



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

FALLAS MÁS COMUNES EN SISTEMAS ESTRUCTURALES DE
DUCTILIDAD LIMITADA EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS EN
ZONAS SÍSMICAS ALTAS

QUEZADA AVALO STEFANY YOMARA
INGENIERA CIVIL

MACHALA
2019



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

FALLAS MÁS COMUNES EN SISTEMAS ESTRUCTURALES DE
DUCTILIDAD LIMITADA EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS
EN ZONAS SÍSMICAS ALTAS

QUEZADA AVALO STEFANY YOMARA
INGENIERA CIVIL

MACHALA
2019



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

FALLAS MÁS COMUNES EN SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD
LIMITADA EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS EN ZONAS SÍSMICAS ALTAS

QUEZADA AVALO STEFANY YOMARA
INGENIERA CIVIL

CARRION ROMERO LEYDEN OSWALDO

MACHALA, 22 DE AGOSTO DE 2019

MACHALA
22 de agosto de 2019

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado FALLAS MÁS COMUNES EN SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS EN ZONAS SÍSMICAS ALTAS, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.

CARRION ROMERO LEYDEN OSWALDO
0703989962
TUTOR - ESPECIALISTA 1

ORDÓNEZ FERNANDEZ JOSÉ LUIS
0703830646
ESPECIALISTA 2

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL
0703092874
ESPECIALISTA 3

Fecha de impresión: jueves 22 de agosto de 2019 - 08:52

Urkund Analysis Result

Analysed Document: ANALISIS DE COINCIDENCIA_QUEZADA AVALO STEFANY.docx
(D54787466)
Submitted: 8/12/2019 5:36:00 PM
Submitted By: syquezada_est@utmachala.edu.ec
Significance: 3 %

Sources included in the report:

1475004113_ILLESCAS FIGUEROA LEE MARVIN.pdf (D22015532)
TESIS LUCHO CASTRO final.docx corregido.doc (D30525188)
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2206/1/T-UCE-0011-70.pdf>
<https://www.slideshare.net/crisma88/diseo-estructural-sismo-resistente-edificio-ea74d53f-8b34-4485-9a8e-3150cafc4a32>

Instances where selected sources appear:

5

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, QUEZADA AVALO STEFANY YOMARA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado FALLAS MÁS COMUNES EN SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS EN ZONAS SÍSMICAS ALTAS, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de agosto de 2019



QUEZADA AVALO STEFANY YOMARA
0706325974

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis padres la señora Dora Avalo y al Señor Juan Quezada por ser la fuente de inspiración, por ser aquellos que no descansaron por ayudarme a realizar mis metas, hoy por hoy se lo dedico este producto como agradecimiento por su apoyo incondicional y su fe hacia mí, también se lo dedico al ingeniero Leyden Carrión y cada uno de mis tutores que han tenido la osadía y la paciencia para desarrollarlo de tal manera cumplir con lo planificado y por ultimo a la Unidad Académica de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala, por brindarme las cátedras necesarias y docentes capacitados con el fin de desarrollarme como profesional.

Stefany Quezada

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza para tener la valentía de cumplir con lo planificado hace 6 años, a mis padres por estar en mis momentos de alegría, de tristeza, de impotencia cuando algo no me salía bien y darme esas fuerzas que día a día requería para seguir adelante, a cada uno de mis docentes por enseñarme cada una de las cátedras que hoy me ayudan a desarrollarme como ingeniera quedo inmensamente agradecida y como muestra de gratitud dejo este producto con el fin de que brinde lo necesario en la UTMACH.

Stefany Quezada

FALLAS MÁS COMUNES EN SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS EN ZONAS SÍSMICAS ALTAS

Autora: Stefany Quezada Avalo

RESUMEN

De acuerdo a lo investigado y al poner en relevancia las normativas de construcción NEC se presenta este documento cuyo objetivo es dar a conocer al lector las fallas más comunes que se presentan en los sistemas estructurales de ductilidad limitada, conociendo que estos sistemas estructurales son muros estructurales portantes, pórticos resistentes a momento y el uso del acero estructural, como estructuras que deben soportar cargas de tal manera que estas no colapsen ante un evento sísmico, como lo ocurrido el 16 de abril de 2016 en la provincia de Manabí y Esmeraldas que le provocó al país pérdidas tanto materiales como humanas, que según las investigaciones que se realizaron dieron como resultado que algunas estructuras presentaban columnas cortas, es decir una falla frágil por cortante antes que falla dúctil por flexo compresión, es decir, que las estructuras debieron tener elementos estructurales que tengan ductilidad para absorber y disipar la energía causadas por el sismo y lograr que se mantengan y no colapsen al punto de perder vidas que para un ingeniero civil es nefasto, lo sucedido es un claro ejemplo de que se requiere conocer las diferentes fallas que se presentan en los sistemas estructurales de ductilidad limitada cuando en muchas ocasiones no se considera lo estipulado en las normas ecuatorianas, además de esto es dar una solución a dichas estructuras mediante rehabilitaciones estructurales para lograr salvaguardar vidas que es lo importante.

Palabras claves: hormigón, ductilidad limitada, vivienda, fallas estructurales, rehabilitación.

SUMMARY

According to what has been investigated and by highlighting the NEC construction regulations, this document is presented whose objective is to make the reader aware of the failures that occur in structural systems with limited ductility, knowing that these structural systems are supporting structural walls, resistant frames at the moment and the use of structural steel, as structures that must withstand loads so that they do not collapse before a seismic event, such as the one that occurred on April 16, 2016 in the province of Manabí and Esmeraldas that caused the country both material and human losses, which, according to the investigations that were carried out, resulted in some structures presenting short columns, that is, a fragile failure due to shear rather than ductile failure due to flex compression, that is, the structures must have structural elements that have ductility to absorb and dissipate the energy caused by the earthquake and achieve that remain and do not collapse to the point of losing lives that for a civil engineer is disastrous, what happened is a clear example that it is necessary to know the different failures that occur in structural systems of limited ductility when in many cases it is not considered what is stipulated in the Ecuadorian norms, in addition to this is to give a solution to these structures through structural rehabilitations in order to safeguard lives that is important.

Keywords: concrete, limited ductility, housing, structural failures, rehabilitation

CONTENIDO

NOTA DE ACEPTACIÓN.....	IV
ANÁLISIS DE COINCIDENCIA.....	V
CLAUSULA DE CESION DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN.....	IX
SUMMARY.....	X
INDICE DE CONTENIDO.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPITULO I.....	15
1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.....	15
1.1 Objetivos de Investigación.....	15
1.1.1 Objetivo General.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Delimitación del problema.....	15
1.3 Antecedentes.....	15
CAPITULO II.....	17
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	17
2.1 Estructuras.....	17
2.2 Actividad Sísmica en Ecuador.....	17
2.3 Guía práctica de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros en conformidad con la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015)....	17
2.4 Vivienda en Ecuador – MIDUVI.....	17
2.5 Urbanizaciones.....	17
2.6 Ductilidad.....	17
2.6.1 Importancia de la ductilidad en estructuras.....	18
2.6.2 Ductilidad limitada – caso particular para vivienda de baja altura.....	18
2.7 Falla Estructural.....	18
2.8 Sistemas estructurales de ductilidad limitada.....	18
2.8.1 Sistema de Muros Estructurales Portantes.....	18
2.8.2 Tipos de fallas en los muros estructurales portantes.....	19
2.8.3 Sistema de Pórticos Dúctiles Resistentes a Momento.....	19

2.8.4	<i>Sistema de Ductilidad Limitada con Acero Estructural</i>	21
3.	CAPITULO III	22
3.1	Urbanizaciones que utilizan el sistema estructural de ductilidad limitada 22	
3.2	Fallas que se presentan en el sistema estructural de ductilidad limitada en las urbanizaciones	22
3.3	Estrategias de rehabilitación que se pueden realizar para mejorar su sistema de ductilidad limitada ante un evento sísmico	22
	CONCLUSIONES	23
	RECOMENDACIONES	23
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
	ANEXOS	26
	Anexo 1: Accesibilidad para obtener una vivienda	27
	Anexo 2: Fallas Estructurales en los sistemas de Muros Estructurales Portantes	29
	Anexo 3: Fallas Estructurales en los Sistemas de Pórticos Resistentes a Momento	30
	Anexo 4: Proyectos Inmobiliarios en la ciudad de Machala con el Sistema Estructural de Ductilidad Limitada	35
	Anexo 5: Fotografías de la vivienda tipo en la Urbanización Ciudad Palmeras .	36
	Anexo 6: Vivienda Tipo de la Urbanización Oro City	37
	Anexo 7. Mapa de Intensidades del sismo en Pedernales	37
	Anexo 8: Resumen de Fallas y posibles rehabilitaciones de elementos estructurales	39

