

Disertación

Maestría en Ingeniería Civil y Construcciones Civiles

**Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de
Edificios de Hormigón Armado: Aplicación al
Área Urbana del Centro Histórico de la
Ciudad de Portoviejo.**

Cristóbal Fabián Véliz Indacochea

Leiria, 11 de Septiembre de 2018



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil y Construcciones Civiles

**Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de
Edificios de Hormigón Armado: Aplicación al
Área Urbana del Centro Histórico de la
Ciudad de Portoviejo.**

Cristóbal Fabián Véliz Indacochea

Esta disertación de Maestría está realizada bajo la orientación del Doctor Hugo Rodríguez, Profesor de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y la co-orientación del Doctor Tiago Ferreira; Profesor de la Universidad de Minho y del Master Ingeniero Yordy Mieles Bravo, Profesor de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí.

Leiria, 11 de Septiembre de 2018

Dedicatoria

*A mi familia por todo su apoyo, especialmente a mis padres
por su amor y comprensión.*

Agradecimientos

Mi sincera gratitud a la República del Ecuador y a la Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Investigación (SENESCYT), por promover el Programa de Becas Globo Común, Becas Cofinanciadas Senescyt – Instituto Politécnico de Leiria, y por la oportunidad ofrecida de estudiar y aprender la cultura de un país tan hospitalario como Portugal y de esta forma contribuir con el desarrollo de mi ciudad y país.

Agradezco de manera particular al Profesor Hugo Rodirgues por compartir sus conocimientos y la confianza brindada para la realización de este trabajo; también quiero agradecer de manera muy especial a los profesores Tiago Ferreira y Yordy Miele, por sus consejos y apoyo constante.

Mi profunda gratitud a mis amigos de la Dirección de Información Avalúos, Catastro y Permisos Municipales del GAD de Portoviejo, por la colaboración prestada

Para concluir quiero dar gracias a mis amigos por su apoyo y sugerencias; también quiero agradecer a mis profesores del Instituto Politécnico de Leiria por las enseñanzas y aportes para mi formación profesional.

Resumen

La Republica del Ecuador se ubica en una de las zonas sísmicas con mayor actividad del planeta; la ciudad de Portoviejo, ubicada en la región costera del país se encuentra entre las ciudades con mayor riesgo sísmico, prueba de ello es que el 16 de abril del 2016, fue fuertemente sacudida por un terremoto con una magnitud de 7.8 Mw y una intensidad sísmica I (EMS-98)=VIII, provocando una gran destrucción en la ciudad sobre todo en los edificios de su zona céntrica, histórica y comercial.

Principalmente por estos motivos, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica es de mucha importancia para la reducción de la consecuencia que implica la ocurrencia de un sismo de grandes proporciones. El análisis de la vulnerabilidad sísmica es un campo poco explorado por las autoridades y profesionales en el país, en su mayoría debido a la falta de interés sobre todo de conservación del patrimonio histórico construido.

En el presente trabajo se realizará la implementación de la metodología de evaluación sísmica basada en modelos simplificados para estructuras de hormigón armado muy versátil, ya que se refiere a la valoración de un conjunto de parámetros que requieren de información de mediano detalle, apoyada por un registro fotográfico y una inspección de campo, permitiendo obtener resultados veraces, rápidos y a gran escala del estado de vulnerabilidad individual y colectivo de los edificios sobre todo en grandes núcleos urbanos consolidados.

Mediante esta evaluación es posible elaborar mapas de situación de vulnerabilidad o escenarios de daño esperados para determinadas intensidades de sismo, implementado herramientas de Sistema de Información Geográfica GIS y así poder tomar medidas de prevención y soluciones para disminuir tanto la severidad de daños como la pérdida de vidas humanas debido al colapso de estructuras vulnerables.

También se analizará la ejecución de una técnica de reforzamiento, con el fin de mejorar los resultados obtenidos inicialmente haciéndose también un balance económico para estudiar la viabilidad económica del mismo.

Palabras claves:

Portoviejo, Vulnerabilidad sísmica, Índice de vulnerabilidad, Grado de daño, Intensidad sísmica, Refuerzo sísmico.

Abstract

The Republic of Ecuador is located in one of the most active seismic zones of the planet; the city of Portoviejo located in the coastal region of the country, is among the cities with the highest seismic risk, proof of this is that on April 16, 2016, it was strongly shaken by an earthquake with a magnitude of 7.8 Mw and a seismic intensity I (EMS- 98) = VIII, causing great destruction in the city especially in the buildings of its central, historical and commercial area.

For these reasons, the evaluation of the seismic vulnerability is very important for the reduction of the consequence that implies the occurrence of an earthquake of great proportions. The analysis of the seismic vulnerability is a field poorly explored by the authorities and professionals in the country, mostly due to the lack of interest in conservation of the historical heritage.

