Polo del Conocimiento

Pol. Con. (Edición núm. 107) Vol. 10, No 6
Junio 2025, pp. 956-975
ISSN: 2550 - 682X
DOI: https://doi.org/10.23857/pc.v10i6.9685

CC BY NC SA

Principales causales del colapso de las edificaciones en el cantón Portoviejo, provincia de Manabí, producto del terremoto del 16 de abril del 2016

Main causes of building collapse in the Portoviejo canton, Manabí province, due to the earthquake of April 16, 2016

Principais causas do colapso de edifícios no cantão de Portoviejo, província de Manabí, devido ao sismo de 16 de abril de 2016

Julio Benito Intriago-Flores [I]
julio.intriago@utm.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-0822-8184

María Shirlendy Guerrero-Alcívar [II]
maria.guerrero@utm.edu.ec
https://orcid.org/0009-0004-4912-5717

Jimmy Colon García-Mejía [III]
colon.garcia@utm.edu.ec
https://orcid.org/0009-0006-5791-3371

Gregorio Joselito Meza-Hernández [IV]
joselomeza@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0001-5356-4537

Pablo Alfonso Guadamud-Mieles [V]
pabloguadamud1982@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7581-5202

Raúl Antonio Montesdeoca-Loor [VI]
r_montesdeoca83@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0003-3405-1033

Correspondencia: julio.intriago@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*** Recibido:** 18 de abril de 2025 ***Aceptado:** 14 de mayo de 2025 *** Publicado:** 12 de junio de 2025

I. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
II. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
III. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
IV. Investigador Independiente, Ecuador.
V. Investigador Independiente, Ecuador.
VI. Investigador Independiente, Ecuador.

Resumen

El Ecuador se encuentra en una zona sísmica altamente fluctuante, el terremoto del 16 de abril del 2016 evidenció las deficiencias constructivas de los elementos estructurales y el poco control en la etapa precontractual. En Manabí se vieron afectadas 34,323.00 edificaciones, dentro de las principales observaciones halladas en la edificaciones en el cantón Portoviejo tenemos: mala práctica constructiva, secciones de elementos estructurales que no estuvieron acorde a las normativas vigentes, elaboración del hormigón sin cumplir con la dosificación correspondiente, que pudiera dar como resultado una resistencia a compresión mínima que este igual o por encima de los límites permisibles de ley, fallas por piso blando, afluencia de acero estructural deficiente tanto en el acero longitudinal como trasversal, sobrecargas de las edificaciones (incremento de la carga muerta y viva), construcción en terrenos de sobre rellenos aledaños al margen del río Portoviejo, nudos rígidos ineficientes y desalineados, disposición inapropiada de las paredes o errores en los cálculos estructurales en las denominadas columnas cortas, fallas por edificio abierto. Con este estudio se pretende realizar las recomendaciones para mitigar daños ante futuras eventualidades.

Palabras clave: Hormigones; resistencia a compresión; nudos rígidos; estructuras.

Abstract

Ecuador is located in a highly volatile seismic zone. The April 16, 2016, earthquake highlighted the deficiencies in structural elements and the lack of control during the pre-contract phase. In Manabí, 34,323,000 buildings were affected. The main observations found in buildings in the Portoviejo canton include poor construction practices, sections of structural elements that did not comply with current regulations, concrete preparation without complying with the corresponding dosage, which could result in a minimum compressive strength equal to or above the legally permissible limits, soft story failures, influx of deficient structural steel in both longitudinal and transverse steel, overloading of buildings (increased dead and live loads), construction on overfilled land adjacent to the Portoviejo River, inefficient and misaligned rigid nodes, inappropriate wall arrangement or errors in structural calculations in so-called short columns, and failures due to open building. This study aims to make recommendations to mitigate damage in the event of future events.

Keywords: Concrete; compressive strength; rigid nodes; structures.