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Fuente: NEC-SE-DS- Peligro sísmico</i>	26
<i>Tabla 2. Accesibilidad que otorga MIDUVI para obtener una vivienda. Fuente: Pagina MIDUVI</i>	27
<i>Tabla 3. Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas. Fuente: NEC - SE – VIVIENDA</i>	28
<i>Tabla 4. Muestra levantada en relación con proyectos inmobiliarios de la ciudad de Machala. Fuente: Autor de este documento.</i>	35
<i>Tabla 5. Resumen de fallas de los sistemas de ductilidad limitada y rehabilitaciones. Fuente: Autor de este proyecto</i>	43

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño. Fuente: NEC-SE-DS - Peligro sísmico</i>	26
<i>Ilustración 2. Fallas en muros estructurales portantes. Fuente: Bartolomé y Muñoz</i>	29
<i>Ilustración 3. Fallas por compresión y pandeo fuera del plano. Fuente: Hube y J.C de la Llera</i>	29
<i>Ilustración 4. Falla por deslizamiento en la base. Fuente: Dulce García</i>	29
<i>Ilustración 5. Defectos ocasionados por congestión de refuerzo, falla por cangrejas en los talones de los muros. Fuente: Bartolomé y Ríos.</i>	30
<i>Ilustración 6. Pórticos resistentes a Momento. Fuente: Autor de este documento</i>	30
<i>Ilustración 7. Flexión en vigas. Fuente: Sambrano, 2015</i>	31
<i>Ilustración 8. Falla de flexión en columnas. Fuente: Gálvez, 2017</i>	31
<i>Ilustración 9. Falla estructural en columnas de planta baja derivado de una configuración de piso suave. Fuente: Aguilar, 2010</i>	32
<i>Ilustración 10. Edificaciones de la ciudad de Portoviejo que muestran fallos por corte y por confinamiento en columnas. Fuente: Castañeda y Bravo</i>	32
<i>Ilustración 11. Deformación lateral de la columna corta. Fuente: Carlos Murillo</i>	33
<i>Ilustración 12. Falla por tensión diagonal en columna acortada. Fuente: Carlos Murillo</i>	33
<i>Ilustración 13. Falla por punzonamiento en la losa. Fuente: web</i>	33
<i>Ilustración 14. Falla en la conexión viga-columna. Fuente: Dulce García</i>	34
<i>Ilustración 15. Irregularidades de construcción fallas por flexo-compresión en columnas. Fuente: Castañeda y Mielles</i>	34
<i>Ilustración 16. Curvas de tensión-deformación para un acero sin y con un punto de rendimiento definido. Fuente: Moreno, Prieto, Gonzales y Llauro</i>	34
<i>Ilustración 17. Vivienda tipo de dos pisos con el sistemas de ductilidad limitada - caso muros estructurales portantes. Fuente: Autor de este documento</i>	36
<i>Ilustración 18. Vivienda tipo de dos pisos con el sistemas de ductilidad limitada - caso pórticos resistentes a momento. Fuente: Autor de este documento</i>	37
<i>Ilustración 19. Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto de Pedernales (escala EMS-98), con las señales de los acelerógrafos en las distintas localidades evidenciando como se movió el suelo. Fuente: Instituto Geofísico</i>	37
<i>Ilustración 20. Esquemas de funcionamiento de uniones híbridas auto-centrantes. a) Esquema de fuerzas internas en unión viga-columna y b) Modelos constitutivos con ciclos histeréticos con forma de bandera. Fuente: Marcus J y Thiers R (2015)</i>	38

INTRODUCCIÓN

En el campo ingenieril el área de proyectos inmobiliarios es catalogado como un ámbito dinámico e invariable ya que siempre los ingenieros civiles buscan optimizar propuestas de proyectos que se rijan en lo seguro, funcional, estético y económico para sus clientes; es por ello que dichas propuestas estructurales se deben inducir de tal manera que desarrollen comportamientos óptimos ante las exigencias normales del país.

La selección de los sistemas estructurales deben ser diseñados de tal manera que logren resistir cargas laterales, porque este es un objetivo de índole importante como respuesta de comportamiento adecuado; muchos de estos sistemas deben cumplir con el requisito de ductilidad limitada sean con sistemas de muros estructurales portantes, de pórticos resistentes a momentos o estructuras con acero estructural, por razones de ser opciones factibles y rápidas si de proceso constructivo se refiere.

Así como es importante seleccionar sistemas estructurales adecuados también es importante conocer las incidencias que se pueden generar ante un evento sísmico, es por ello que este documento se limita a dar a conocer a sus lectores las fallas más comunes que se presentan en estos sistemas; para ello se lo ha dividido en tres capítulos como sigue:

Capítulo I: se detallan los aspectos generales del proyecto, objetivos generales como específicos, delimitación del problema y antecedentes.

Capítulo II: se detalla la fundamentación teórica, que consta sobre actividad sísmica del Ecuador, Guía de viviendas – MIDUVI, sistemas estructurales de ductilidad limitada y sus fallas más comunes.

Capítulo III: se da a conocer al lector sobre algunas urbanizaciones donde sus viviendas tipos están diseñadas con el sistema estructural de ductilidad limitada (muros portantes y pórticos resistentes a momento), detalle de las fallas y posibles rehabilitaciones de manera general, además se describen las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

1. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1 Objetivos de Investigación

1.1.1 *Objetivo General*

Clasificar las fallas más comunes que se presentan en los sistemas estructurales de ductilidad limitada mediante la revisión bibliográfica e investigación de campo, para determinar su incidencia en viviendas de hasta dos pisos frente a sollicitaciones en zonas sísmicas altas.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Describir los diferentes sistemas estructurales de ductilidad limitada, mediante investigación bibliográfica y de campo para definir su funcionalidad en los proyectos inmobiliarios.
- Identificar los tipos de fallas más comunes que se presentan en los sistemas estructurales de ductilidad limitada, mediante investigación bibliográfica para interpretar su incidencia en los diferentes elementos estructurales que se pueden presentar ante una actividad sísmica.
- Elaborar un documento que evidencie las fallas más comunes que se presentan en los sistemas estructurales de ductilidad limitada en las viviendas de hasta dos pisos.

1.2 Delimitación del problema

Se debe clasificar y describir las fallas más comunes que se presentan en los sistemas estructurales de ductilidad limitada ante eventos sísmicos, ya que según lo detallado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), Ecuador se encuentra dividido en zona sísmica intermedia, alta, y muy alta; y es de vital importancia conocer las causas de estas fallas para la toma de decisiones que eviten el colapso, garantizar la calidad constructiva la seguridad estructural de nuestras obras y la seguridad humana que es lo principal. [1]

1.3 Antecedentes

Ecuador se encuentra en una zona altamente sísmica, debemos conocer que tales acontecimientos son impredecibles que afectan a las estructuras por estar relacionadas directamente con el suelo, es decir, que las cargas tanto horizontales como verticales se transfieren a las cimentaciones de dichas estructuras mientras que el peso de la estructura

se opone causando inestabilidad e inseguridad a las estructuras dado a que se generan fuerzas de inercia, esfuerzos y deformaciones.

Entonces, para lograr minimizar estas fuerzas se requieren de los sistemas estructurales de ductilidad limitada, como es el uso de muros portantes; que son elementos verticales que reciben cargas de compresión, los mismos que aportan a la estructura rigidez y capacidad para resistir los esfuerzos de flexión y una parte de las sollicitaciones sísmicas, así como otros sistemas que son los pórticos resistentes a momentos.

Ecuador, es un país que ha desarrollado el uso de los sistemas estructurales de ductilidad limitada con muros portantes, en la construcción de viviendas habitacionales, evidentemente las constructoras que lo aplican presentan varias ventajas como es el tiempo de construcción relación costo/beneficio comparado a otros sistemas.

