

ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS QUE COLAPSARON EN PORTOVIEJO DURANTE EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016

ANALYSIS OF BUILDINGS THAT COLLAPSED OF PORTOVIEJO DURING THE EARTHQUAKE OF 16 APRIL 2016

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, Sangolquí, Ecuador
P.O.BOX: 171-5-231B
rrauiar@espe.edu.ec

Yordy Mieles

Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Técnica de Manabí
jmieles@utm.edu.ec

RESUMEN

El terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8, colapsó alrededor de 40 edificios de hormigón armado, ubicados en el Centro de Portoviejo, con dolorosas pérdidas de vidas y un cuantioso perjuicio económico.

Varias son las causas que llevaron al colapso a estos edificios, lo que se analiza en el presente artículo, entre las que se destacan: i) la magnitud del sismo reflejada en los espectros de respuesta, obtenidos en la ciudad de Portoviejo, que para el rango de periodos que están alrededor de 0.5 segundos superó notablemente a los espectros que prescriben el Código Ecuatoriano de la Construcción del 2000, y las Normas Ecuatorianas de la Construcción de 2011 y 2015; ii) construcción de nuevos pisos sobre los ya existentes sin reforzar las estructuras; iii) estructuras bastante flexibles que tuvieron grandes desplazamientos iv) la tipología estructural que obliga a que las construcción tengan la planta baja con una altura de 5 m y mezzanines, y v) amplificación de las ondas sísmicas por efecto de sitio.

Palabras claves: Espectro de respuesta, Colapso de edificios en Portoviejo.

ABSTRACT

The earthquake of April 16, 2016, magnitude 7.8, collapsed about 40 reinforced concrete buildings, located in the center of Portoviejo, with painful loss of life and substantial financial loss.

There are several reasons that led to the collapse of these buildings, which is discussed in this article, among which are: i) the magnitude of the quake reflected in the response spectra obtained in the city of Portoviejo, who for range of periods that are around 0.5 seconds significantly exceeded the spectra prescribing the Ecuadorian Code of Construction 2000 and Construction Reporting Standards 2011 and 2015; ii) construction of new floors on existing unreinforced structures; iii) fairly flexible structures that had large displacements, iv) structural typology which forces the construction having the ground floor with a height of 5 m and mezzanines, and v) amplification of the seismic waves by site effect.

Keywords: Response spectrum. Collapsing buildings in Portoviejo.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Portoviejo antes del sismo del 16 de abril de 2016 se dedicaba a actividades de negocios con una intensa actividad comercial y de servicios, era el centro de negocios al que acudían de varios cantones aledaños a la ciudad para abastecer de productos de consumo a la ciudad y además comprar diferentes productos. Un censo del centro de Portoviejo en el 2015 reveló que era poco habitado, con pisos altos de vacíos y que sus edificios estaban ocupados por oficinas, comercios, bodegas, consultorios, entidades del sector público y empresas privadas.

La construcción de edificios de hormigón armado en Portoviejo se consolidó en la nueva zona comercial en los años 80 del siglo pasado, diseñadas con normas antiguas, calculados si acaso para cargas verticales; en varios casos agregando pisos adicionales y sin una adecuada dirección técnica, empleando hormigón de baja calidad. Estas construcciones no enfrentaron más cargas que las de gravedad con la excepción del terremoto de Bahía de 1998, algunas resultaron con daños a nivel de mampostería o el caso del edificio de la Mutualista Pichicha que tuvo ya problemas en su estructura hasta su colapso el 16 de abril de 2016 pero siguió funcionando.

Estas edificaciones fueron solicitadas por el sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud 7,8 (Mw magnitud momento), con hipocentro frente a Cojimies, originado por la subducción de la placa de Nazca que se introduce en la placa Sudamericana; con sismos de la misma génesis se puede citar los siguientes: el 31 de enero 1906 (Mw 8.8), 14 de mayo 1942 (Mw 7.8), 19 de enero de 1958 (Mw 7.6) y del 12 de diciembre de 1979 (Mw 8.0), el 4 de agosto de 1998 (Mw 7.1). Son 6 terremotos que se han dado en poco más de un siglo, dando una media redondeada de 20 años.

En la figura 1, se indica los epicentros de los sismos anotados en el párrafo anterior y que han afectado a la ciudad de Portoviejo. Dos aspectos son importantes destacar de ésta gráfica, el primero que el terremoto del 16 de abril de 2016, que se abreviará 16 A., ocurrió prácticamente en la misma zona y con la misma magnitud del terremoto de Guayaquil del 14 de mayo de 1942, se conoce con este nombre ya que destruyó los pocos edificios de hormigón armado que empezaban a construirse en el puerto principal.

El segundo aspecto que se deduce de la figura 1, es la gran cantidad de terremotos que se han dado en las Provincias de Esmeraldas y Manabí (Norte del Ecuador) con relación a las Provincias de Santa Elena, Guayas y Machala (Sur del País) lo que evidencia que en el norte existe un mayor acoplamiento de las placas tectónicas de Nazca y América en relación al Sur.