Resumo

O Equador está localizado numa zona sísmica altamente volátil. O sismo de 16 de abril de 2016 evidenciou as deficiências nos elementos estruturais e a falta de controlo durante a fase pré-contratual. Em Manabí, foram afetados 34.323.000 edifícios. As principais observações encontradas nos edifícios do cantão de Portoviejo incluem práticas de construção inadequadas, secções de elementos estruturais que não estavam em conformidade com as normas em vigor, preparação do betão sem a dosagem correspondente, o que poderia resultar numa resistência à compressão mínima igual ou superior aos limites legalmente permitidos, falhas em pavimentos macios, influxo de aço estrutural deficiente tanto no aço longitudinal como transversal, sobrecarga dos edifícios (aumento das cargas permanentes e variáveis), construção em terrenos aterrados adjacentes ao rio Portoviejo, nós rígidos ineficientes e desalinhados, disposição inadequada das paredes ou erros nos cálculos estruturais nos pilares ditos curtos e falhas devido à construção aberta. Este estudo visa fazer recomendações para mitigar os danos em caso de eventos futuros.

Palavras-chave: Betão; resistência à compressão; nós rígidos; estruturas.

Introducción

La teoría de la deriva continental, propuesta por Alfred Wegener en 1910(*Instituto nacional de prevención sísmica – inpres – 1*, 1915), sugiere que los continentes actuales formaban hace 250 millones de años un supercontinente llamado Pangea, que comenzó a fragmentarse entre 120 y 140 millones de años atrás. Aunque inicialmente fue rechazada, la comunidad científica la aceptó tras encontrar evidencias como similitudes litológicas y fósiles entre América del Sur y África.

La teoría evolucionó hacia el concepto de tectónica de placas, explicando que los continentes se desplazan debido a fuerzas internas del planeta, originadas principalmente en la astenosfera. Estas fuerzas, como la tracción, compresión y cizalla, generan distintos tipos de estructuras geológicas. La expansión del fondo oceánico, impulsada por corrientes de convección del magma en las dorsales oceánicas, crea nueva corteza basáltica, desplazando las placas tectónicas (Chunga et al., 2016).

En el caso del Ecuador, se identifican tres placas principales: la placa de Nazca, que se desplaza hacia el este a una velocidad de 60 a 80 mm/año; la placa de Cocos, separada de Nazca por la dorsal

de Galápagos; y la placa Sudamericana, que algunos autores subdividen en el Bloque Norandino (norte) y la parte sur. Estos segmentos están separados por una franja de colisión intraplaca conocida como el Sistema Mayor Dextral, con evidencia de actividad tectónica en regiones como el Golfo de Guayaquil y la isla Puná.

Daños significantes en las infraestructurales petroleras, industriales y sectores densamente poblados en el Ecuador, pueden ser ocasionados por fuertes terremotos de subducción (con magnitudes entre 7.5 a 9) y también por moderados terremotos corticales (entre 6 a 7 grados de magnitudes), ambas fuentes sísmicas generadas desde potenciales estructuras sismogénicas, de diferentes dimensiones estructurales entre pocas decenas a centenas de kilómetros de longitudes. Sin embargo, no son los terremotos que causan daños directamente sobre las poblaciones, sino los efectos geológicos secundarios, que se generaran de estos, y dependiendo también del escenario geológico y rasgos geomorfológicos donde estén asentadas las poblaciones (Chunga, 2010). Por ejemplo, un fuerte terremoto de subducción (magnitud mayor a 8) en la costa del Ecuador puede generar un tsunami con runup mayor a 2m que provocaría rápida inundación en las planicies aluviales y tendría entre 30 a 40 minutos para impactar el punto continental más saliente, además en terrenos de conformación arenosa confinante sobre niveles sedimentarios impermeables o poco permeables (limos y arcillas) pueden ser propensos al fenómeno de licuefacción de suelos. En adición a lo indicado, fenómenos por subsidencia natural o subsidencia antropogénica (asentamiento paulatino del terreno con efecto de daño a infraestructuras) podrían ser bien expuestos en el área epicentral del evento sísmico.

En escenarios geológicos de colinas con laderas inestables o también en taludes estabilizados, pueden acontecer daños en el terreno con múltiples deslizamientos y con potenciales represamientos de ríos caudalosos, esto provocando taponamiento e incrementando el nivel del caudal aguas arriba. Un ejemplo de escenario de daños similares que podrían presentarse como lo reportado históricamente, es el deslizamiento de la Josefina del 29 de marzo de 1993 (provincia del Azuay), cuando parte de la ladera del cerro Tamuga taponó o represó los ríos Cuenca y Jádan causando una rápida erosión en los márgenes fluviales, colapsos de viviendas asentadas cerca de la orilla de los ríos fueron documentados; en efecto este evento no fue causado por un evento sísmico sin embargo se hace referencia a los potenciales deslizamientos que podrían activarse por un terremoto local de intensidad macrosísmica X donde los efectos de daños en el terreno serían similares.

Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras existentes en el Ecuador

Preevento

La evaluación visual rápida de peligro símico para edificaciones, está basada en FEMA 154, el cual fue desarrollado para que profesionales de la construcción evalúen a las construcciones existentes y las clasifiquen en tres categorías: edificios con baja vulnerabilidad en cuanto a daños y seguridad de los ocupantes frente a un sismo, los que presentan una vulnerabilidad media, que estarían dentro de los parámetros aceptables y los que tienen una vulnerabilidad alta, los cuales necesitan un estudio más detallado, realizado por un ingeniero experto en diseño estructural.

Como se puede apreciar en la Figura 1, la mayor parte del territorio ecuatoriano está ubicado en zonas de alto peligro sísmico, es por esto que las edificaciones de la mayoría de ciudades tienen grandes posibilidades de sufrir daños frente a un evento sísmico. Es importante tener en cuenta que en estas zonas existen edificaciones llamadas esenciales que no podrán parar sus actividades luego de un terremoto.

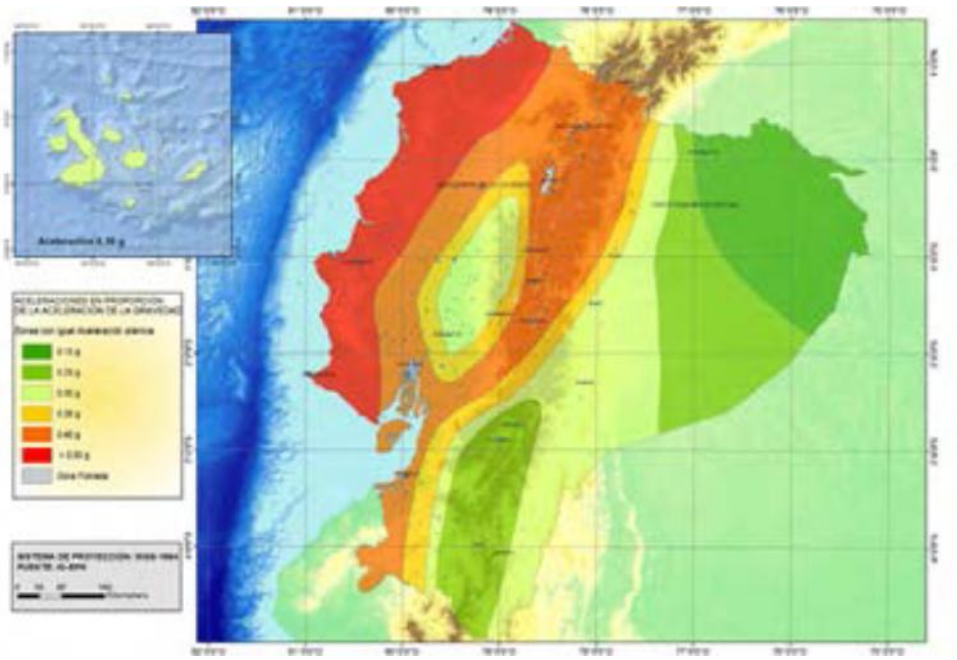

Figura 1. *Zonas sísmicas de Ecuador para propósitos de diseño*

A lo largo de la historia, en nuestro país, ha tenido una actividad sísmica considerable. En los últimos 460 años, diferentes sismos han provocado la destrucción de ciudades enteras con la muerte

Pol. Con. (Edición núm. 107) Vol. 10, No 6, Junio 2025, pp. 956-975, ISSN: 2550 - 682X

de miles de personas. Escenarios sísmicos probables realizados en Quito y Guayaquil, revelan la necesidad de emprender acciones para disminuir el riesgo de las edificaciones.

Como su nombre lo indica, esta es una evaluación rápida, en la cual el profesional que lo realiza únicamente necesita realizar una visita a la edificación y llenar un formulario que se detallará más adelante. Mediante parámetros analizados, el edificio tendrá una calificación la cual se le ubicará en las tres categorías antes mencionadas.

Este procedimiento no requiere ningún análisis estructural y la inspección requerirá únicamente, identificar el sistema estructural de la edificación y recopilar datos que constan en el formulario. La visita durará entre 15 a 30 minutos por edificación y si se logra llegar al interior de esta entre 30 y 60 minutos.