Machala, en una de las ciudades donde se desarrollan sistemas estructurales de ductilidad limitada con muros estructurales portantes como son las urbanizaciones “Ciudad Palmeras”, “Nuevos Horizontes” y con pórticos resistentes a momento como son las urbanizaciones “Oro City”, “Celessia”, “Santa Inés”, “Ciudad Verde”, “San Patricio”, “Puertas del Sol”, “Porto Verdella”, “El Sol”, “Palermo”, “Casa club Crucitas”, “Alcántara”, “El Portal”, “La Riviera”, “Mediterráneo 1”, “Villago”, “Portal de Barú”, “Portal del Río”, “La Castellano”, “El Girasol”.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Estructuras

Se considera estructura al conjunto de elementos que lo constituye, cuyo fin es el de resistir las fuerzas actuantes sobre ella, tales como peso propio, cargas externas, fuerzas de inercias, de tal manera que este no se deforme ante los movimientos sísmicos.

2.2 Actividad Sísmica en Ecuador

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), Ecuador se encuentra en una zona sísmica alta, a excepción del nor-oriental que tiene amenaza sísmica intermedia y el litoral que tiene amenaza sísmica muy alta según el mapa de diseño sísmico (*Ver ilustración 1*) dividida por seis zonas sísmicas representadas con el valor de factor Z , (*Ver tabla 1*), siendo esta la representación de la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

2.3 Guía práctica de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros en conformidad con la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015)

Esta es una de las guías prácticas cuyo objetivo es el de emplear apropiadamente la normativa en referencia a este tipo de viviendas y el de fortalecer las capacidades nacionales para minimizar la vulnerabilidad a eventos sísmicos en Ecuador.

2.4 Vivienda en Ecuador – MIDUVI

Las viviendas de interés social (VIS) son aquellas que están dirigidas exclusivamente a las personas vulnerables en el territorio Nacional como desplazados, encierra a aquellos que fueron víctimas de actos terroristas o afectaciones por desastres naturales o calamidades domésticas. [2] (*Ver anexo 1: tabla 2*)

2.5 Urbanizaciones

Se las conocen como un conjunto de viviendas cuyos planos representan una configuración estructural igual, por tal razón son construidas en su mayoría en serie; se las construyen en zonas fuera de la ciudad denominadas como segundas residencias.

2.6 Ductilidad

Se interpreta a este fenómeno como la capacidad que tiene la estructura en conjunto con sus componentes y materiales, el de sostenerse sin llegar a deformaciones que excedan el

limite elástico, al tener baja resistencia de los elementos, bajos confinamientos de refuerzo, y pésimas conexiones se está ante un evento de baja ductilidad. [3]

2.6.1 Importancia de la ductilidad en estructuras

Iván Guerra Machado [4], resume la importancia de la ductilidad en las siguientes afirmaciones para cualquier tipo de proyecto:

- Aumenta la resistencia de miembros, conexiones y estructuras
- Resulta en estructuras más robustas
- Indica que se producirá un fallo
- Permite que la estructura sobreviva a severa carga producida por terremoto.

2.6.2 Ductilidad limitada – caso particular para vivienda de baja altura

La NEC – SE –VIVIENDA, exterioriza un factor de reducción de resistencia sísmica R , donde su uso en el análisis de cortante basal es permitido siempre y cuando las viviendas estén diseñadas con sistemas estructurales de ductilidad limitada y que su valor varía dependiendo del tipo de sistema, es decir, será $R = 1$, $R = 1,5$ y $R = 3$ en muros estructurales portantes, $R = 3$, $R = 1,5$ y $R = 2,5$ en pórticos resistentes a momento. (Ver tabla 3). [5]

2.7 Falla Estructural

En el análisis estructural se debe considerar los parámetros de ductilidad, la sobre resistencia, la redundancia estructural de los materiales y sistemas constructivos, por motivos que de no solo se utilizan las fuerzas sísmicas de diseño a razón de que estas no son necesarias para garantizar el desempeño de las estructuras ante una sollicitación sísmica de grandes magnitudes que provoquen deficiencia o fallos de las mismas que como consecuencia aporta a irreparables pérdidas por colapso de las estructuras. [6]

2.8 Sistemas estructurales de ductilidad limitada

2.8.1 Sistema de Muros Estructurales Portantes

El uso de este sistema nos asegura de que no se produzcan cambios bruscos en las propiedades resistentes y de las rigideces, haciéndolo capaz de soportar pequeñas deformaciones. Además de ser un sistema eficiente en comparación con los de pórticos este permite solventar problemas de diseño que el sistema de pórticos presenta como son excentricidades, problemas de derivas que no se cumplen, problemas de torsión, rigidez etc. [7]

2.8.2 Tipos de fallas en los muros estructurales portantes

- **(b) Falla por flexión;** comienza cuando la resistencia al corte predomina a la de flexión, se describe como una oscilación del muro en torno a sus extremos, transfiriendo toda la carga vertical al extremo comprimido causando trituración en el concreto.
- **(c) Tracción diagonal;** se da por la presencia de fisuras diagonales causadas por fuerza cortante, estas van aumentando de grosor acorde al incremento de desplazamientos laterales.
- **(d) Corte-deslizamiento;** la resistencia al corte es menor a la de flexión.
- **(e) Deslizamiento en la base;** se genera porque se presentan grietas en los dos extremos del muro. [8] *(Ver ilustración 2)*
- **Pandeo del refuerzo y Pandeo fuera del plano del muro;** se producen después de la falla por compresión; debido a grandes alargamientos y ausencia de refuerzo transversal que limite la salida del plano. *(Ver ilustración 3)*
- **Falla frágil en muros de cortante con o sin aberturas, solos o acoplados;** se presentan en su unión con los sistemas de pisos, cortantes horizontal o vertical y vuelco; con la presencia de grietas horizontales y desconchamiento de concreto en su unión.
- **Falla por deslizamiento en la base o flexión;** se da por cedencia del acero o por compresión del concreto e indica que su plastificación comienza en la base y se propaga hasta cierta altura dando lugar al colapso ya que el muro comienza a rotar como un elemento rígido alrededor de la articulación plástica. *(Ver ilustración 4)*
- **Falla de cangrejeras y trituración de los talones en etapas tempranas;** se presentan por la mala compactación del concreto por congestión alta de refuerzo o por la ausencia de hermeticidad del encofrado; este tipo de falla solo se las puede reparar superficialmente, causando defectos de costo/beneficio y reducción de resistencia y rigidez sísmica. [9] *(Ver ilustración 5)*

2.8.3 Sistema de Pórticos Dúctiles Resistentes a Momento

Conformados por el conjunto de vigas y columnas que transportan las cargas verticales y horizontales a la cimentación, su funcionamiento se basa en la formación de rótulas plásticas en los extremos, es decir, que dichas rotulas deben formarse en las vigas antes que en las columnas, ya que al formarse en las vigas se presentarían deformaciones

mínimas sin producir colapso en la estructura, caso contrario se puede llegar a colapsar si se formase en las columnas. [10] (*Ver ilustración 6*)

En este tipo de sistema, se presentan las siguientes fallas:

- **Fallas por flexión en vigas;** se da por la cedencia en el refuerzo en el extremo, ya que la deflexión de esta aumenta debido a que el punto de cedencia es alcanzado. [11] (*Ver ilustración 7*)
- **Fallas por inadecuada resistencia al cortante de los entrepisos;** se deben por la escasez de elementos estructurales como columnas y muros que le otorgue a la estructura en general la resistencia suficiente para resistir las fuerzas cortantes.
- **Fallas por flexión en las columnas;** se debe a la formación de las rótulas plásticas en las columnas. (*Ver ilustración 8*)
- **Falla por pisos suaves o débiles;** “*son aquellos entrepisos dentro de una estructura que tienen reducción significativa en su rigidez y/o resistencia lateral con respecto a los demás entrepisos, resultando perjudiciales para el comportamiento global de la estructura, por motivos de que se consigue discontinuidad en trayectoria de cargas, interrupción de columnas, interrupción de los muros estructurales.*” [12] (*Ver ilustración 9*)
- **Fallas por cortante en columnas;** se da por la deficiencia en el confinamiento, ganchos sísmicos y no cumplimiento de norma en relación con el espaciamiento de los estribos en las columnas. [13] (*Ver ilustración 10*)
- **Fallas por fuerza cortante en la base de columnas por el efecto restrictivo al desplazamiento causado por elementos no estructurales;** los elementos no estructurales inducen concentraciones de fuerza cortante a los extremos libres de la columna provocando falla frágil por cortante, (*Ver ilustración 11*) además por la carencia de ductilidad en la columna acortada esta falla se genera por tensión diagonal (*Ver Ilustración 12*) se puede solucionar dejando separaciones suficientes entre las columnas y los muros de relleno para que logren deformarse libremente antes sollicitaciones sísmicas. [14]
- **Falla por punzonamiento de la losa;** se deben por los esfuerzos cortantes elevados, dando lugar a un colapso total de la estructuras quedando solo en pie las columnas. (*Ver Ilustración 13*)
- **Fallas por deficiente rigidez en conexión viga columna;** se presenta cuando existe un desprendimiento de hormigón en las caras laterales del nudo y doblado

de las varillas provenientes de la columna. Esta rigidez es una determinante importante en la funcionalidad de un pórtico porque es el vínculo de transmisión de efectos entre cada uno de sus elementos. *(Ver Ilustración 14)*