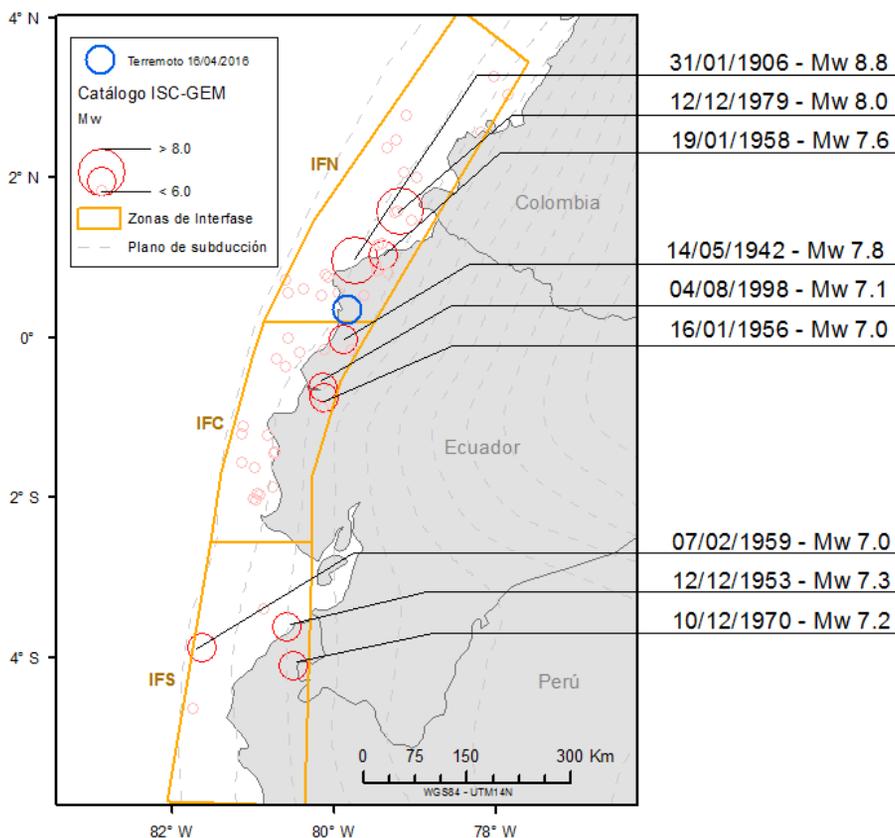


Figura 1 Sismos interplaca tipo thrust que han afectado al Ecuador. Fuente: Aguiar y Rivas (2016); Parra (2016); Hayes *et al.* (2012).

Por cierto en la figura 1, se presenta el modelo de subducción propuesto por Hayes *et al.* (2012) y las zonas fuentes de sismos interplaca de bajo ángulo de buzamiento propuesto por Parra (2016) basado en trabajos realizados por Aguiar y Castro (2009); Chunga (2010) y Alvarado (2012).

En la figura 2 se indican algunos acelerogramas del terremoto del 16 A, donde se indican los PGA (Peak Ground Acceleration), máximos y es así como se

nota que en Pedernales el PGA fue de $1.413 g$; siendo g la aceleración de la gravedad, es un valor extremadamente alto.

En Portoviejo el PGA fue de $0.42 g$ que en principio estaría contemplado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015 que se abreviará como NEC-15, que indica que el PGA para Portoviejo debe ser mayor o igual a $0.5 g$. En el siguiente apartado se verá que las formas espectrales del espectro obtenido a partir de la señal sísmica registrada en Portoviejo fueron mucho más alto que el recomendado por el NEC-15. Además de ello en el Centro existió amplificación de las ondas sísmicas.



Figura 2 Acelerogramas obtenidos del terremoto del 16 A.
Fuente: RENAC-IGPN (2016)

Estos valores de aceleración se acentuaran por factores de sitio originados por suelos aluviales dejados por el río Portoviejo en su migración en la dirección sur oeste donde se asienta la denominada “zona cero” de Portoviejo, mostrados en la figura 3, un alto nivel freático consecuencia de las temporadas de lluvias y de la permanente filtración de aguas del alcantarillado construido en la década de 1960, que al excavar para nuevas edificaciones o reparaciones de calles afloraba aguas negras. Eso aumentada la vulnerabilidad de las estructuras en esa parte comercial de la ciudad donde se encuentran las edificaciones de mayor altura con patologías como pisos blandos, columnas esbeltas, columnas cortas, viga fuerte-columna débil, pesos en las terrazas, golpeteo, poca redundancia estructural, irregularidades en planta y elevación, nudos débiles, los cuales son un problema recurrente y que ha provocado daño en otros eventos en diferentes sismos. Aguiar (2010).

Existe también una ordenanza municipal que obliga la construcción de mezzanines y un estilo arquitectónico que suprimía las columnas de la parte frontal y de las esquinas, como se verá en varias imágenes en este trabajo. Esta acumulación de agravantes hizo colapsar varias edificaciones, con lamentables pérdidas de vidas, graves daños materiales y cierre forzoso o desplazamientos de todos los comerciantes y habitantes de la zona cero.