This paper presents the implementation of a versatile seismic evaluation methodology based on simplified models for reinforced concrete structures, which refers to the assessment of a set of parameters that require information in medium detail, supported by a photographic record and an inspection field, which allows obtaining truthful, fast and large-scale results of the individual and collective vulnerability of buildings, especially in large consolidated urban centers.

Through this evaluation it is possible to develop vulnerability situation maps or expected damage scenarios for certain earthquake intensities implemented GIS geographic information system tools and thus be able to take preventive measures and solutions to reduce both the severity of damage and loss of life due to the collapse of vulnerable structures

It will also analyze the execution of a reinforcement technique in order to improve the results obtained initially, also making an economic balance to study the economic viability of the same.

Keywords:

Portoviejo, Seismic vulnerability, Vulnerability index, Degree of damage, Seismic intensity, Seismic reinforcement.

Lista de figuras

Figura 2.1: Portoviejo 1910. Fuente: (Molina Cedeño, 2009).....	31
Figura 2.2: Área urbana de Portoviejo 2017.....	32
Figura 2.3: Edificio de hormigón armado en Portoviejo. Fuente: Google Maps.....	33
Figura 2.4: Edificio de acero estructural en Portoviejo. Fuente: Google Maps.....	34
Figura 2.5: Edificio de estructura de madera en Portoviejo. Fuente: Google Maps....	34
Figura 2.6: Edificación de estructura mixta hormigón armado- acero en Portoviejo. Fuente: Google Maps	35
Figura 2.7: Sismos interplaca tipo thrust que han afectado al Ecuador. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016).....	39
Figura 2.8: Factores de que depende el riesgo sísmico. Adaptada de: (Vicente, 2008)	40
Figura 2.9: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. Fuente: (NEC, 2015)	41
Figura 2.10: Curvas de peligro sísmico, Portoviejo. Fuente: (NEC, 2015).....	42
Figura 2.11: Mapa de microzonas sísmicas de Portoviejo. Fuente: (EPN, 2017)	43
Figura 2.12: Mapa de intensidades sísmicas del sismo del 16 de abril de 2016.Fuente: (IG-EPN, 2016)	45
Figura 2.13: Acelerogramas obtenidos del terremoto del 16 de abril.del 2016. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)	46
Figura 2.14: Comparativa entre espectro generado por el sismo en sus componentes principales y el espectro de respuesta dado por la NEC-15 (Suelo D) Estación: APO1.Fuente: (IG-EPN, 2016)	47
Figura 2.15: Daños por efecto de (columna corta) registrado en varias edificaciones de Portoviejo. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016).....	50
Figura 2.16: Daño en columnas de nivel 5 del edificio Mutualista Pichincha. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)	50
Figura 2.17: Daños observados en la Clínica San Antonio, mecanismo viga fuerte-columna débil. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016).....	51
Figura 2.18: Falla por falta de confinamiento en columnas; a) estribos muy separados; b) estribos de 6 mm; c) no se aprecia el estribo. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)	51
Figura 2.19: Edificio del IEES, fue cambiado su uso constructivo y se adicionaron pisos posteriormente. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)	52
Figura 2.20: Columna con traslape y detallado deficiente. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)	52
Figura 2.21: Falla por piso blando (soft storey). Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016).....	53

Figura 2.22: Fallas por golpeteo entre edificaciones por falta de separación.....	54
Figura 2.23: Fallas estructurales por licuefacción de suelos. Fuente: (Aguiar & Mielles, 2016)	54
Figura 2.24: Distribución espacial del total de edificaciones evaluadas (con o sin daño) en el GAD de Portoviejo. Se han excluido las edificaciones de las que se desconoce su estado. Fuente: (EPN, 2017).....	60
Figura 2.25: Número total de edificaciones en función del grado de daño y su estado. Fuente: (EPN, 2017).....	60
Figura 2.26: Número total de edificaciones en función del grado de daño y número de pisos. Fuente: (EPN, 2017).....	61
Figura 2.27: Número total de edificaciones en función del grado de daño y periodo de construcción. Fuente: (EPN, 2017).....	62
Figura 2.28: Número de edificaciones afectadas en función del grado de daño y material de construcción. Fuente: (EPN, 2017).....	62
Figura 3.1: Definición de las clases de vulnerabilidad según el EMS-98 adaptado de (Grünthal, 1998). Fuente: (Vicente, 2008)	71
Figura 3.2: La posición de los edificios en la cuadra (BE - Banda Extrema, BM - Banda Media, E - Encerrado, G - Gaveto, A - Aislado).....	79
Figura 3.3: Interacción entre edificios adyacentes con la respectiva clase de vulnerabilidad.....	80
Figura 3.4: Explicación de los límites del desnivel de los pisos de los edificios adyacentes. Fuente: (Yakut, Erberik, Akkar, & Sucuoglu, 2012).....	80
Figura 3.5: Edificio parcialmente abandonado en la ciudad de Portoviejo.	84
Figura 3.6: Edificio en posición Gaveto, sin columna en la esquina.....	87
Figura 3.7: Estructura con ejes verticales discontinuos, según (NEC, 2015).....	88
Figura 3.8: Edificio con mezzanine en Portoviejo.....	90
Figura 3.9: Edificio con locales comerciales en planta baja en Portoviejo, Fuente: (Google maps)	91
Figura 3.10: Edificio con presencia del mecanismo de piso blando en la Ciudad de Portoviejo.	92
Figura 3.11: Edificación con mecanismo pilar corto en la base.	93
Figura 4.1: Barrio Centro de Portoviejo.	100
Figura 4.2: Render de la regeneración urbana del centro historio de Portoviejo, intersección de las calles Colon y Ricaurte; Fuente: (GAD de Portoviejo, 2017)	100
Figura 4.3: Delimitación de la zona de estudio, centro histórico de Portoviejo.	101