- **Fallas por falta de anclaje en la cimentación;** se producen cuando estas son superficiales sin ningún tipo de anclaje al suelo, provocando que sea incapaz de cumplir con su función estabilizadora frente a cargas producidas por sismos, causando que estas se desprendan, o se fraccionan en la base de las columnas produciendo colapso total de la estructura. [15]
- **Fallas por fragilidad en mampostería;** en el artículo realizado por Lara, Aguirre y Gallegos en el análisis de fallas de estructuras en el pasado 16 de abril del 2016 explica que en la mayoría de las estructuras se utilizaron mampostería artesanal de mala calidad, provocando fallas por explosión alrededor de su centro determinándose que es por falta de ductilidad del material, elevada fragilidad y pésimo proceso constructivo.
- **Falla por flexo – compresión en columnas;** por pérdida en la estabilidad de aceros longitudinales, los traslapes están en una misma dirección, elevada separación de estribos, falta de confinamientos en donde la cuantía longitudinal es mayor, etc. *(Ver ilustración 15)*

2.8.4 Sistema de Ductilidad Limitada con Acero Estructural

El acero estructural presenta un comportamiento linealmente elástico, y su objetivo en el diseño de estructuras sismo resistentes es limitar la inestabilidad en las zonas sometidas a compresión por razones de que este degrada su respuesta de resistencia y su capacidad de disipar energía. [16]

En el artículo redactado por Moren, Prieto, Gonzales y Llauradó indican que de acuerdo a la ilustración mostrada las áreas sombreadas de los diagramas de tensión – deformación, definen la deformación que tiene lugar en el material durante su fase plástica, las mismas áreas incorporan el concepto de ductilidad y conocer si es dúctil. [17] *(Ver ilustración 16)*

- Fallas en las conexiones, por fractura de soldaduras, placas y zonas del panel.
- Fallas de miembros en flexión como: fluencia o plastificación, pandeo local de los patines o del alma, pandeo lateral y pandeo lateral por flexo – torsión.
- Fallas por fragilidad e inestabilidad en pórticos arriostrados concéntricamente que originan comportamiento **no dúctil** de la estructura. [18]

3. CAPITULO III

3.1 Urbanizaciones que utilizan el sistema estructural de ductilidad limitada

Mediante la investigación de campo, se logró conocer las viviendas de dos pisos que fueron diseñadas y construidas en la ciudad de Machala con el sistema estructural de ductilidad limitada (*Ver anexo 4: tabla 4*), con la utilización del sistema muros estructurales portantes cuyas áreas de construcción oscilan de 100 a 110 m² (*Ver ilustración 17*) y con el sistema de pórticos resistentes a momento cuyas áreas de construcción oscilan de 130 a 161 m². (*Ver ilustración 18*).

3.2 Fallas que se presentan en el sistema estructural de ductilidad limitada en las urbanizaciones

En el presente documento se encuentran detallados los tipos de fallas más comunes en los sistemas de ductilidad limitada, que fueron redactadas con la utilización de artículos científicos y documentos que sirvieron como investigación, pero mediante una visita en campo se pudo observar que en relación a los sismos recientes, en las urbanizaciones mencionadas no se presentaron ningún tipo de falla visible por motivos de que la onda causada por el sismo no fue de gran magnitud en la ciudad de Machala, evitando que las viviendas fueran afectadas como lo sucedido en la ciudad de Pedernales. (*Ver ilustración 19*)

3.3 Estrategias de rehabilitación que se pueden realizar para mejorar su sistema de ductilidad limitada ante un evento sísmico

Segovia fundamenta que los ingenieros civiles deben plasmar criterios basados en la configuración de cada sistema estructural, sus materiales, el estado de conservación y sus fases de construcción así mismo que su modelación en programas estructurales evidencien particularidades como mecanismos de fallas y su interpretación con la finalidad de encontrar soluciones basadas en su estabilidad y no aspirando a corregir o modificar su resistencia o capacidad. [19]

Marcus y Thiers presentan en su artículo una aplicación innovativa para el control de daño estructural en pórticos de hormigón armado, y se trata de incorporar uniones híbridas postensadas en las columnas de manera que se logre disipar la energía en las uniones y conservar la rigidez inicial del sistema. [20] (*Ver ilustración 20*)

En la tabla 6 se presentan las fallas estudiadas con las respectivas rehabilitaciones que se le pueden realizar para mejorar sus condiciones ante un evento sísmico.

CONCLUSIONES

- Mediante la revisión bibliográfica se ha logrado determinar los sistemas estructurales de ductilidad limitada y mediante un levantamiento en campo de información en la ciudad de Machala referente a los proyectos inmobiliarios se ha llegado a comprobar que de 21 viviendas examinadas, 19 que representa a **90,47%** están construidos con el sistema de pórticos resistentes a momento y que tan solo 2 que representa el **9,52%** están construidos con el sistema de muros estructurales portantes.
- Mediante la revisión bibliográfica de sucesos pre-escritos en la localidad de Pedernales se ha logrado determinar que las fallas más comunes en estos sistemas han sido por falla por flexión en vigas y columnas, falla por cortante en columnas, falla por la debilidad de confinamiento en los extremos de vigas y columnas, deficiente rigidez en las conexiones viga-columna, fallas por columnas cortas, etc. determinándose que en su mayoría son por incorrectas prácticas constructivas y uso de materiales deficientes, que frente a la sollicitación sísmica producida el 16 de abril de 2016 las estructuras se convirtieron en vulnerables ocasionando que en la mayoría de casos se desplomen sin tener la posibilidad de ser rehabilitadas.
- En el documento que se presenta se ha plasmado los tipos de fallas más comunes en los sistemas estructurales de ductilidad limitada que han sido descritas mediante la investigación en artículos científicos en relación al último terremoto que suscitó en nuestro país y que han sido evidenciadas en fotografías.

RECOMENDACIONES

- Conocer las características técnicas de los proyectos inmobiliarios con el fin de contar con una base de datos que indiquen el tipo de sistema estructural que se desarrollan en la ciudad de Machala, ya que en la actualidad el GAD municipal no cuenta con este tipo de información actualizada.
- Concientizar a profesionales de la construcción que el desarrollo de las construcciones con los sistemas estructurales de ductilidad limitada, sean realizadas con lo descrito en las Normas Ecuatorianas de la Construcción para que ante sollicitaciones sísmicas estas puedan mantenerse, de tal manera, que se logre rehabilitar y salvaguardar vidas ante un evento sísmico.
- Por lo descrito en el capítulo 2 se recomienda que se empiecen a desarrollar estudios para lograr la rehabilitación estructural de estructuras ante un sismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. a. MIDUVI, «Norma Ecuatoriana de la construcción NEC,» de *NEC-SE-DS: Peligro sísmico, Diseño Sismo Resistente*, Quito, Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Diciembre, 2014, p. 50.
- [2] C. Concreto, «Constructora Concreto - ¿Qué es vivienda de interés social (VIS)?,» 10 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://viviendaconcreto.com/que-es-vivienda-interes-social-vis/>. [Último acceso: 16 Julio 2019].
- [3] R. Durand Martínez, M. M. González Fernández y J. M. Ruiz Ruiz, «"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO EL MARVY",» *Ciencia en su PC*, vol. I, n° 4, pp. 84-94, 2018.
- [4] I. G. Machado, «"Falhas de estruturas de aço soldadas devido a reduzida ductilidade",» *Soldagem & Inspeção*, vol. 18, n° 4, 2013.
- [5] C. a. MIDUVI, «Norma Ecuatoriana de la Construcción,» de *NEC- SE- VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros*, Quito, Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Diciembre, 2014, pp. 26-27.
- [6] G. Morejón Blanco, C. Llanes Burón y Z. P. Frómeta Salas, «"Métodos para la determinación del factor de reducción de respuesta de las fuerzas sísmicas",» *Redalyc, Ciencia en su PC*, n° 1, pp. 24 - 35, 2018.
- [7] S. Arteaga, J. Malavé y J. Olival, «"Comparación del diseño de muros estructurales de concreto armado según FONDONORMA 1753:2006 y ACI 318-14",» *Revista de Ingeniería UC*, vol. XXIV, n° 1, pp. 125 - 137, Enero- Abril 2017.
- [8] Á. San Bartolomé, D. Quiñón y W. Silva , «Comentarios relativos al tipo de fallas en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010,» *SCIELO - Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, vol. 3, n° 1, Diciembre, 2011.
- [9] Á. San Bartolomé y R. Ríos, «"Comportamiento a fuerza cortante de muros delgados de concretos reforzados en su zona central con barras de acero, fibra de polipropileno y con fibra de acero.",» *SCIELO - Concreto y Cemento Investigación y desarrollo*, vol. V, n° 1, 23 Septiembre 2013.
- [10] J. Farbiarz Farbiarz, A. Campos García, J. H. Arango Tobón y O. D. Cardona A., «Guía de Patologías constructivas, Estructurales y no estructurales,» Grupo Magenta, Bogotá D.C., 2011.
- [11] Carlos, «Course Hero/ National Polytechnic School/ Fallas por flexión,» [En línea]. Available: <https://www.coursehero.com/file/p33qdej/Fallas-por-flexi%C3%B3n-La-falla-puede-ocurrir-en-las-vigas-debido-a-una-de-varias/>. [Último acceso: 17 Julio 2019].
- [12] D. A. Hernández García y A. Tena Colunga, «"Estudio Paramétrico de Modelos representativos de estructuras propensas a desarrollar pisos suaves o débiles ante excitaciones sísmicas de suelo blando.",» *SciELO. Revista de Ingeniería Sísmica*, n° 95, pp. 53 - 80, 2016.