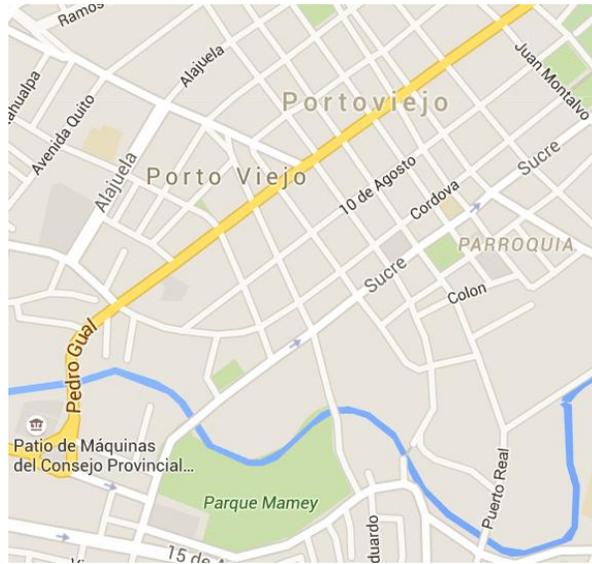


Figura 3 Zona Cero de Portoviejo (Google maps).

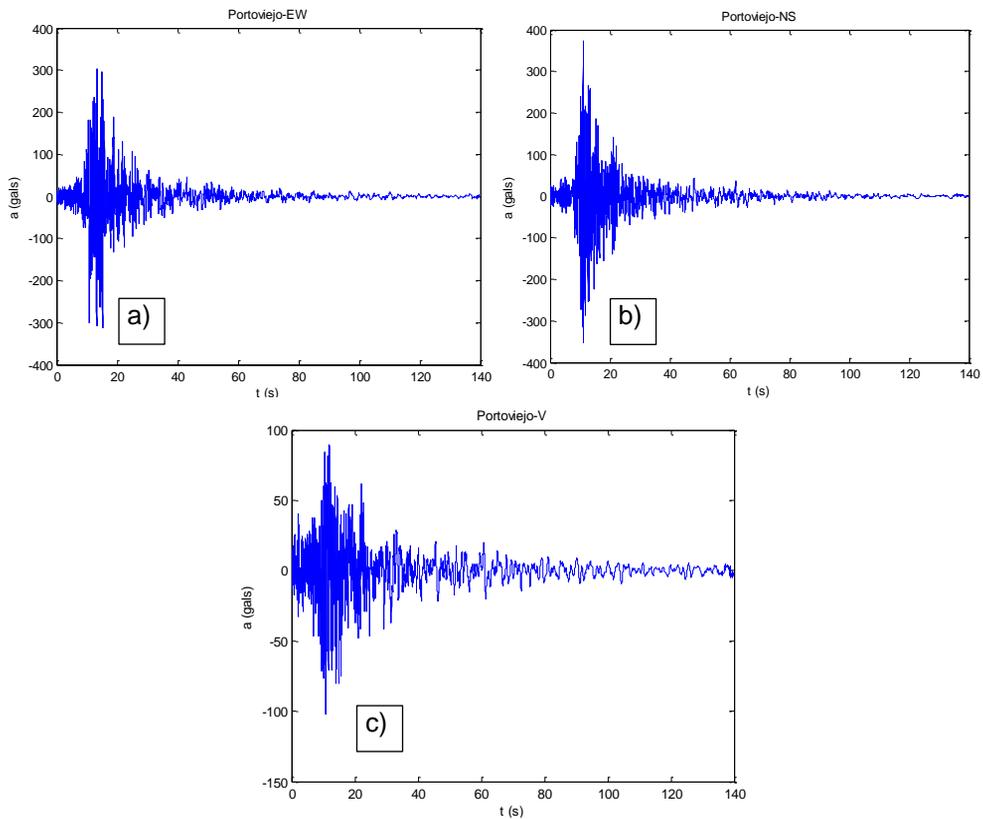


Figura 4 Acelerogramas de Portoviejo, a) componente EW, b) Componente NS, c) Componente vertical.

2. ACELEROGRAMAS Y ESPECTROS EN PORTOVIEJO

La estación donde se obtuvieron los registros acelerográficos se encuentra ubicada en el los predios de la Universidad Técnica de Manabí, con un suelo catalogado como tipo D (de acuerdo a la clasificación del NEC-15) y arcilla expansiva, estos espectros se muestran en la figura 4. La duración del sismo fue de 80 segundos, debido al tipo de suelo duró más tiempo que los registros de Manta que fueron de 50 segundos.

Las ordenadas espectrales de aceleración en varias ciudades de Manabí sobrepasaron el espectro del NEC-15, agravado además por el hecho de la utilización de un factor de reducción de fuerzas sísmicas alto R , debido a comportamiento no lineal de las estructuras en un sismo severo, sin existir cálculos con los cuales se verifique si efectivamente la estructura tiene gran ductilidad, sobre resistencia y redundancia. (Aguiar 2007,2). Por lo tanto, al considerar valores de R altos se diseñó para fuerzas sísmicas muy bajas.

En la figura 5 se presenta los espectros de respuesta, para 5% de amortiguamiento, encontrados con las señales sísmicas indicadas en la figura 4 y el que reporta el NEC-15 en un perfil de suelo tipo D. Se aprecia que en la zona de períodos cortos (alrededor de 0.5 segundos) las ordenadas espectrales del terremoto del 16 A, son prácticamente el doble de las que se hallan con el NEC-15.