El objetivo principal de esta evaluación es identificar las edificaciones más vulnerables frente a eventos sísmicos, que requieren otro tipo de estudio más detallado. El resultado de esto también podrá servir para: implementar programas de mitigación de riesgos para una región delimitada, inventario de edificaciones según su uso, etc.

Este manual para el uso del formulario de evaluación visual rápida de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones se centra en tres actividades principales: planificación, recopilación de datos (formulario) e interpretación. A continuación, se detallará estas tres actividades importantes para entender este manual.

Afectaciones a las estructuras en el cantón Portoviejo, provincia de Manabí

El Terremoto del 16 de abril del año 2016, se suscitó en el cantón Pedernales, de la provincia de Manabí, en Ecuador, a las 18:58:36, coordenadas de epicentro 0°22′16″N 79°56′24″O / 0.371, -79.94, tuvo una magnitud de momento Mw 7.8 y una intensidad máxima de IX (según la Escala macrosísmica europea, EMS-98) y se convirtió en el evento natural más catastrófico de lo que va del presente siglo y fue sentido en localidades tan distantes como Bogotá en Colombia y Cajamarca en Perú.

Las poblaciones más afectadas fueron Pedernales, Manta, Portoviejo, Canoa, Jama y Bahía de Caráquez en Manabí, y los cantones Muisne y Atacames en Esmeraldas. Este no es el primer sismo de gran magnitud que se vive en las costas ecuatorianas. El Ecuador por encontrarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico, es una zona geológicamente muy dinámica. La costa ecuatoriana se encuentra en el margen de la zona de subducción de la placa oceánica de Nazca con las placas continentales de América del Sur y el Caribe, ambas separadas por el mega escudo Guayaquil-

Caracas, lo que le hace muy vulnerable a terremotos y tsunamis de origen tectónico. El 31 de enero de 1906, tuvo lugar un sismo de magnitud 8.8 con epicentro en la provincia de Esmeraldas y, minutos más tarde se generó un tsunami que arrasó numerosas poblaciones costeras de Ecuador y Colombia. Este fue un evento en la zona de subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana, en el Océano Pacífico. Desde entonces, se han dado en la zona de Manabí y Esmeraldas (en una zona de unos 250 km), otros cuatro terremotos con magnitud de 7 grados o más, desde inicios del siglo XX: 1942 (7.8 grados), 1958 (7.7 grados), 1979 (8.2 grados), 1998 (7.1 grados). Los epicentros de estos eventos están dentro de la zona de ruptura del mega evento de 1906 (Bravo, 2017)

El terremoto ocasionó una gran cantidad de víctimas y una extensa destrucción especialmente en la Costa norte y centro del Ecuador. Es así, como consecuencia directa del terremoto y según los datos oficiales emitidos por las autoridades, se contabilizaron alrededor de 700 personas fallecidas, más de 7000 heridos, 22000 personas refugiadas, millares de edificaciones destruidas o inhabitables y pérdidas económicas estimadas en alrededor de tres mil millones de dólares.

Muchas afectaciones en cuanto a los elementos estructurales principalmente en zonas pobladas, cascos urbanos denominadas como zona cero, Portoviejo y Manta. El centro de Portoviejo se destacaba por su intensa actividad comercial y de servicios, era el principal centro de negocios al que acudían personas de varios cantones cercanos para abastecerse de productos de consumo básico y adquirir otros productos. Un censo realizado en 2015 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015) mostró que el área era poco habitada, con numerosos edificios de varios pisos vacíos. Estos edificios estaban ocupados por oficinas, comercios, bodegas, consultorios, entidades públicas y empresas privadas.

En la década de 1980, se consolidó la construcción de edificios de hormigón armado en la nueva zona comercial de la ciudad. Estas construcciones seguían normas antiguas, calculadas principalmente para cargas verticales, y en muchos casos se añadieron pisos adicionales sin una adecuada supervisión técnica, utilizando hormigón de baja calidad. Estos edificios solo habían soportado cargas normales, excepto en el caso del terremoto de Bahía de 1998, cuando algunos resultaron dañados, como el edificio de la Mutualista Pichincha, que ya presentaba problemas estructurales antes del colapso en 2016, aunque continuó funcionando (Aguiar & Mieles, 2016)

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.