Figura 4.4: Evaluación de daños por efectos del sismo del 16 de abril del 2016, en la zona de estudio.	102
Figura 4.5: Selección de los edificios de Hormigón Armado para la aplicación de la metodóloga adoptada.	103
Figura 4.6: Clasificación del estado de conservación de las edificaciones, según datos catastrales.	104
Figura 4.7: Clasificación de los edificios según el año de construcción, en función de información catastral.	105
Figura 4.8: Clasificación de los edificios según su número de pisos, basado en datos catastrales.	106
Figura 5.1: Microzonas sísmicas que influyen el área de estudio en el centro histórico de Portoviejo.	109
Figura 5.2: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P1.	110
Figura 5.3: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P2.	111
Figura 5.4: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P3.	112
Figura 5.5: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P4.	113
Figura 5.6: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P5.	114
Figura 5.7: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P6.	115
Figura 5.8: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P7.	116
Figura 5.9: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P8.	117
Figura 5.10: Histograma representativo del Índice de vulnerabilidad I_v , de los 110 edificios estudiados.	118
Figura 5.11: Distribución espacial del índice de vulnerabilidad I_v , de los edificios de la zona en estudio.	119
Figura 5.12: Influencia de cada parámetro en la obtención del índice de vulnerabilidad I_v	120
Figura 5.13: Distribución del grado de confianza de los parámetros, clasificación EMBA.	121
Figura 5.14: Curvas de vulnerabilidad.	122

Figura 5.15: Representación del grado de daño medio μ_D de los edificios, en función de varias intensidades sísmicas I.....	123
Figura 5.16: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VII.....	125
Figura 5.17: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VIII.	125
Figura 5.18: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de IX.....	126
Figura 5.19: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de X.	126
Figura 5.20: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de XI.....	127
Figura 6.1: Edificio reforzado con Steel Bracing SB. Fuente: (Tohoku Japan Earthquake & Tsunami Clearinghouse, 2011).....	130
Figura 6.2: Reforzamiento de planta baja con SB para controlar “soft storey”. Fuente: (SteelConstruction.info, 2018)	131
Figura 6.3: Redistribución de la clase de vulnerabilidad para el parámetro P6 (post-refuerzo).	131
Figura 6.4: Comparación de la distribución de valores de los índices de vulnerabilidad (pre y post -refuerzo).	132
Figura 6.5: Comparación de la distribución espacial cartográfica de los índices de vulnerabilidad; a). -pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.....	133
Figura 6.6: Comparación de curvas de vulnerabilidad de pre y post refuerzo.	134
Figura 6.7: Distribución de los grados de daños para las distintas intensidades sísmicas; PRE= pre-refuerzo, POST= post-refuerzo.	135
Figura 6.8: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VII; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.....	136
Figura 6.9: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VIII; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.....	136
Figura 6.10: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de IX; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.....	136
Figura 6.11: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de X; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.....	137
Figura 6.12: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de XI; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.....	137
Figura 6.13: a).- Curva de fragilidad pre-refuerzo. b).- Curva de fragilidad post-refuerzo.	138
Figura 6.14: Relación entre los índices de vulnerabilidad (pre y post) refuerzo y el costo relativo.	140
Figura 6.15: Estimativa de costos de reparación.	141

Figura 6.16: Balance económico de la implementación de una solución de reforzamiento sísmico. 142