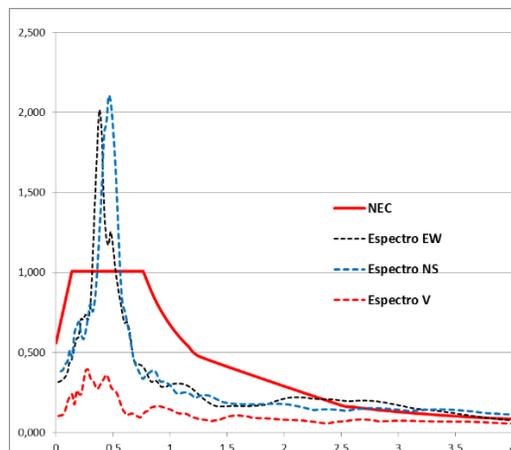


Figura 5 Espectro del NEC-15 y espectro del terremoto del 16 A, obtenido en Portoviejo.

3. PRINCIPALES DAÑOS OBSERVADOS

En el presente trabajo se evalúan varios edificios de la zona cero que tuvieron colapso total, evidenciando que todos presentaban patologías estructurales advertidas en diversos trabajos como responsables de colapsos de estructuras en sismos pasados (Aguiar, 2010). La mayor parte de las construcciones caídas estaban ubicados en esquinas de calles (**edificios abiertos**), con poca rigidez por

las aberturas de ventanas, suelos saturados, con depósitos aluviales o cercanos al margen del río Portoviejo.

El daño con mayor proporción observado es el de **columna corta**, producido por mampostería que se construyen integradas a la columna, las cuales se crean generalmente por una disposición inapropiada de las paredes o por consideraciones erróneas tomadas durante el cálculo estructural. Este tipo de columnas presenta primero falla frágil por cortante antes que falla dúctil por flexo compresión. Para que las estructuras no colapsen durante un terremoto éstas deben ser capaces de absorber y disipar la energía entrante mediante elementos estructurales que tengan ductilidad.

La capacidad de disipar energía de las **columnas cortas** es muy baja, razón por la cual las columnas cortas son los elementos que más daño infligen a la construcción. El pobre comportamiento de las **columnas cortas** se debe al hecho que en un terremoto, columnas de diferentes alturas libres tendrán la misma demanda de desplazamiento lateral, pero al ser las columnas cortas más rígidas que las columnas más largas, estas atraen mucho más fuerza horizontal (Aguiar, 2007,1) en la figura 6 se observan varias fallas de este tipo.



Figura 6 Daño por columna corta registrado en edificaciones de Portoviejo.

Edificios como el del Centro Médico del Pacífico conocido como Mutualista Pichincha, la clínica San Antonio tienen patologías como de **columna débil viga fuerte** mencionadas en 5.6.2 de la NEC como condición de inestabilidad (NEC-SE-RE, 2015). Si la viga es más fuerte que la columna, fallará primero el elemento vertical y con ello se pone en peligro la seguridad estructural. En una buena parte de estructuras diseñadas hace más de 40 años se construía de esta manera y los edificios de la zona cero de Portoviejo no fueron la excepción.

Un caso emblemático del sismo del 16A en Portoviejo, por la forma inclinada que quedó, la cobertura mediática y ser muy fotografiado, es el edificio Mutualista Pichincha demolido por implosión el 7 de agosto de 2016 y mostrado en la figura 11. En una visita efectuada por los autores al edificio antes de la demolición, se encontró en el nivel 5, (ver figura 7) un mal detallamiento del acero, por el traslapo de todo el refuerzo longitudinal de las columnas de todo el nivel 5 en la zona del nudo de unión viga-columna, lo que hace presumir que durante la etapa constructiva se pusieron las varillas hasta ese nivel, sin cuidar el detalle y traslapar solo la mitad del acero en la mitad de la columna y no en nudo. Además los estribos en la zona del nudo eran de 10 mm cada 15 cm, con un solo núcleo de confinamiento en una columna de 60x60 cm.

Los estribos del edificio Mutualista Pichincha como se observa en la figura 7, simplemente se abrieron y no prestaron un confinamiento apropiado en ese nivel, considerando además que las normativa indica que en la zona de traslape deben ubicarse estribos a menor distancia y al tener esa dimensión de base y altura con varias varillas longitudinales, se precisaba de más núcleos de estribos de confinamiento. Su colapso a criterio de los autores de este trabajo es multicausal, pero lo indicado pudo tener alta incidencia, unido a vigas de gran peralte en una luz de 12 m libres que cumple con el concepto de columna débil viga fuerte señalados en el párrafo anterior en las todas columnas falladas del nivel.



Figura 7. Daño en columnas de nivel 5 del edificio Mutualista Pichincha.

Muchas edificaciones también fallaron por **falta de confinamiento en la unión viga columna y en las vigas y columnas**; dado que fueron construidas con normas antiguas donde la separación de estribos se especificaba a una distancia “d” mayor que la usada actualmente para confinamiento, pero que para la época estaban bien construidas. Posteriormente el ACI 318 1995 lo especificaba a “d/2” (ACI-318-95, 1995), luego el ACI 318 2005 lo cambia a una distancia no mayor de 15 cm con barras de 10 mm, y no exceder 16 diámetros de barra longitudinal, 48 diámetros de barra de los estribos, o la menor dimensión del elemento sometido a compresión (ACI-318S-05, 2005). Estos requisitos fueron cambiados después al reconocer la importancia del confinamiento y actualmente la NEC establece que deben ser de 10 mm como mínimo con una separación no mayor que 10 cm o $6 d_b$. Donde d_b es la barra longitudinal de menor diámetro (NEC-SE-HM, 2015). La figura 8 a, b, se muestra estribos de 6 mm lisos y de 8 mm, con separaciones excesivas e inclusive se presume un error constructivo pues la columna de la figura 8 c, carece de estribos, al menos no se los ve en la zona que falló durante el terremoto del 16 A.

