de 2016", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (3)**, 331-351.
2. Aguiar R., Torres M., Romo M., Caiza P., (1998), *El sismo de Bahía*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 125 p., Quito.
3. Aguilar Z., (2016), *Aspectos sismológicos del terremoto de Muisne Ecuador del 16 de abril de 2016*. Conferencia dictada el 5 de Julio de 2016 en Colegio de Ingenieros Civiles de Lima, Perú.
4. EPN (1999) *El terremoto de Bahía de Caráquez-Ecuador, 4 de Agosto de 1998. Lecciones por aprender*. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Nacional, 74 p. Quito.
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. NEC-2015 (2015) Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, ministerio de la vivienda MIDUVI
7. RENAC (2016) *Acelerogramas del terremoto del 16 de abril de 2016*, Red Nacional de Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, Quito.