Lista de tablas

Tabla 2.1: Cronología de los sismos más potentes que han afectado a Ecuador. Fuente: Adaptación de (El Universo, 2016)	38
Tabla 2.2: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Fuente: (NEC, 2015)	41
Tabla 2.3: Elementos Estructurales a evaluar según Sistema-Elemento. Fuente: (Lopez Muñoz, 2017)	48
Tabla 2.4: Materiales utilizados en la construcción de las estructuras en Portoviejo: (Lopez Muñoz, 2017)	55
Tabla 2.5: Ubicación de las estructuras evaluadas dentro de la manzana. (Lopez Muñoz, 2017)	55
Tabla 2.6: Estructuración de las construcciones evaluadas en Portoviejo. (Lopez Muñoz, 2017)	56
Tabla 2.7: Edificios con mezzanine evaluados en Portoviejo. (Lopez Muñoz, 2017)	57
Tabla 2.8: Nivel de Daño presentado en sistema estructural (losa- columna) (Lopez Muñoz, 2017)	58
Tabla 2.9: Nivel de Daño presentado en sistema estructural (viga- columna) (Lopez Muñoz, 2017)	58
Tabla 2.10: Nivel de daño en estructuras con mezzanine evaluadas. (Lopez Muñoz, 2017)	59
Tabla 2.11: Categorías de daños.....	59
Tabla 3.1: Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicadas a diferentes escalas. (Silva, 2015)	68
Tabla 3.2: Matriz de probabilidad de daño (Whitman, Reed, & Hong, 1973).....	69
Tabla 3.3: Clases de vulnerabilidad de las construcciones según la escala MSK (Medvedev & Sponheuer, 1969)	69
Tabla 3.4: Clasificación de daños de los edificios (Medvedev & Sponheuer, 1969).	70
Tabla 3.5: Cantidad de daño que los edificios están sujetos a la acción sísmica (Medvedev & Sponheuer, 1969)	70
Tabla 3.6: Relación entre el tipo de estructuras con la escala de intensidad para obtener una posible clasificación del daño de los edificios según (Medvedev & Sponheuer, 1969)	70
Tabla 3.7: Índice de vulnerabilidad (I_v *), parámetros que lo definen y respectivos pesos asociados (Silva, 2015).....	76
Tabla 3.8: Clasificación de los perfiles de suelo, según (NEC, 2015)	77

Tabla 3.9: Definición de la clase de vulnerabilidad para el parámetro P1	78
Tabla 3.10: Definición de la clase de vulnerabilidad del parámetro P2.....	81
Tabla 3.11: Definición de las clases de vulnerabilidad par el parámetro P3.....	82
Tabla 3.12: Tipologías de irregularidades en planta según (NEC, 2015)	85
Tabla 3.13: Definición de las clases de vulnerabilidad par el parámetro P4.....	87
Tabla 3.14: Tipologías de irregularidades en elevación, según (NEC, 2015).....	88
Tabla 3.15: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P5	90
Tabla 3.16: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P6.....	92
Tabla 3.17: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P7	93
Tabla 3.18: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P8.	94
Tabla 3.19: Definición general de los cuatro grados de confianza.....	95
Tabla 3.20: Clasificación del grado de daño en edificios de hormigón armado. Fuente: (Grünthal, 1998)	96

Lista de siglas

M_w – Magnitud de Momento

MIDUVI - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

GIS - Geographic Information System

NEC - Norma Ecuatoriana de la Construcción

ACI - American Concrete Institute

EC8 - Eurocodigo 8

GAD - Gobierno Autónomo Descentralizado

I - Intensidad Sísmica

I_v - Índice de Vulnerabilidad Normalizado

I_{v*} - Índice de Vulnerabilidad

P_i - Peso de cada parámetro

σ - Desviación estándar del índice de vulnerabilidad

μ_D - Grado de dano médio

MSK - Medvedev-Sponheuer-Karnik Macros Seismic Intensity Scale

FEMA - Federal Management Agency

MPD - Matriz de Probabilidad de Daño

ATC - Applied Technology Council

UBC - Uniform Building Code

EMS-98 - European Macroseismic Intensity Scale

SB - Steel Bracing

Índice

1. Introducción.....	24
1.1. Encuadramiento del tema.....	24
1.2. Objetivos.....	26
1.3. Organización de la disertación.....	27
2. Caracterización de la zona en estudio y análisis de los principales efectos del sismo del 16 de abril de 2016 en Portoviejo.....	29
2.1 Origen y desenvolvimiento de la ciudad de Portoviejo	29
2.1.1. Fundación.....	29
2.1.2. Transferencias de lugar.....	30
2.1.3. Desenvolvimiento Urbano	30
2.1.4. Caracterización de las edificaciones	32
2.1.5. Cuadro jurídico	35
2.2. Sismicidad en el Ecuador.....	36
2.2.1. Sismicidad histórica y contemporánea	37
2.2.2. Riesgo Sísmico	39
2.2.3. Peligro Sísmico	40
2.3. Sismicidad en Portoviejo	41
2.3.1. Microzonificación sísmica de Portoviejo	42
2.4. Sismo del 16 de abril de 2016.....	44
2.4.1. Intensidad sísmica.....	44
2.4.2. Aceleraciones.....	45
2.4.3. Efectos del sismo y caracterización de los principales daños en las estructuras	47
2.5. Comentarios finales	63
3. Vulnerabilidad sísmica de edificios de Hormigón Armado.....	65
3.1. Vulnerabilidad sísmica.....	65
3.2. Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica.....	67
3.2.1. Metodología basada en la vulnerabilidad observada.	68
3.2.2. Metodología de análisis basadas en modelos simplificados.....	71
3.2.3. Metodología de analisis detallada.....	74
3.3. Metodología de evaluación sísmica adoptada.....	74