Otro error frecuente es la construcción por etapas, o la **adición de pisos no planificados en el cálculo original**. En varios casos se observó una longitud de desarrollo inapropiada para continuar con la columna de los pisos superiores que transmite solo cargas verticales por medio de una articulación que no forma un nudo rígido para resistir momento, de este tipo se observa un hotel construido a fines de la década de 1970, el Hotel Cabrera mostrados en la figura 9, cuyas columnas se

arrancaron del piso y se evidencia que el traslape no alcanzó a desarrollar su fluencia por la pequeña cantidad embebida.



Figura 8 Falla por falta de confinamiento en columnas; a) estribos muy separados; b) estribos de 8 mm; c) no se aprecia el estribo.

Otra de las causas del colapso de edificios fue la falla denominada **piso blando** que se da no solamente en la planta baja, sino en cualquier piso en el que se tenga una menor rigidez en el piso inferior y mayor en el piso superior. Si se construye con columnas de la misma sección transversal pero la planta baja debe tener una altura de 5 m, por ordenanzas municipales y las superiores de 3 m; evidentemente se va a dar la falla de **piso blando**. Esta fue la causa principal para que varios edificios de la zona cero colapsen.

Ya se indicó que otra de las fallas fue la llamada **edificio abierto** y se dio en edificios esquineros que tienen poca área de terreno, por lo que prácticamente se construye en todo el sitio con paredes perimetrales con las construcciones vecinas. Por otro lado como son edificios comerciales en las fachadas que dan a la calle se tienen grandes ventanales de tal manera que tienen una gran excentricidad estática entre el centro de masas y el centro de resistencia que se encuentra hacia el lado de los muros.



Figura 9. Columna con traslape y detallado deficiente.

En varios lugares aledaños al cauce actual o antiguo del río Portoviejo se dieron fenómenos de **licuefacción de suelos**, que se origina cuando las arenas o limos tratan de acomodarse al vibrar, deja espacios y drena el agua presente en los poros, lo que provoca asentamiento de la estructura, lo que se agravó debido por la inundación del río coincidente el día del sismo. En la figura 10 se observa el asentamiento de todo un bloque de una vivienda en el sector del Puente Rojo de Portoviejo, que se inclinó notablemente, provocado por la licuefacción de las arenas de cimentación y los daños causados al parqueadero de una concesionaria de vehículos por la misma causa.



Figura 10 Fallas estructurales por licuefacción de suelos.

A criterio de los autores del presente artículo la principal falla que tuvieron los edificios de la zona cero de Portoviejo, que colapsaron durante el terremoto fue que se diseñaron estructuras flexibles sin la presencia de muros de corte, solo con vigas y columnas. Se espera que **a futuro se construyan edificaciones rígidas donde lo normal sea tener muros de corte** en edificios de más de cuatro pisos.

Las edificaciones flexibles tienen grandes desplazamientos laterales y ahí actúa el efecto $P - \Delta$ que hace que se deforme más la estructura y en buena parte de los edificios de la zona cero colapsaron.

4. EDIFICIOS QUE COLAPSARON EN LA ZONA CERO

Alrededor de 40 edificios de la zona cero de Portoviejo, colapsaron durante el terremoto y otros quedaron en pie pero serán derrocados o a lo mejor ya fueron botados por el Municipio previo informe del Ministerio de la Vivienda MIDUVI y con consentimiento de los propietarios del edificio.

En este apartado, se presenta una ficha técnica de los edificios colapsados con el propósito de que los estudiantes y profesionales dedicados al cálculo estructural, recuerden continuamente lo que puede pasar con sus Proyectos si no lo hacen en la forma debida.

Edificio Mutualista Pichincha

Tabla 1 Ficha Técnica de Edificio Mutualista Pichincha.

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Estructural	9	Más de 15 años	Esquinero	9 de Oct. y Rocafuerte
Tipología		Falla		
Vigas y columnas; 4 ejes de columnas en sentido corto y la luz central es de 18 metros.		Estructura flexible que falló en segundo modo; el peso de los pisos superiores en la estructura deformada en sentido transversal originó el colapso de pisos intermedios. Falló en sentido E-W. Presenta viga corta (relación $l/d \leq 4$) que origina falla a cortante con una columna débil en relación a la gran rigidez de la viga tal como lo muestra la figura 11.		
Cimentación		Observaciones		
Directa (sin pilotes) con losa de cimentación		Los tres últimos pisos fueron incrementados. Altura de primer piso de 5 m, con Mezanine. Sistema constructivo de losa stell deck apoyada sobre vigas secundarias de acero.		