- [13] Á. E. Castañeda y Y. Mieles Bravo, «"Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entrepisos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016",» *Revista ingeniería de construcción*, vol. XXXII, n° 3, Diciembre 2017.
- [14] C. G. Jimenez Murillo, «Descripción de Fallas mas Comunes en Estructuras de Concreto Reforzado y de Mampostería,» Bibliotecas UDLAP, 13 de enero de 2004.
- [15] L. Lara M, H. Aguirre y M. Gallegos, «"Estructuras Aporticadas de Hormigón Armado que colapsaron en el Terremoto del 16 de abril de 2016 en Tabuga - Ecuador.",» *Scielo.Senecyt Politecnica*, vol. 42, n° 1, Octubre, 2018.
- [16] C. F., *Diseño Sismoresistente de Construcciones de Acero*, Quinta ed., Asociación Latinoamericana del acero, 2018.
- [17] E. Moreno, M. I. Prieto, M. N. Gonzalez y N. Llauradó, «"Propuesta de un nuevo indicador para definir la ductilidad aplicada a la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de hormigón",» *Polired_Departamento de Tecnología de la Edificación*, vol. I, n° 2, pp. 42 - 47, 2016.
- [18] S. Fuentes Sánchez, L. González Díaz, F. Calderín Mestre y Y. Sánchez Zamora, «"Consideraciones acerca del Diseño Sismoresistente de edificios de Acero en Cuba",» *Creative Commons Atribución - No comercial 4.0 Internacional - Redalyc.org*, vol. I, n° 4, 2018.
- [19] S. A y F. A, «"Enfoque para el análisis estructural y protección sísmica de edificaciones patrimoniales, a partir de la caracterización de sus particularidades técnicas.",» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 33, n° 3, Diciembre 2018.
- [20] J. Marcus y R. Thiers, «"Control del daño sísmico estructural en pórticos prefabricados de hormigón armado a travez de uniones híbridas auto-centrantes",» *Scielo. Obras y Proyectos 18*, pp. 46-55, 19 de octubre de 2015.
- [21] R. Aguiar, F. Del Castillo, J. Mizobe y P. Mendoza, «"Rehabilitación de edificio afectado por el terremoto del 16 de abril de 2016 de Ecuador en la ULEAM",» *Revista Gaceta Técnica.*, vol. XV, n° 1, pp. 9-22, 2016.

ANEXOS

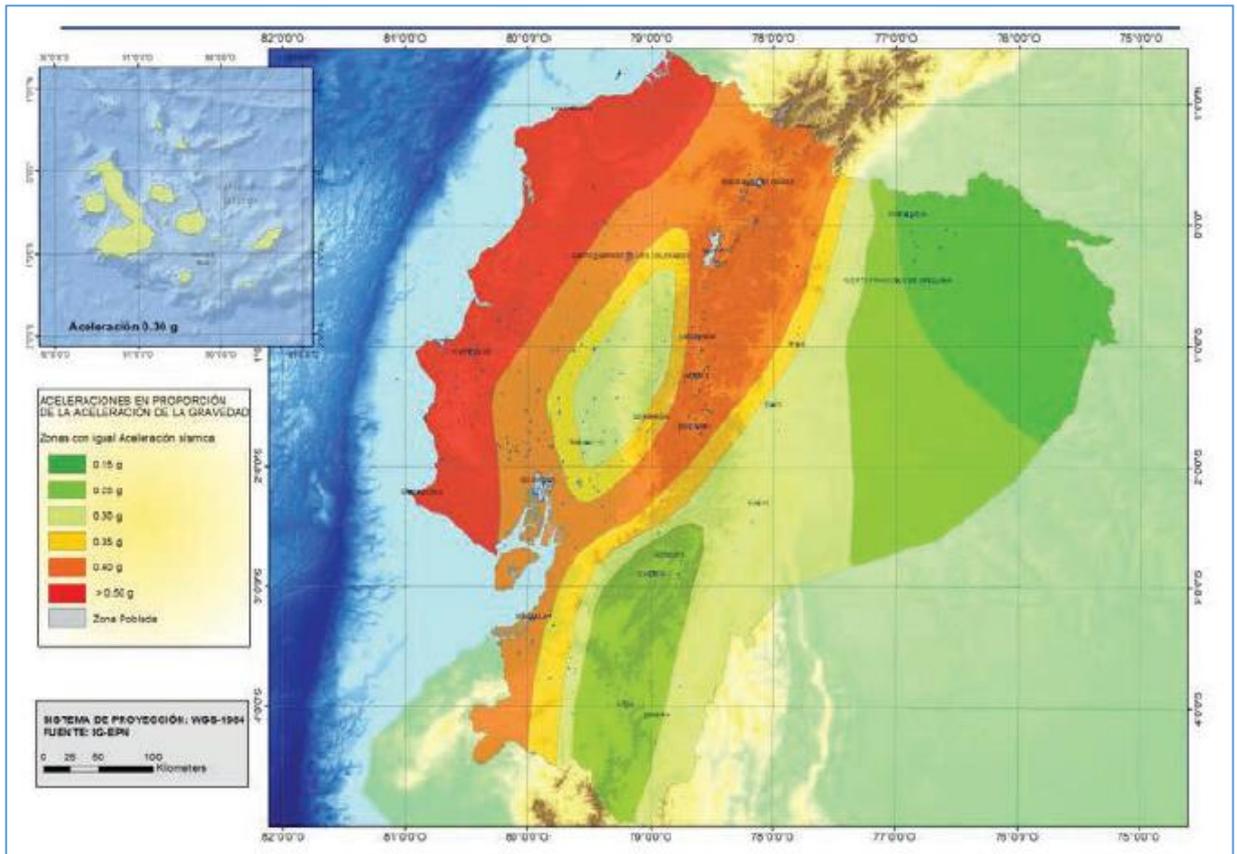


Ilustración 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño. Fuente: NEC-SE-DS - Peligro sísmico

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	≥ 0,50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Fuente: NEC-SE-DS- Peligro sísmico

Anexo 1: Accesibilidad para obtener una vivienda

ACCESIBILIDAD PARA OBTENER VIVIENDA			
TIPO	% de Financiamiento	Plazo (años)	Aplican
BIESS	100 hasta 100000	25	Afiliados en relación de dependencia, afiliados voluntarios y jubilados por vejez o invalidez
CORPORACIÓN FINANCIERA	5.5 anual 7.5 anual	5	A los que se unan al programa de gobierno. Para edificar <u>urbanizaciones</u>
BANCO DE PACÍFICO	4.5 7.75	20 a 25 20	Casas de 14000 a 27000 Casas de 27000 a 70000
MIDUVI	Valor	% valor de casa	Precio de vivienda
BONO INMOBILIARIO	6000 5000 4000	5	25000 30000 40000
BONO MANUELA ESPEJO	<i>Construcción vivienda nueva o adquisición de terreno</i> 14700	3 salarios básicos	30000
	<i>Construcción de vivienda en terreno propio</i> 7200	2 salarios básicos	30000
	<i>Mejoramiento de vivienda</i> 3200	1 salario básico	30000
BONO MEJORAMIENTO VIVIENDA	<i>Urbano: 2000</i> <i>Rural: 2000</i>	1 salario básico	30000 30000