3.3.1.	Metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica basada en modelos simplificados	75
3.3.2.	Descripción y Adaptación de los parámetros	76
3.3.3.	Grado de confianza - Clasificación EMBA	94
3.3.4.	Clasificación de los daños de edificios de hormigón armado.....	95
3.4.	Comentarios finales	97
4.	Caso de estudio: Aplicación al centro histórico de la Ciudad de Portoviejo ...	98
4.1.	Centro Histórico de Portoviejo	98
4.2.	Delimitación del área de estudio.....	100
4.2.1.	Nivel de afectación post sismo	101
4.3.	Selección de los edificios a evaluar	102
4.3.1.	Estado de los edificios	103
4.3.2.	Edad de los edificios.....	104
4.3.3.	Altura de los edificios	105
4.4.	Comentarios Finales.....	106
5.	Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado en la zona de estudio	108
5.1.	Clasificación de los parámetros	108
5.1.1.	Parámetro P1: Implantación del edificio	108
5.1.2.	Parámetro P2: Posición del edificio en el contexto urbano	110
5.1.3.	Parámetro P3: Edad del edificio	111
5.1.4.	Parámetro P4: Irregularidad en planta	112
5.1.5.	Parámetro P5: Irregularidad en altura	113
5.1.6.	Parámetro P6: Existencia de mecanismo “ <i>soft-storey</i> ”	114
5.1.7.	Presencia de pilares cortos	115
5.1.8.	Otros elementos.	116
5.2.	Índices de vulnerabilidad I_v	117
5.2.1.	Influencia de los parámetros en el cálculo del índice de vulnerabilidad I_v	119
5.3.	Grado de confianza, Clasificación EMBA.....	120
5.4.	Estimativa de daño.....	122
5.5.	Generación de escenarios de daños, implementando una herramienta GIS	124

5.6. Comentarios finales.	127
6. Análisis de la intervención de los edificios mediante la ejecución de un reforzamiento sísmico.....	130
6.1. Revalorización del índice de vulnerabilidad I_v	131
6.2. Estimativa de daños post-refuerzo del parámetro P6.....	133
6.3. Generación de escenarios de daños post-refuerzo del parámetro P6, utilizando una herramienta GIS.	135
6.4. Construcción de curvas de fragilidad.....	137
6.5. Estimación de costos de reforzamiento y reparación de daños.....	139
6.6. Comentarios Finales.....	142
7. Conclusiones y propuestas de trabajos futuros.	144
7.1. Principales conclusiones	145
7.2. Propuestas de trabajos futuros	146

1.Introducción

1.1.Encuadramiento del tema

La República del Ecuador, se encuentra influenciada por una de las zonas de subducción más importantes del planeta denominada el cinturón de fuego del Pacífico, por tales motivos es indiscutible sobre todo que la costa ecuatoriana sea una zona de gran actividad sísmica, así mismo la ciudad costera de Portoviejo, se implanta a 30 km del Océano Pacífico, por su condición de “Ciudad Capital” de la Provincia de Manabí, es históricamente una ciudad en crecimiento, lo que ha demandado la edificación de construcciones que permitan el adecuado funcionamiento todas las instituciones, comercios así como de proyectos habitacionales. La construcción de estructuras de hormigón armado comenzó en la ciudad en la década de los 60, consolidado a la zona centro, en un polo de desarrollo urbanístico, en su mayoría estos edificios fueron diseñados y construidos con normas, extranjeras o sin la aplicación de ninguna normativa de diseño estructural – sismo resistente, así como con la falta de fiscalización en la utilización de materiales de construcción de óptima calidad.

El sismo registrado el 16 de abril del 2016 a las 18h58 (hora local), de magnitud 7.8 Mw (magnitud de momento), cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales (Manabí) (IG-EPN, 2016), a 150 km de Portoviejo, ocasionó la muerte de 657 personas (Plan Reconstruyo Ecuador, 2016) y afectó significativamente toda la infraestructura de la provincia, dejando así multimillonarias pérdidas económicas; una de las ciudades más afectadas fue Portoviejo donde el área de mayor destrucción fue la zona centro de la ciudad, considerada como histórica y la más importante, donde se concentraba una intensa actividad económica, comercial y burocrática de la urbe, en la cual según fuentes oficiales del MIDUVI, se hicieron 3667 inspecciones a edificaciones de las cuales 1394 son habitables, 1340 son recuperables y 933 edificaciones son irreparables. (Plan Reconstruyo Ecuador, 2016)

En términos de riesgo sísmico, los centros poblados son los que mayor vulnerabilidad presentan ante un movimiento sísmico, donde en gran parte de los daños estructurales y el

colapso de los edificios se da debido a un comportamiento sísmico inadecuado de dichas construcciones.