Estadísticas de afectaciones a las edificaciones en Manabí -Intervención MIDUVI

Según el MIDUVI en Manabí se vieron afectadas 34.323 (treinta y cuatro mil trescientas veinte y tres) edificaciones, en Portoviejo 4.789 (cuatro mil setecientos ochenta y nueve). En la tabla1 se puede evidenciar las edificaciones afectadas cantón por cantón.

Tabla 1. *Cuadro de edificaciones afectadas en los cantones de la provincia de Manabí.*

CANTÓN	EDIFICACIONES AFECTADAS
24 DE MAYO	161.00
BOLIVAR	1,678.00
CHONE	1,746.00
EL CARMEN	524.00
FLAVIO ALFARO	912.00
JAMA	1,236.00
JARAMIJO	1,149.00
JIPIJAPA	225.00
JUNIN	407.00
MANTA	6,670.00
MONTECRISTI	1,114.00
OLMEDO	56.00
PAJAN	347.00
PEDERNALES	2,956.00
PORTOVIEJO	4,789.00
PUERTO LOPEZ	284.00
ROCAFUERTE	1,097.00
SAN VICENTE	2,487.00
SANTA ANA	278.00
SUCRE	3,210.00
TOSAGUA	2,997.00
TOTAL	34,323.00

A continuación, en las figuras 2 a la 6, se evidencias varias edificaciones colapsadas en el cantón Portoviejo.

Figura 2. *Zona Cero Portoviejo*

Figura 3*. Zona Cero Portoviejo*

Figura 4. *Edificio CNT (calle 10 de agosto y Francisco Pacheco)*

Figura 5. *Edificio del Magisterio*

Figura 6. *Edificio del Cuerpo de Bombero*

Análisis y evaluación estructural del estado actual del inmueble

Los análisis estructurales de las edificaciones afectadas deben evaluar el comportamiento y cuantificar los esfuerzos a los cuales están sometidas las secciones de los elementos que conforman el sistema estructural, este análisis puede estar basado en un método elástico o dinámico (Desarrollo, 2015).

Se llevará una verificación del diseño de los elementos estructurales, donde se obtendrá una resistencia efectiva de la estructura a partir de la resistencia existente, para lo cual se determinará un índice de sobreesfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento o sección de éste, entre las fuerzas internas solicitadas obtenidas del análisis estructural realizado para las solicitaciones equivalentes definidas y la resistencia efectiva obtenida.

Utilizando los desplazamientos horizontales obtenidos en el análisis estructural deben obtenerse las derivas de la estructura.

Considerando los resultados obtenidos, se realizará una memoria técnica con la interpretación, análisis y teoría del comportamiento del sistema estructural, expresando la determinación de la eficiencia vs efectividad de la estructura analizada, generando las conclusiones y recomendaciones del análisis y evaluación de la estructura existente acorde a las normativas vigentes en nuestro país.

Criterios y alternativas de intervención estructural

Los criterios y alternativas de intervención estructural, deben ser consecuentes con las normativas internacionales y a las referencias que se hace al Diseño sismo resistente NEC-2015), cartas

internacionales de conservación, principios, y leyes de la República del Ecuador, y estos son los que se describen a continuación:

a) Criterios basados en mantener, restituir o aumentar la resistencia, cuyo objetivo es resistir las fuerzas de diseño sísmico.

b) Criterios basados en el desempeño estructural durante los sismos, cuyo objetivo es controlar los desplazamientos de la estructura agrietada por ellos, en base a refuerzos de mínima intervención, compatibles y reversibles; y criterios mixtos, donde se complementan los dos criterios anteriores.

c) Los inmuebles considerados Patrimonio de la humanidad y del estado ecuatoriano, tendrán una aplicación especial debido a que su preservación puede estar en riesgo por la acción de los terremotos, por lo que será necesario utilizar en su intervención, criterios de diseño que garanticen el control de los desplazamientos y eviten el colapso mediante refuerzos adicionales compatibles y reversibles con un daño mínimo en los elementos originales, para permitir la aplicación de nuevas técnicas que en el futuro sean adaptables con los materiales del inmueble.

Principales daños y causales presentadas a las edificaciones en el cantón Portoviejo

En este trabajo se evalúan varios edificios de la zona urbana que sufrieron colapso total durante el sismo. Se evidencia que todos estos edificios presentaban patologías estructurales previamente identificadas en estudios anteriores como causas de colapsos en sismos pasados (Aguiar & Mieles, 2016). La mayoría de las construcciones colapsadas estaban ubicadas en esquinas de calles (edificios abiertos), lo que les otorgaba poca rigidez estructural, lo que contribuyó a su caída durante el terremoto.