Tabla 2. Accesibilidad que otorga MIDUVI para obtener una vivienda. Fuente: Pagina MIDUVI

Sistema Estructural	Materiales	Coefficiente R	Limitación en altura (# de pisos)
Muros Portantes	Mampostería No reforzada y no confinada (c)	1	1
	Mampostería enchapada con malla de acero (a)	1,5	2(b)
	Adobe y Tapial reforzado	1,5	2
	Bahareque	1,5	2
	Mampostería reforzada	3	2(b)
	Mampostería confinada	3	2(b)
	Muro de hormigón reforzado	3	2(b)
	Muros livianos de acero	1,5	2
	Muro de mortero armado u hormigón armado con alma de poliestireno(a)	1,5	2(b)
Pórticos resistentes a Momento	Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM reforzado con acero laminado en caliente	3	2(b)
	Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electro – soldada de alta resistencia	2,5	2
	Acero Doblado en frio	1,5	2(b)

Tabla 3. Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas. Fuente: NEC - SE – VIVIENDA

Anexo 2: Fallas Estructurales en los sistemas de Muros Estructurales Portantes

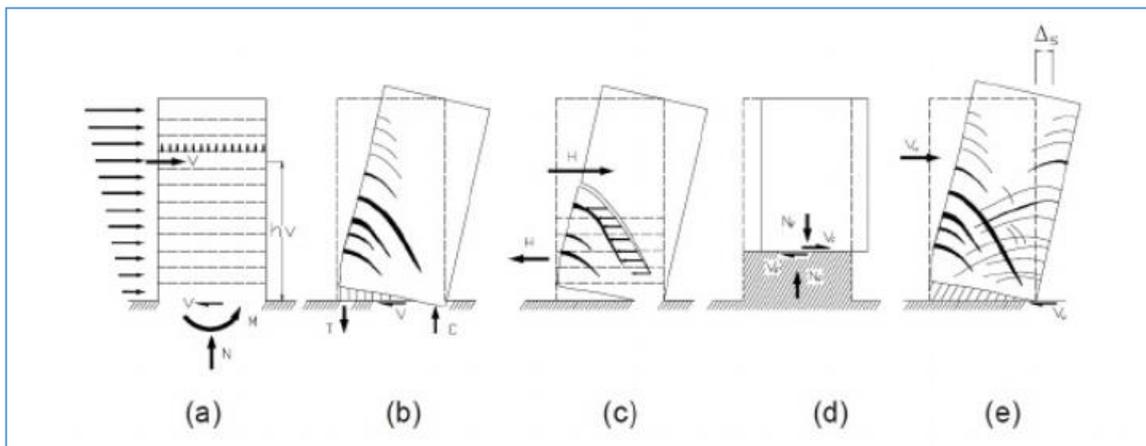


Ilustración 2. Fallas en muros estructurales portantes. Fuente: Bartolomé y Muñoz



Ilustración 3. Fallas por compresión y pandeo fuera del plano. Fuente: Hube y J.C de la Llera



Ilustración 4. Falla por deslizamiento en la base. Fuente: Dulce García



Ilustración 5. Defectos ocasionados por congestión de refuerzo, falla por cangrejeras en los talones de los muros.
Fuente: Bartolomé y Ríos.

Anexo 3: Fallas Estructurales en los Sistemas de Pórticos Resistentes a Momento

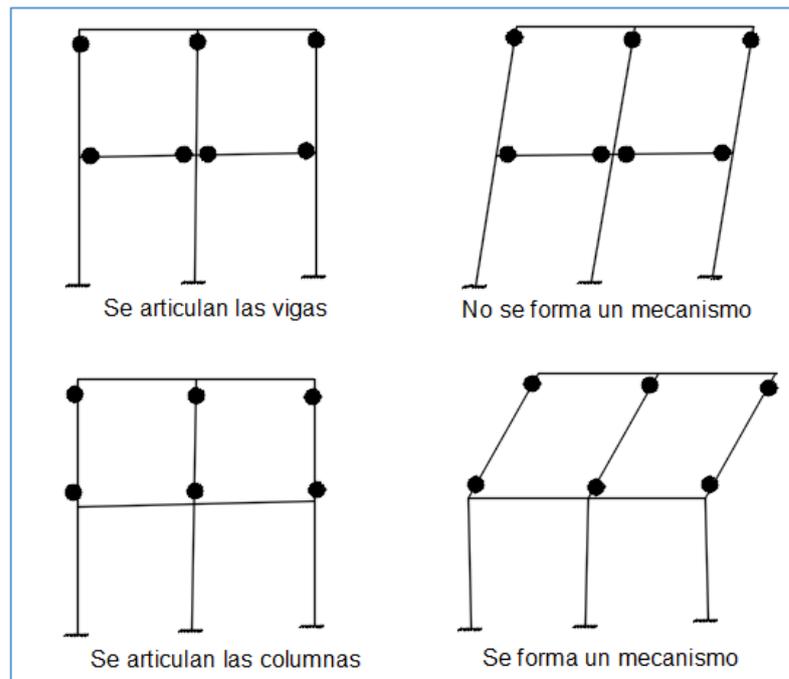


Ilustración 6. Pórticos resistentes a Momento. Fuente: Autor de este documento



Ilustración 7. Flexión en vigas. Fuente: Sambrano,2015



Ilustración 8. Falla de flexión en columnas. Fuente: Gálvez, 2017



Ilustración 9. Falla estructural en columnas de planta baja derivado de una configuración de piso suave. Fuente: Aguilar, 2010



Ilustración 10. Edificaciones de la ciudad de Portoviejo que muestran fallos por corte y por confinamiento en columnas. Fuente: Castañeda y Bravo

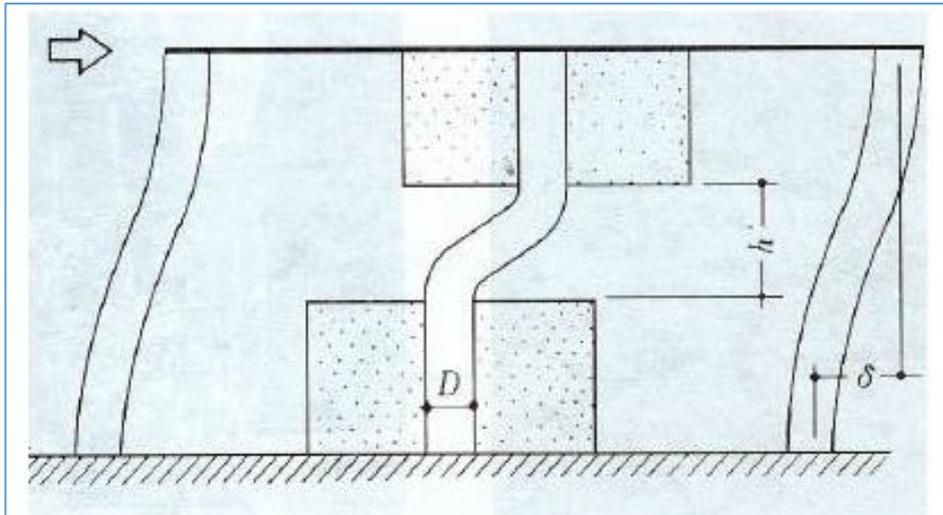


Ilustración 11. Deformación lateral de la columna corta. Fuente: Carlos Murillo

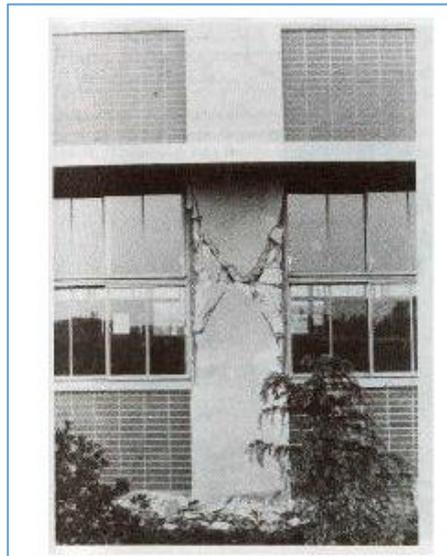


Ilustración 12. Falla por tensión diagonal en columna acortada. Fuente: Carlos Murillo