Conceptualmente, el riesgo sísmico está en función de tres componentes probabilísticos: la peligrosidad sísmica, la exposición y la vulnerabilidad. En el caso de las estructuras de ingeniería civil, este último componente reviste particular importancia, en la medida en que una eventual intervención en el nivel del refuerzo estructural tiene una influencia directa en su vulnerabilidad intrínseca y, consecuentemente, en su riesgo sísmico asociado. (Silva, 2015)

La vulnerabilidad sísmica de una ciudad se refiere al grado de debilidad o incapacidad de dar respuesta adecuada y de resiliencia que pudieran presentar el conjunto de componentes de dicha ciudad al exponerse a los movimientos sísmicos que ocurran durante su vida. Dentro de la ingeniería sísmica, podemos encontrar numerosas y variadas metodologías y técnicas propuestas por diferentes autores para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, basadas principalmente en el estudio del desempeño sísmico de las edificaciones según su estructura y construcción (Martinez Cuevas, 2014)

Las metodologías empíricas, se basan en la observación de daños post-sismo asociados a diferentes tipologías estructurales e intensidades sísmicas, y las metodologías analíticas, implican a su vez la modelación y computación de la respuesta de una estructura representativa de una determinada tipología frente a una determinada intensidad de la acción sísmica. (Silva, 2015)

Ante últimos acontecimientos sísmicos ocurridos en el país sobre todo en la provincia de Manabí, es de vital importancia que se ejecuten proyectos como la aplicación de las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, sobre todo de los centros urbanos poblados más aun cuando las ciudades están implantadas en zonas de alta sismicidad, con el objetivo poder evaluar técnicamente las edificaciones y su comportamiento ante la ocurrencia de un sismo y así poder identificar las vulnerabilidad sísmica y el daño que se puede presentar, generando simulaciones de posibles escenarios de daños , además de analizar intervenciones a manera de refuerzo sísmico que se podrían hacer en las construcciones para mejorar su seguridad y disminuir su vulnerabilidad.

1.2. Objetivos

Con el desarrollo de esta disertación se pretende efectuar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado, aplicándola al área urbana del centro histórico de la ciudad de Portoviejo, mediante la implementación de la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica basada en modelos simplificados, desarrollada por (Silva, 2015).

Siendo los objetivos a conseguir:

1. Elaboración del estado de arte sobre la reseña histórica de movimientos sísmicos en Ecuador, analizando en comportamiento de los edificios durante el sismo del 16 de abril del 2016;
2. Comprensión y adaptación de los parámetros de evaluación con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 15 de la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica a aplicar;
3. Obtención de información (trabajo de campo);
4. Tratamiento de la información obtenida y la aplicación de la metodología de evaluación;
5. Análisis de los resultados e integración en una herramienta GIS;

Para alcanzar los objetivos de esta disertación se desarrollaron los siguientes trabajos:

- Recolección de información necesaria para elaboración de las fichas de evaluación de acuerdo a la metodología aplicada;
- Delimitación de la zona de estudio;
- Caracterización del área de estudio y selección de los edificios a evaluar;
- Aplicación de la metodología y obtención de los índices de vulnerabilidad;
- Construcción de escenarios de nivel de daño en las estructuras en función de una intensidad sísmica I establecida;
- Análisis de la implementación de una solución de refuerzo sísmico para disminuir el grado de daño en las estructuras;

1.3. Organización de la disertación

La presente disertación está constituida por 7 capítulos, iniciando con un capítulo introductorio, seguida de una revisión bibliográfica y reseña histórica de los sismos acontecidos en Ecuador, en especial el terremoto del 16 de abril 2016 y posteriormente el análisis y adaptación de la metodología de evaluación; caracterización y delimitación de la zona de estudio, aplicación de la metodología, obtención de los principales resultados, además del estudio de la implementación de una medida de reforzamiento sísmico buscando mejorar los resultados iniciales, finalizando con las principales conclusiones obtenidas en el desarrollo de la disertación, así como propuestas para trabajos futuros.

Capítulo 1: Introducción. En el primer capítulo se aborda la importancia del tema estudiado, los principales objetivos a alcanzar mediante el desarrollo de la disertación, así como la organización de la misma.