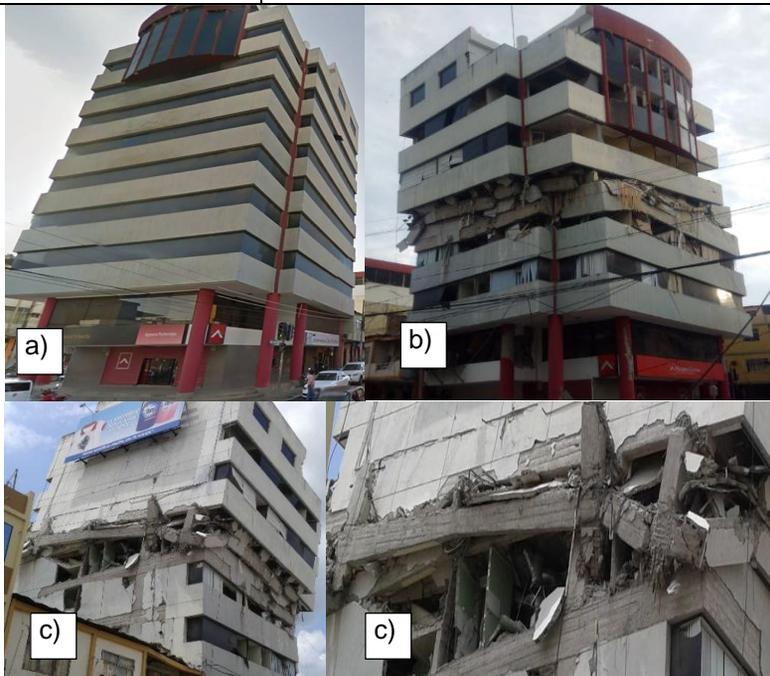


Figura 11. a) Edificio sin colapsar, b y c) edificio colapsado, d) columna débil, viga fuerte.

Edificio Cooperativa del Magisterio Manabita

Tabla 2 Ficha Técnica de Edificio Cooperativa del Magisterio Manabita

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	5 pisos	Más de 25 años	Medianera	Morales y 9 de Octubre
Tipología		Falla		
Vigas y Columnas		Estructura flexible que falló en el sentido E-W por efecto $P - \Delta$		
Cimentación		Observaciones		
Directa; vigas de cimentación en dos sentidos		Al colapsar destruyó casa vecina de 3 pisos de Hormigón estructural. Altura del primer piso de 5 m, con mezanine. Fachadas cargadas en exceso por motivos arquitectónicos.		



Figura 12. Edificio de Magisterio, a) colapso b) exceso de pesos en fachada.

Hotel El Gato

Tabla 3 Ficha Técnica de Hotel El Gato

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	6	Más de 20 años	Central	Pedro Gual y Olmedo
Tipología		Falla		
Columnas con Capiteles y vigas descolgadas, parecía una estructura muy rígida		Desplazamiento lateral de edificios laterales de mayor altura ocasionó el colapso por efecto $P - \Delta$, en el sentido E-W		
Cimentación		Observaciones		
Directa; con vigas de cimentación en 2 sentidos		Edificio con altura del primer piso de 5 m, con Mezanine. Pobre confinamiento en nudos viga columna. Se observó fallo en la cabeza de columna del primer piso por falta de confinamiento.		



Figura 13. Hotel El Gato, a) tanque de agua de hormigón en terraza, b) edificio en colapso.

Edificio Pillin

Tabla 4 Ficha Técnica de Edificio Pillin

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	5	Más de 25 años	Esquinero	10 de Agosto y Morales
Tipología		Falla		
Vigas y Columnas		Edificio abierto, falla por torsión, en sentido diagonal colapsó. Falla de nudos.		
Cimentación		Observaciones		
Directa, Vigas de Cimentación		Edificio con altura de primer piso de 5 m, con Mezanine. Confinamiento en cabeza de columna con un solo núcleo de estribo de 8 mm cada 20 cm		



Figura 14. Edificio El Pillin, a) falla en nudo, b) colapso hacia la esquina.

Edificio Capitán Santana

Tabla 5 Ficha Técnica de Edificio Capitán Santana

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	3	Más de 30 años.	Central	Olmedo y Pedro Gual
Tipología		Falla		
Vigas y Columnas		Edificio Flexible, colapsó por efecto $P - \Delta$		
Cimentación		Observaciones		
Directa sobre vigas de cimentación.		Fachadas con cargas por motivos decorativos.		



Figura 15. Edificio Capitán Santana, a) tanque de agua, b) colapso del edificio.

Edificio del IESS.

Tabla 6 Ficha Técnica de Edificio del IESS

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	6	Más de 20 años	Esquinero	Chile y Pedro Gual
Tipología		Falla		
Vigas y Columnas		Edificio Flexible. Fallo por efecto $P - \Delta$. Columnas esbeltas y débiles con relación a la carga, colapso hacia una esquina por problemas de torsión.		
Cimentación		Observaciones		
Directa vigas de cimentación superficiales, el tope de la viga superior de las zapatas durante la demolición se ven a nivel de la calle.		Edificio de ocupación pública que le fue cambiado el uso, con nuevas cargas al tener oficinas públicas. En la cuadra vecina colapso el Centro Comercial Municipal		



Figura 16. Edificio IESS, a) edificio antes del sismo, b, c y d) edificio colapsado.

Centro Comercial Portoviejo

Tabla 7 Ficha Técnica de Centro Comercial Portoviejo

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	9	Más de 40 años	Una manzana	Chile y Pedro Gual
Tipología		Falla		
Base de 2 pisos y sobresale torre central con 7 pisos. Sistema de vigas y columnas		Piso Blando en segundo piso, fallaron las columnas de segundo piso, la falla fue simétrica en el sentido de que el lado opuesto a la fotografía también falló		
Cimentación		Observaciones		
Sobre Pilotes		El piso que falló era libre de columnas pues fue modificado retirando las paredes de ladrillo de arcilla para albergar una cadena de ropa.		