El daño más común observado en los edificios fue el de las columnas cortas, causadas por mampostería integrada a las columnas, lo que generalmente se debe a una disposición inapropiada de las paredes o a errores en los cálculos estructurales. Este tipo de columnas falla de manera frágil por cortante antes de experimentar una falla dúctil por flexo-compresión. Para evitar el colapso de las estructuras durante un terremoto, estas deben ser capaces de absorber y disipar la energía mediante elementos estructurales con ductilidad. Las columnas cortas tienen una capacidad muy baja para disipar energía, lo que las convierte en los elementos más dañinos durante un sismo. Esto se debe a que, aunque las columnas cortas tienen la misma demanda de desplazamiento lateral que las más largas, su mayor rigidez atrae más fuerza horizontal, lo que provoca un comportamiento deficiente durante el sismo (Luis & Guevara, n.d.).

Edificios como el Centro Médico del Pacífico (Mutualista Pichincha) y la Clínica San Antonio presentan patologías de columna débil y viga fuerte, que están descritas en el punto 5.6.2 de la NEC como una condición de inestabilidad (NEC, 2015). En este tipo de construcción, si la viga es más fuerte que la columna, la falla ocurrirá primero en el elemento vertical, comprometiendo la seguridad estructural del edificio. Muchas de las estructuras diseñadas hacen más de 40 años, incluyendo las de la zona cero de Portoviejo, fueron construidas con este defecto.

Los elementos estructurales en varias edificaciones No cumplían con la resistencia mínima a la compresión (F'C=210 Kg/cm²), como se puede observar en la figura 7 y 8, se realizaron pruebas de esclerometría en varios elementos como columnas vigas y cadenas.

Figura 7. *Esclerometría a columnas*

Pol. Con. (Edición núm. 107) Vol. 10, No 6, Junio 2025, pp. 956-975, ISSN: 2550 - 682X

Figura 8. *Esclerometría a vigas*

Además, según normativa ecuatoriana establecida y según lo que determina la NEC-SE-HM, en su numeral 4.3.1 referente a los *requisitos para elementos en flexo-compresión*, donde se cita lo siguiente: *"La dimensión más pequeña (en columnas) de la sección transversal, medida sobre una línea recta que pasa por su centroide geométrico, no sea menor que 300 mm".* En muchas edificaciones no se cumplió con la sección mínima, la cuantía mínima del refuerzo longitudinal de la sección mínima (0.30m x 0.30m), tal como lo indica la NEC-SE-HM, en su numeral 4.3.3, donde se establece que la: "*cuantía mínima del refuerzo longitudinal de una columna de concreto debe ser de al menos el 1% del área bruta de la sección de la columna (As.min = 0,01 x Ag)".*

Otro caso particular es el suscitado en el edificio del IESS, que se encontraba en la calle Pedro Gual y Chile, fue diseñado inicialmente para dos pisos, luego lo adquirió el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, incrementaron dos pisos más y una terraza lo que aumento la carga muerta y viva en la edificación que produjo el colapso.

Otros de los errores constructivos fueron en el Nudo rígido (columna y viga), es decir el encuentro entre vigas y columnas, totalmente ineficiente y desalineados, no existía nudo rígido, además de que el encuentro entre las vigas se da en la denominada zona protegida, transmitiendo cargas excéntricas al eje de la columna, generando mayores solicitaciones en condiciones de servicio. Esto constituye un error grave a nivel de la estructura convirtiendo a esta en vulnerable ante eventos sísmicos e incluso a cargas gravitacionales.

Un caso emblemático del sismo del 16 A fue el colapso del edificio Mutualista Pichincha, que quedó inclinado y fue ampliamente fotografiado y cubierto por los medios. Este edificio fue

demolido por implosión el 7 de agosto de 2016. Durante una visita al edificio antes de su demolición, los autores encontraron defectos importantes en el nivel 5, específicamente en el detalle del acero. El traslapo del refuerzo longitudinal de las columnas en la zona de unión viga-columna no fue adecuado, ya que el acero se había colocado solo hasta la mitad de la columna, sin respetar el nudo de unión, lo que sugiere errores en la construcción. Además, los estribos en esa zona eran de 10 mm cada 15 cm, y la columna de 60x60 cm solo tenía un núcleo de confinamiento, lo que empeoraba la capacidad estructural del edificio. Ver figura 9.