Capítulo 2: Caracterización de la zona en estudio y análisis de los principales efectos del sismo del 16 de abril de 2016 en Portoviejo. En este capítulo se presentan los principales fundamentos acerca de los orígenes de Portoviejo y su desarrollo como ciudad, también se hace una caracterización de las tipologías de edificaciones que se emplazan en la zona, además se hace un análisis de los acontecimientos sísmicos ocurridos históricamente en Ecuador enfatizándose su estudio en el último gran terremoto ocurrido el 2016, analizando el efecto que tuvo el sismo en las edificaciones durante su ocurrencia y la caracterización del daño presentado en las mismas.

Capítulo 3: Vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado. En lo que respecta a este capítulo aquí se muestra una revisión literaria acerca de las diferentes metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica, fundamentando varios conceptos de vital comprensión, analizando de una forma detallada la metodología escogida a aplicar en esta disertación y la adaptación de ciertos parámetros de la metodología de evaluación de acuerdo con la (NEC, 2015), también se expondrá el grado de confianza para cada parámetro a partir de una clasificación EMBA (E - elevado, M - medio, B - bajo, A - ausente) como también la clasificación de daños en edificios de hormigón armado.

Capítulo 4: Caso de estudio: Aplicación al centro histórico de la Ciudad de Portoviejo. Este capítulo es uno de los de mayor importancia de la disertación, aquí se hace una descripción de la zona de estudio así la delimitación de la misma, haciendo una selección de los edificios a evaluar, además es aplicada la metodología de evaluación propuesta en esta disertación.

Capítulo 5: Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado en la zona de estudio. Aquí se hace un análisis de los resultados de la aplicación de la metodología a diversos edificios de hormigón armado. Se tiene como resultado el índice de vulnerabilidad, el grado de confianza de cada edificio EMBA y el análisis del grado de daño, con la finalidad de que con estos resultados, poder expresar la vulnerabilidad sísmica y el nivel de daño de los edificios de hormigón armado en la zona de estudio, ante la ocurrencia de un sismo con una determinada intensidad *I*.

Capítulo 6: Análisis de la intervención de los edificios mediante la ejecución de un reforzamiento sísmico. En este capítulo se plantea el análisis de las estructuras estudiadas implementándose en ellas una técnica de refuerzo sísmico con el fin de disminuir los índices de vulnerabilidad sísmica I_v y de esta manera obtener soluciones efectivas que permitan disminuir el riesgo sísmico y el grado de daño en las edificaciones, además de realizarse un análisis de la relación costo/beneficios que se obtendría al hacerse un reforzamiento de la estructura.

Capítulo 7: Conclusiones y propuestas para trabajos futuros. En este último capítulo se presentan las principales conclusiones del trabajo desarrollado además de ciertas recomendaciones y propuestas para trabajos futuros.

2. Caracterización de la zona en estudio y análisis de los principales efectos del sismo del 16 de abril de 2016 en Portoviejo

Este capítulo tiene como objetivo presentar los principales fundamentos acerca de los orígenes de Portoviejo y su desarrollo como ciudad, también se hace una caracterización de las tipologías de edificaciones que se emplazan en la zona, además se hace un análisis de los acontecimientos sísmicos ocurridos históricamente en Ecuador enfatizándose su estudio en el último gran terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016, analizando el comportamiento que tuvieron las edificaciones durante su ocurrencia y al daño presentado en las mismas.

2.1 Origen y desenvolvimiento de la ciudad de Portoviejo

En las primeras crónicas y actas que hablan sobre la ciudad antes, durante y después de la fundación, específicamente se la escribe y denomina como Puerto Viexo. Ya hacia comienzos del siglo XVII claramente se sustituye la x por la j, llamándosele Puerto Viejo. Aunque la villa en sí ya estaba planificada fundarse desde antes de 1534 y fue ya durante las estancias efímeras de Francisco Pizarro por el territorio que ya era conocido como Puerto Viejo (desde Coaque por el norte, hasta Tosagua por el Este y la Isla de la Plata al sur hacia 1527), se había pensado en reducir la población de indígenas rebeldes sin que haya escogido el lugar apropiado en su trayecto hacia la conquista del Perú y tampoco sin haberse dado el adecuado trato con los caciques que habían declinado su puesta al yugo como un proyecto prioritario; fue Diego de Almagro, que inicialmente había hecho mejores recorridos al interior de los valles, habían descubierto diversos caminos hasta la sierra determinando muchos accesos fluviales por el lado este. (Molina Garcia, 2004)

2.1.1. Fundación

En diciembre de 1534, por orden de Sebastián de Belalcázar, por así haberlo dispuesto Diego de Almagro, salió de Quito el capitán Francisco Pacheco, acompañados de españoles

e indios a reconquistar los territorios de Puerto Viejo y fundar una ciudad, a varias leguas de la costa y a orillas del mismo río. (Molina Cedeño, 2009)