Figura 17 Centro Comercial Municipal de Portoviejo, a) edificio antes del sismo, b, c y d) edificio colapsado.

Farmacia San Gregorio

Tabla 8 Ficha Técnica de Farmacia San Gregorio

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	4 pisos	Más de 30 años	Esquinero	Av Manabí y Alahuela
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Falta de redundancia estructural, las columnas esquineras no se hicieron por razones arquitectónicas, el volado tuvo deflexión y se reforzó con columnas de acero a partir del primer piso columnas si debido confinamiento.		
Cimentación		Observaciones		
Plintos Aislados conectados con vigas		Los pisos superiores habían sido reforzados con una columna de acero por la deflexión del volado, el edificio cayó (figura 18.a) hacia la esquina por la posición que quedaron las columnas y según testigos que lo vieron caer se “mecía” hacia la esquina. El edificio tenía mezanine.		



Figura 18 Farmacia San Gregorio Av. Manabí y Alahuela, a) antes del sismo, b) edificio colapsado.

Clínica San Antonio

Tabla 9 Ficha Técnica de Clínica San Antonio

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	5 pisos	Más de 10 años	Medianero	Av Paulo Emilio Macías
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Falla de columnas por deficiente confinamiento, piso débil. Se evidencia en la figura 19.a viga fuerte columna débil.		
Cimentación		Observaciones		
Zapatas corridas en ambas direcciones		El piso que falló tenía una gran abertura en la losa a diferencia de los inferiores que eran llenos (con excepción de la grada), cambio de rigidez de los pisos superiores por cambio del sistema constructivo de losas alivianadas de hormigón estructural a steel deck.		

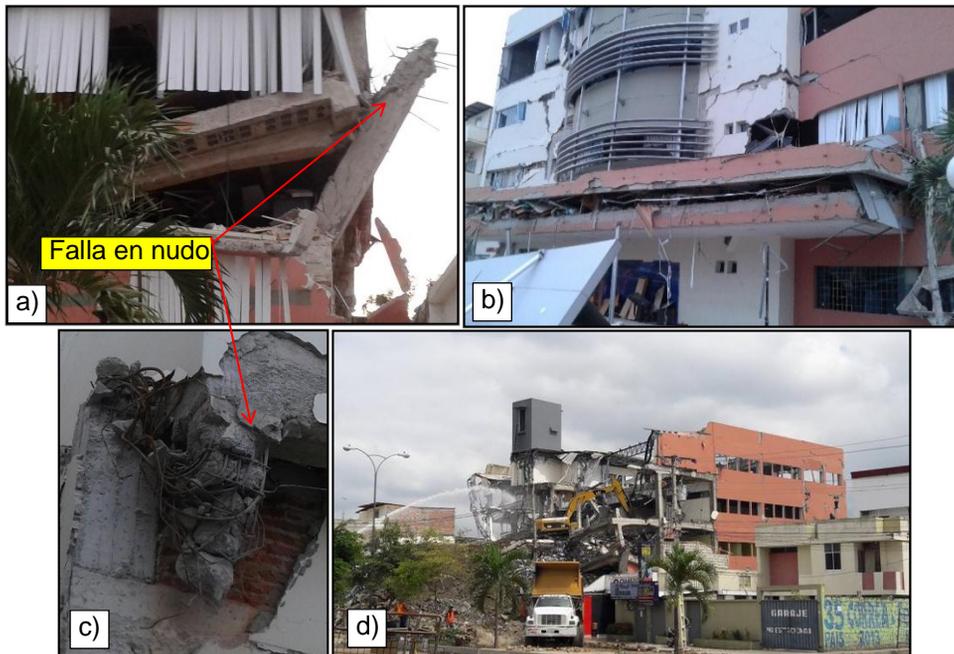


Figura 19 Clínica San Antonio, a, d) falla en nudo de columna débil, b) edificio colapsado, d) edificio en demolición.

Edificio Farmacia Comercio

Tabla 10 Ficha Técnica de Edificio Farmacia Comercio

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	4 pisos	Más de 30 años	Esquinero	9 de Octubre y Ricaurte
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Falla de columnas del primer nivel por piso blando y falta de confinamiento, viga fuerte columna débil.		
Cimentación		Observaciones		
		El edificio tenía columnas esbeltas en el primer nivel.		



Figura 20 Farmacia Comercio.

Edificio Almacén de Repuestos

Tabla 11 Ficha técnica de Edificio Almacén de Repuestos

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	4 pisos	Más de 30 años	Esquinero	9 de Octubre y Rocafuerte
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Falla de columnas por falta de confinamiento, remodelación con agresión estructural al cortar una viga para ventana.		
Cimentación		Observaciones		
		Se le quitó una viga de arriostramiento al nivel del mezanine para abrir ventanas, se añadió losa al mezanine y se picaron las columnas para enganchar el acero de las vigas, tenía estribos de lisos de 6 mm cada 20 cm en la cabeza de la columna del primer piso.		



Figura 21 Almacén de repuestos, a) estribo liso de 6 mm, b, c, d) edificio colapsado.

Edificio de Sr. Mario Loor

Tabla 12 Ficha técnica de Edificio de Sr. Mario Loor

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	4 pisos		Esquinero	Reales Tamarindo y Pablo Emilio Macías
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Falla de columnas por falta de confinamiento y piso débil		
Cimentación		Observaciones		
Plintos aislado				



Figura 22 Edificio Mario Loor.