Figura 9. *Edificio de la Mutualista Pichincha*

Los estribos del edificio Mutualista Pichincha como se observa en la figura 10, simplemente se abrieron y no prestaron un confinamiento apropiado en ese nivel, considerando además que la 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 (Aguiar & Mieles, 2016) 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.

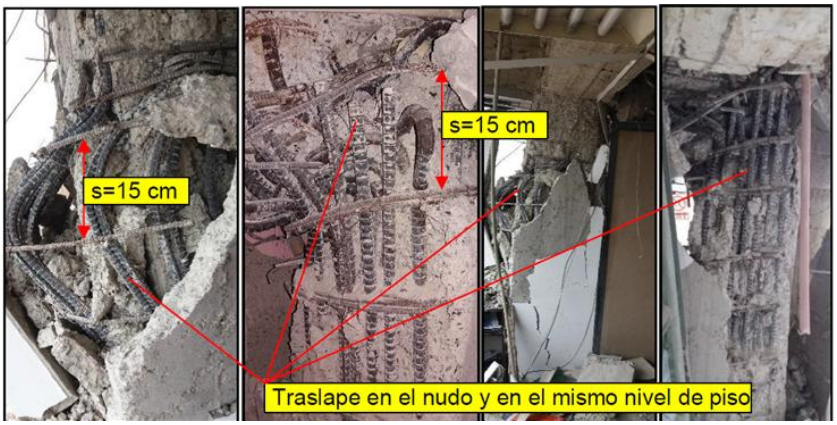

Figura 10. *Daño de columnas nivel 5 edificio Mutualista Pichincha*

Muchas edificaciones colapsaron debido a la falta de confinamiento adecuado en las uniones viga-columna. Estas construcciones, diseñadas bajo normas antiguas, especificaban una mayor separación de los estribos, que, aunque eran adecuadas para la época, no cumplían con los estándares modernos. A lo largo del tiempo, las normativas se fueron ajustando: el ACI 318 de 1995 establecía una separación de estribos a distancia "d", mientras que el ACI 318 de 2005 la redujo a un máximo de 15 cm con barras de 10 mm. Posteriormente, la NEC especificó que los estribos deben ser de 10 mm como mínimo, con una separación no mayor a 10 cm o 6 db, donde db es el diámetro de la barra longitudinal más pequeña. En las figuras mostradas, se observan estribos de 6 mm y 8 mm con separaciones excesivas, y en un caso, una columna carecía de estribos en la zona que falló durante el sismo del 16 de abril. Ver figura 11

Figura 11. *Separaciones ineficientes de estribos*

Otro error común fue la construcción por etapas o la adición de pisos no previstos en los cálculos originales. En varios casos, se observó que la longitud de desarrollo de las columnas no era adecuada para soportar los pisos superiores, ya que estas columnas solo transmitían cargas verticales mediante una articulación que no formaba un nudo rígido capaz de resistir momentos. Un ejemplo de esto es el Hotel Cabrera, construido a fines de la década de 1970, donde las columnas se arrancaron del piso. En este caso, el traslape del refuerzo no fue suficiente para desarrollar su fluencia, ya que la cantidad de acero embebido era muy pequeña, lo que contribuyó a su fallo estructural.

Otra causa del colapso de edificios fue la falla conocida como *piso blando*, que ocurre no solo en la planta baja, sino también en cualquier piso donde la rigidez del piso inferior sea menor que la del piso superior. Esto es común cuando se construyen columnas de la misma sección transversal, pero el piso inferior tiene una mayor altura (como 5 m por ordenanzas municipales) mientras que los pisos superiores son más bajos (por ejemplo, 3 m). Esta diferencia en rigidez provoca la falla de piso blando, que fue la causa principal de colapso en varios edificios de la zona cero.

Además, otro tipo de falla observada fue la de *edificio abierto*, que afecta a los edificios esquineros con poca área de terreno. Estos edificios suelen construirse con paredes perimetrales que comparten con las construcciones vecinas, lo que reduce la estabilidad. Como son edificios comerciales, las fachadas tienen grandes ventanales, lo que genera una gran excentricidad estática entre el centro de masas y el centro de resistencia, ubicado hacia los muros.

En varios sectores aledaños al cauce 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. Este fenómeno s evidenció en el sector del puente Rojo de Portoviejo.