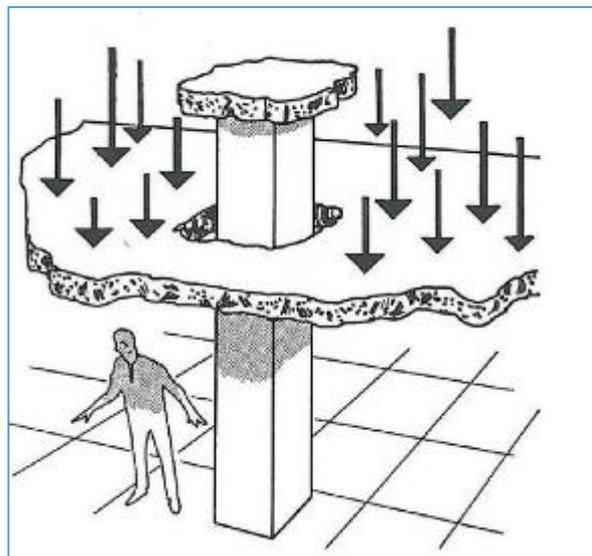


Ilustración 13. Falla por punzonamiento en la losa. Fuente: web



Ilustración 14. Falla en la conexión viga-columna. Fuente: Dulce García



Ilustración 15. Irregularidades de construcción fallas por flexo-compresión en columnas. Fuente: Castañeda y Mielles

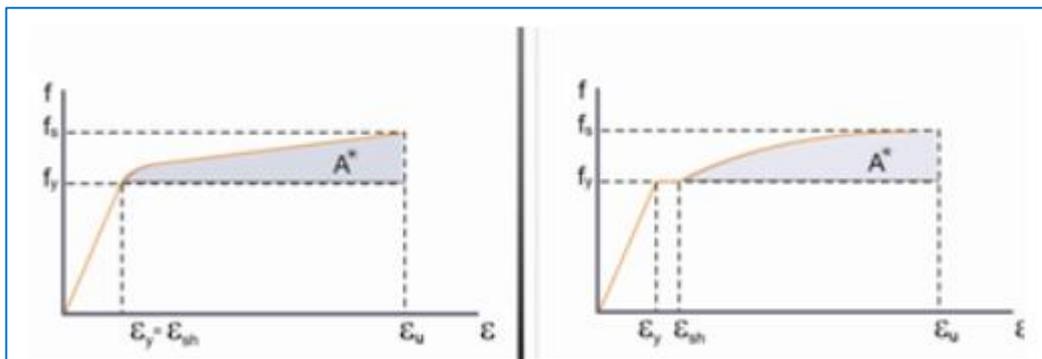


Ilustración 16. Curvas de tensión-deformación para un acero sin y con un punto de rendimiento definido. Fuente: Moreno, Prieto, Gonzales y Llaurado

Anexo 4: Proyectos Inmobiliarios en la ciudad de Machala con el Sistema Estructural de Ductilidad Limitada

PROYECTOS INMOBILIARIOS MACHALA			
No.	URBANIZACIÓN	SISTEMA ESTRUCTURAL DE DUCTILIDAD LIMITADA	
		PRM	MEP
1	San Patricio	X	
2	Celesia	X	
3	Santa Inés	X	
4	Ciudad Verde	X	
5	Ciudad Palmeras		X
6	Puertas del Sol	X	
7	Porto Verdella	X	
8	El Sol	X	
9	Palermo	X	
10	Orocity	X	
11	Casa Club Crucitas	X	
12	Alcántara	X	
13	Nuevos Horizontes		X
14	El Portal	X	
15	La Riviera	X	
16	Mediterráneo 1	X	
17	Villago	X	
18	Portal de Barú	X	
19	Portal del Río	X	
20	Castellano	X	
21	El Girasol	X	
Representa		90,47%	9,52%

Tabla 4. Muestra levantada en relación con proyectos inmobiliarios de la ciudad de Machala. Fuente: Autor de este documento.

Anexo 5: Fotografías de la vivienda tipo en la Urbanización Ciudad Palmeras



*Ilustración 17. Vivienda tipo de dos pisos con el sistemas de ductilidad limitada - caso muros estructurales portantes.
Fuente: Autor de este documento*

Anexo 6: Vivienda Tipo de la Urbanización Oro City



Ilustración 18. Vivienda tipo de dos pisos con el sistemas de ductilidad limitada - caso pórticos resistentes a momento.
Fuente: Autor de este documento

Anexo 7. Mapa de Intensidades del sismo en Pedernales

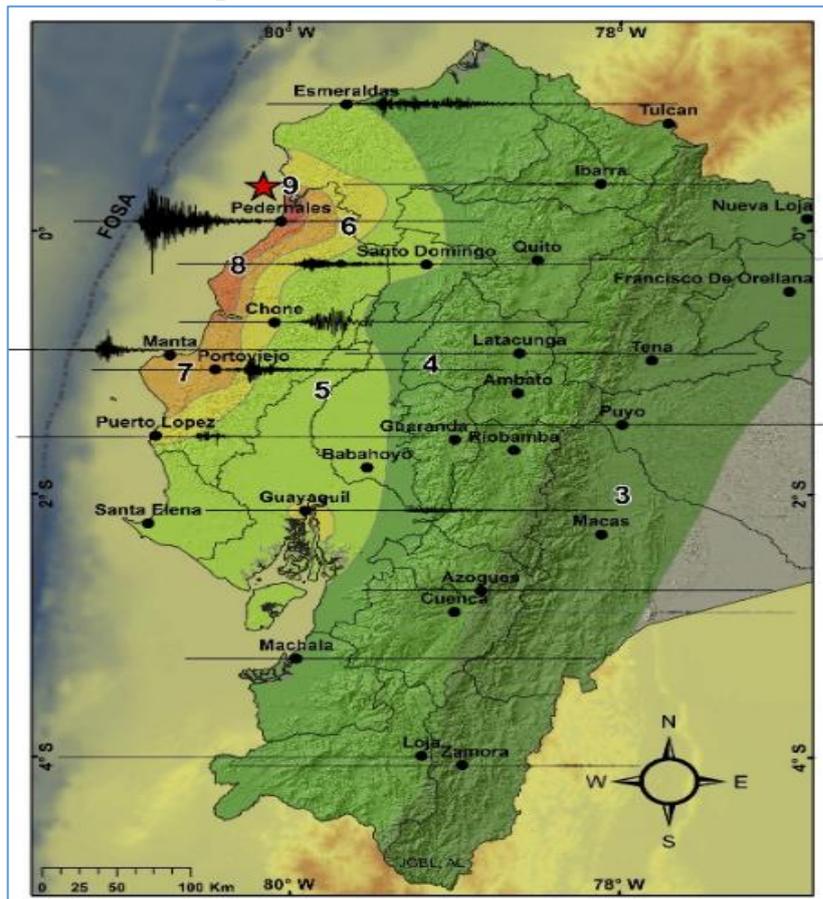


Ilustración 19. Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto de Pedernales (escala EMS-98), con las señales de los acelerógrafos en las distintas localidades evidenciando como se movió el suelo. Fuente: Instituto Geofísico