Calzado Mariner

Tabla 13 Ficha técnica de Edificio Calzado Mariner

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	4 pisos	Más de 30 años.	Esquinero	Francisco de P. Moreira y Chile
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Falla de columnas por falta de confinamiento, efecto p-delta		
Cimentación		Observaciones		

	El edificio tenía tanque de agua sobre la losa de cubierta
--	--



Figura 23 Calzado Mariner a) tanque de agua, b) edificio colapsado.

Edificio Sr. Pedro Ramírez

Tabla 14 Ficha técnica de Edificio Sr. Pedro Ramírez

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	3 pisos	Más de 30 años.	Esquinero	Av. Manabí y Pablo Emilio Macías
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Falla de vigas de volados.		
Cimentación		Observaciones		
		El edificio tenía volados superiores a tres metros, con mezanine		



Figura 24 Edificio Pedro Ramírez.

Edificio Servipagos

Tabla 15 Ficha técnica de Edificio Servipagos

Material	# de Pisos	años	Ubicación	Dirección
Hormigón estructural	5 pisos	Más de 30 años	Medianero	Av. Manabí y Calle Quito
Tipología		Falla		
Sistema estructural de vigas y columnas		Columnas esbeltas sin arriostramiento, losa plana.		
Cimentación		Observaciones		
		El edificio tenía mezzanine		



Figura 25 Edificio de Servipagos.

5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Varias son las causas que llevan al colapso a una estructura, no es una sola. En este artículo solo se ha tratado las fallas de tipo estructural que se cometieron no se habló sobre los factores de sitio que influyeron notablemente en el comportamiento sísmico, tampoco se topó el tema de la calidad de los materiales que indudablemente influyen en la vulnerabilidad sísmica ni se trató sobre la construcción propiamente dicha.

Es muy lamentable que alrededor de 40 edificios hayan colapsado en el Centro de Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016, lo que demuestra que no estábamos preparados para un terremoto de semejante magnitud, a pesar de que en el pasado se ha tenido sismos de igual magnitud pero al no estar las ciudades tan pobladas, las pérdidas no fueron de la magnitud que se tiene ahora.

Se espera que luego de este terremoto se inicie una nueva forma de construcción en el Ecuador en general, ya que todo el País tiene una alta peligrosidad sísmica, se hagan a futuro estructuras rígidas con muros de corte, que se incorporen a disipadores de energía y/o aisladores sísmicos.

Que se promulguen nuevas regulaciones municipales tendientes a tener estructuras más seguras y que exista un mayor control tanto en la aprobación de los planos como en la construcción del edificio.

Que los estudiantes, futuros ingenieros tengan más conciencia de la importancia de aprender más en las aulas universitarias y salgan mejor preparados, que no piensen que sus problemas se van a solucionar con aprender a manejar un determinado programa de cálculo. Si no tienen buenas bases técnicas, el programa se convertirá en un arma muy peligrosa que puede llevarle a diseñar estructuras inseguras que no detecta por la falta de preparación.

AGRADECIMIENTO

Al Gral. Roque Moreira, Rector de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y al Ing. Vicente Véliz, Rector de la Universidad Técnica de Manabí, por el apoyo recibido para poder hacer esta investigación. Al agradecer a las máximas autoridades lo estamos haciendo a todos los directivos que están tras ellos, que nombrarlos sería muy largo y sobre todo se tiene el peligro de omitir algún nombre. Pero este trabajo no habría llegado a su culminación sin el apoyo de todos ellos.

REFERENCIAS

1. ACI-318-95. (1995). *Building Code Requirements for Structural Concrete*.
2. ACI-318S-05. (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*.
3. Aguiar, R. (2007, 1), "Aisladores elastoméricos en estructuras con columna corta", *XXI Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural, Quito*.

4. Aguiar R., (2007, 2) *Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte*, Centro Internacional de Métodos Numéricos. Universidad Politécnica de Cataluña, ISBN 978-84-96736-40-5.
5. Aguiar, R. (2010). Fallas frecuentes durante los terremotos. *Revista ESPEctativa*(4), 10-11.
6. Aguiar R., Castro C., (2009), "Zonas fuentes para estudios de peligrosidad sísmica en el Ecuador", *Antología Científica de Ingeniería Estructural y Sísmica en Países Andinos. Consulado del Perú en el Ecuador.*, 87-111, Guayaquil.
7. Aguiar R., y Rivas A., (2016) Estudios de Peligrosidad Sísmica para Portoviejo. *Menconstruc Consultores*.
8. Alvarado A., (2012), *Néotectonique at cinématique de la deformation continentale en Equateur*. These de doctoral Ph.D. Université de Grenoble, Francia, 259 pp.
9. Chunga K. (2010). Shallow crustal earthquakes and seismic zonation for Ecuador. Ph.D. Thesis. University of Insubria. Italy. 165 p.
10. Hayes G., Wald D., Johnson R., (2012), "Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries", *Journal of Geophysical Research*, **117**, 1-15.
11. IG-EPN. (2016). Informe sísmico especial N. 18 - 2016. from <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016>
12. Norma Ecuatoriana de la Construcción, (2015), Estructuras de Hormigón Armado .
13. Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015), Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras.
14. Parra H., (2016), *Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la Peligrosidad Sísmica en el Ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito*, Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.