A criterio de los autores (Aguiar & Mieles, 2016), “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”.

Conclusiones de los resultados

Muchos de los colapsos de las edificaciones, por no decir todos, fueron productos de:

- Mala práctica constructiva, secciones de elementos estructurales que no estuvieron acorde a las normativas vigentes.
- Elaboración del hormigón sin cumplir con la dosificación correspondiente, que pudiera dar como resultado una resistencia a compresión mínima que este igual o por encima de los 21 Megapascales (210 Kg/cm²).
- Fallas por piso blando.
- Afluencia de acero estructural deficiente, tanto en el acero longitudinal como trasversal.
- Sobrecargas de las edificaciones, varios inmuebles se construyeron para ciertos números de pisos determinado, luego de un tiempo se incrementaron la carga muerta y viva, lo que produjo el colapso por sobrecarga.
- Construcción en terrenos de sobre rellenos aledaños al margen del río Portoviejo.
- Nudos rígidos ineficientes y desalineados.
- Disposición inapropiada de las paredes o errores en los cálculos estructurales en las denominadas columnas cortas.
- Fallas por edificio abierto.

Recomendaciones

La recomendación principal es que se construya de acuerdo a la normativa vigente. Se establece como directriz fundamental que todo proceso constructivo se ejecute conforme a la normativa urbanística y técnica vigente, incluyendo los Códigos de Construcción, Reglamentos de Zonificación, Normas Técnicas Complementarias y demás disposiciones emitidas por las autoridades competentes. Esto implica el cumplimiento estricto de parámetros estructurales, normativas sísmicas, criterios de accesibilidad, eficiencia energética, seguridad contra incendios, y sostenibilidad ambiental, a fin de garantizar la habitabilidad, resiliencia y seguridad de las edificaciones.

Se debe implementar medidas rígidas de control y seguimiento a construcciones nuevas por parte de las entidades correspondientes, mediante los permisos de construcción, que se lleve a cargo de las unidades técnicas respectivas

Es imperativo establecer mecanismos robustos y sistemáticos de fiscalización técnica y administrativa sobre nuevas edificaciones, mediante la verificación del cumplimiento de los permisos de construcción, licencias de funcionamiento y demás autorizaciones exigidas por el marco legal. Estas tareas deben ser ejecutadas por unidades técnicas especializadas dentro de los entes reguladores (como direcciones de obras municipales, departamentos de control urbano o supervisión de infraestructura), que aseguren la trazabilidad documental, la inspección in situ en fases críticas de obra y la aplicación de sanciones en caso de incumplimiento normativo.

Actualización de conocimientos permanentemente, de las normativas para la construcción de edificaciones a funcionarios y constructores

Se recomienda establecer un programa permanente de capacitación técnica y actualización normativa dirigido tanto a funcionarios públicos responsables de la revisión y fiscalización de proyectos, como a profesionales del sector construcción (arquitectos, ingenieros civiles, maestros de obra, etc.). Este programa debe contemplar la difusión sistemática de nuevas disposiciones legales, cambios en reglamentaciones técnicas y avances tecnológicos aplicables a la edificación, promoviendo la formación continua mediante seminarios, talleres, certificaciones y acceso a plataformas de aprendizaje técnico

Referencias

1. Aguiar, R., & Mieles, Y. (2016). Analysis of Buildings That Collapsed of Portoviejo During the Earthquake of 16 April 2016. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 21, 257–282.
2. Bravo, E. (2017). El sismo del 16 de abril en Manabí visto desde la ecología política del desastre. Universitas, 26, 235–252. https://doi.org/10.17163/uni.n26.2017.10
3. Chunga, K., Quiñonez, M. F., Huaman, F., Besenzon, D., Mulas, M., Garcés, D., Larreta, E., Gorshkov, A., & Michetti, A. M. (2016). Geología de terremoto y tsunami. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11180.05767
4. Desarrollo, D. (2015). Evaluacion Sismica y rehabilitación de estructuras ,.

5. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2015). Estadístico 2015. Instituto Nacional de Estadistica y Censos Del Ecuador, 358. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/
6. Instituto nacional de prevención sísmica – inpres – 1. (1915). 1–8.
7. Luis, E., & Guevara, F. (n.d.). Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras.
8. NEC. (2015). Estructuras De Hormigón Armado. In Norma Ecuatoriana De La Construcción.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).