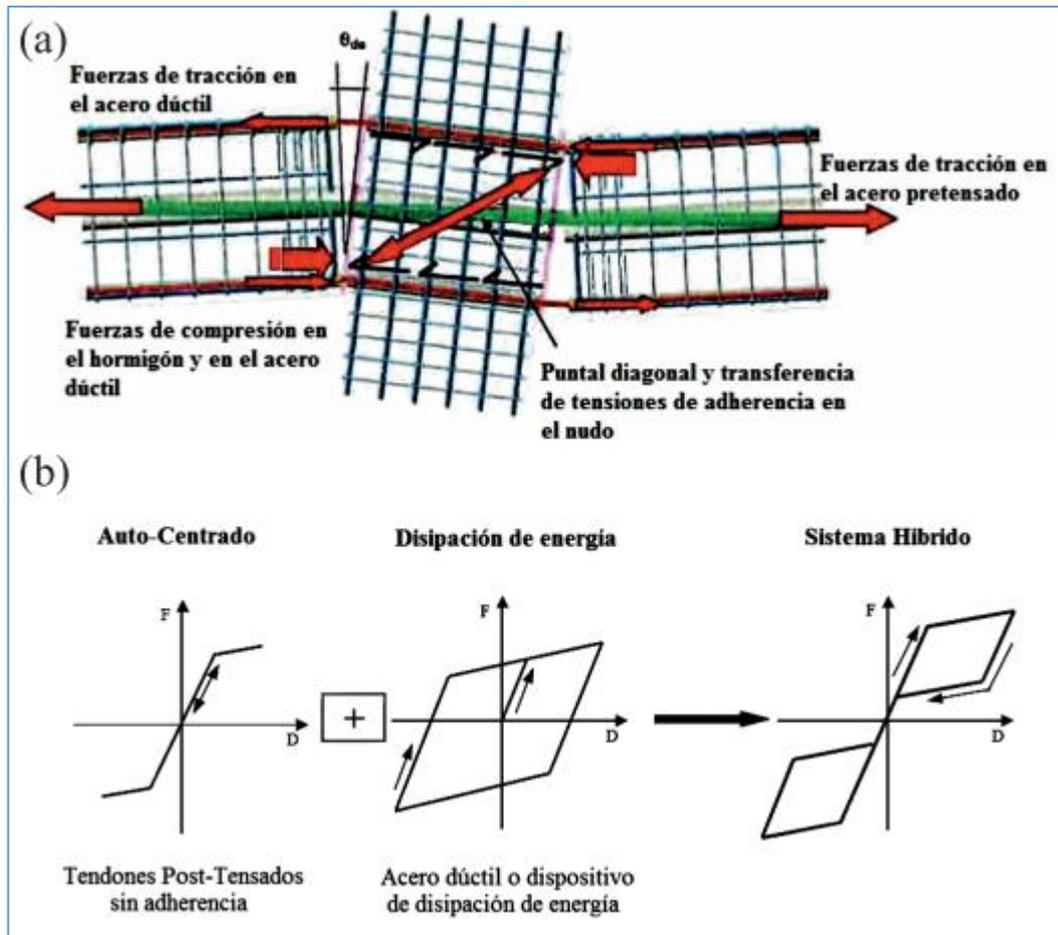


Ilustración 20. Esquemas de funcionamiento de uniones híbridas auto-centrantes. a) Esquema de fuerzas internas en unión viga-columna y b) Modelos constitutivos con ciclos histeréticos con forma de bandera. Fuente: Marcus J y Thiers R (2015)

Anexo 8: Resumen de Fallas y posibles rehabilitaciones de elementos estructurales

SISTEMA DE DUCTILIDAD LIMITADA	FALLAS COMUNES	CAUSA	EFEECTO	REHABILITACIÓN
SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES PORTANTES	Falla por flexión	Cuando la resistencia al corte predomina a la de flexión	Oscilación del muro en torno a sus extremos. Trituración en el concreto. Aplastamiento de concreto	Revestimientos de hormigón armado.
	Tracción diagonal	Excesiva fuerza cortante	Fisuras diagonales que aumentan por incremento de desplazamientos laterales	Utilización de malla y mortero para el reforzamiento de los muros portantes.
	Corte-deslizamiento	Resistencia al corte es menor a la de flexión.	Grietas longitudinales Grietas horizontales Aplastamiento del concreto y pandeo de barras.	Uso de encamisado de concreto reforzado con fibras de acero para la alta resistencia a desprendimientos, elevada flexión, resistencia contra la propagación de fisuras.
	Deslizamiento en la base	Corte Inelástico	Presencia de grietas en los dos extremos del muro.	
	Pandeo del refuerzo y Pandeo fuera del plano del muro	Ausencia de refuerzo transversal	Pandeo de refuerzo y pandeo fuera del plano	

	Falla frágil en muros de cortante con o sin aberturas	Se presentan en su unión con los sistemas de pisos, cortantes horizontal o vertical y vuelco	Grietas horizontales y desconchamiento de concreto en su unión.	Colocar una nueva pared tomando las mallas electro soldadas existentes para empalmar la nueva pared.
	Falla por deslizamiento en la base o flexión	Cadencia del acero Compresión del concreto	Colapso de la estructura El muro comienza a rotar como un elemento rígido alrededor de la articulación plástica	Técnicas de aislamiento en la base.
	Falla de cangrejeras y trituración de los talones en etapas tempranas	Mala compactación del concreto por congestión alta de refuerzo Ausencia de hermeticidad del encofrado	Reducción de resistencia y rigidez sísmica.	
SISTEMA DE PÓRTICOS RESISTENTES A MOMENTO	Fallas por flexión en vigas	Cedencia en el refuerzo de fibras extremas	Pandeo gradual que afectará este elemento sustentante. Grietas diagonales Rotura de estribos	Aplicando encamisado de concreto en vigas. Reforzamiento con láminas de polímeros con fibras de carbono mediante el método Ebro
	Fallas por inadecuada resistencia al cortante de los entrepisos	Escasez de elementos estructurales como columnas y muros	Resistencia insuficiente para resistir fuerzas cortantes.	Adecuación de los muros de corte y uso de fibras de carbono.

	Fallas por flexión y fuerza axial en las columnas	Formación de las rótulas plásticas en las columnas	Se desploman las columnas.	Se debe confinar el concreto en la zona de compresión. Los estribos deben estar espaciados estrechamente para retener el núcleo del concreto agrietado dentro del acero longitudinal. Encamisado de columnas
	Fallas por fuerza cortante en la base de columnas por el efecto restrictivo al desplazamiento causado por elementos no estructurales	Concentraciones de fuerza cortante a los extremos libres de la columna Carencia de ductilidad en la columna acortada	Provoca falla frágil por cortante	Dejar separaciones suficientes entre las columnas y los muros de relleno para que logren deformarse libremente antes solicitaciones sísmicas. Reforzamiento con polímeros reforzados con fibras (FRP)
	Falla por punzonamiento de la losa	Se deben por esfuerzos cortantes elevados	Colapso total de la estructuras quedando solo en pie las columnas.	Aumentar el perímetro de contacto entre la losa y la columna, mediante el uso de capiteles de hormigón. Con armaduras en la cara superior e inferior de la losa para lograr soportar las tensiones.
	Fallas por efecto piso blando	Diferencia de rigidez entre ambas plantas Deficiencia en la densidad de muros Alta flexibilidad.	Formación de piso suave	Uso de rigidizantes de acero.

	Fallas por deficiente rigidez en conexión viga columna	Desprendimiento de hormigón en las caras laterales del nudo y doblado de las varillas provenientes de la columna	Falla el nudo Se desploma la viga	Utilizar tendones post – tensados sin adherencia y barras longitudinales de acero dúctil no pretensadas.
	Fallas por falta de anclaje en la cimentación	Quando las cimentaciones están sin anclaje al suelo. Penetración	No cumplen con su función estabilizadora frente a cargas producidas por sismos, por razones de que estas cimentaciones se deslizan, se desprende, o se fraccionan en la base de las columnas por falta de anclaje produciendo colapso total de la estructura. Hundimiento	Refuerzo mediante armaduras, para recalzar las cimentaciones superficiales, dicha armadura debe estar puesta a tensión e inyectada con resinas.
	Fallas por fragilidad en mampostería	Falta de ductilidad del material. Elevada fragilidad Pésimo proceso constructivo.	Explosión alrededor de su centro.	Inyecciones epóxicas. Uso de paredes flexibles de Gypsum que deben ser correctamente instaladas para obtener una mejor respuesta sísmica, ya que la estructura se rigidiza porque su masa es menor por ser livianas si se tienen paredes

				de más de 3 metros se deben hacer juntas. [21]
	Falla por flexo – compresión en columnas	Excesiva fuerza lateral	Grietas diagonales Grietas verticales Desprendimiento del recubrimiento. Aplastamiento del concreto y pandeo de barras.	Reforzamiento con la aplicación de polímeros reforzados con fibras RFP
SISTEMA CON ACERO ESTRUCTURAL	Fallas por fractura en riostras y uniones soldadas	Deformación en la dirección principal del laminado	Desgarro laminar	Uniones adicionadas con fibras
	Fallas en la zona del panel (parte interna de la junta viga-columna)	Inadecuada resistencia al corte debido a una acción sísmica	Desgarros de la conexión	Uso de conexiones pos – tensadas con elementos de fricción, con el uso de torones post – tensados de alta resistencia ubicados paralelamente a la viga

Tabla 5. Resumen de fallas de los sistemas de ductilidad limitada y rehabilitaciones. Fuente: Autor de este proyecto