El viernes 12 de marzo de 1535, arribaron a la zona de El Higuerón de Rocafuerte, el capitán hizo cumplidas las órdenes del Mariscal Don Diego de Almagro cuando hizo plantar en aquel lugar el estandarte de Castilla, la cruz del cristianismo, la espada del poder, la horca y la picota, fundaron entonces la Villa Nueva de Puerto Viejo. Las autoridades superiores de la gobernación determinaron que Francisco Pacheco fuera el primer Teniente de Gobernador de Puerto Viejo. (Molina Garcia, 2004)

2.1.2. Transferencias de lugar

El 11 de junio 1538 Gonzalo de Olmos, teniente corregidor de Villa Nueva, con poderes especiales conseguidos en España y en búsqueda permanente de riqueza, buscando con avidez las minas de oro y esmeraldas que nunca encontraría, y para que nadie pretendiera su reino, sin importarle que Portoviejo pierda su condición de puerto y por ende su importancia como ciudad, decide trasladarla varias leguas más, tierra adentro por el sitio actual de El Higuerón de Picoazá, sin cambiar su nombre oficial. (Molina Cedeño, 2009). En este sitio Portoviejo duró hasta el 18 de agosto de 1565, fecha en que el Presidente de la Real Audiencia de Quito, Don Hernando de Santillán, ordenó al visitador Bernardo de Loaysa que trasladara a Puerto Viejo una legua más al interior, exactamente al ahora sector donde hoy es la calle Colón, cercana al río, allí surgió lo que hoy es la urbe capitalina de Portoviejo. (Molina Garcia, 2004)

2.1.3. Desarrollo Urbano

La Villa Nueva de San Gregorio de Puerto Viejo vio limitado su crecimiento en la época colonial, debido a que la actividad de los españoles se centró en la nueva ciudad de Santiago de Guayaquil, que se articulaba más fácilmente con la sierra por medio del eje hidrográfico del río Guayas. (El Telegrafo, 2015)

Con el último traslado la ciudad en 1565, Portoviejo comenzó su desarrollo urbano teniendo sus orígenes donde hoy es la calle Colón donde había 17 casas, teniendo una iglesia

y un monasterio La Merced, 14 familias españolas y 16 señoríos indios. (Molina Cedeño, 2009)

Portoviejo, se mantuvo durante la Colonia y floreció sobre todo en el siglo XIX como el centro político y articulador de la nueva región económica llamada Manabí, en medio de una etapa de gran conmoción por la llegada del capitalismo y el nuevo régimen. (El Telegrafo, 2015). En la Figura 2.1 se muestra una imagen de la plaza de armas de Portoviejo en 1910.



Figura 2.1: Portoviejo 1910. Fuente: (Molina Cedeño, 2009)

Es para 1920 que se forma el comité del censo para el nuevo ordenamiento urbano, en el cual se delimitó el área urbana de la ciudad y es aprobado por la Corporación del Cabildo de Portoviejo. (Molina Cedeño, 2009)

En la actualidad Portoviejo es una ciudad desarrollada urbanísticamente que cuenta con un gran conglomerado de infraestructuras, digna de la capital de la provincia de Manabí; Según el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Portoviejo su zona urbana está dividida en 9 parroquias y cuenta con una superficie urbana de cerca de 54 km², con aproximadamente 79,623 edificaciones. (GAD de Portoviejo, 2017).

En la Figura 2.2 se puede observar una representación gráfica del cantón Portoviejo y la delimitación del área urbana que se tiene en la actualidad.



Figura 2.2: Área urbana de Portoviejo 2017.

2.1.4. Caracterización de las edificaciones

Desde sus inicios Portoviejo se caracterizó por la edificación de viviendas clásicas utilizando materiales predominantes de la zona, estilo tradicional conservado por siglos en todas las clases sociales de la población portovejense.

Hasta mediados de los años 1950 en Manabí y particularmente en Portoviejo, las construcciones eran mayoritariamente de madera, caña guadua, y cadí revestidas con enquinche elaborado a base de excremento de caballo o bueyes, mezclado con arcilla y hierba picada y debidamente moldeados para dar bonitos acabados en las paredes, y finalmente pintadas con cal. Esta técnica basada en el empirismo fue desarrollada ancestralmente, siendo sus orígenes inciertos, pero aún se usa con proyectos de conservación cultural. Estas casas son frescas debido a la estructura de bambú, la madera y más el revoque a base de estiércol, paja y arcilla.

De estas viviendas se conserva aún muchas casas consideradas patrimonio histórico, algunas ya intervenidas por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. Después de los años 60 empiezan a renovarse el parque edificado de la ciudad comenzando la construcción los primeros edificios de hormigón armado en Portoviejo. Consolidándose especialmente su implementación a inicios de los años 80, sobre todo en la parte céntrica de la ciudad continuando su utilización hasta la actualidad, así como el uso de otros materiales de construcción. (Mieles, 2014)

Clasificación de Edificaciones

Las edificaciones de la ciudad de Portoviejo se pueden clasificar de la siguiente manera:

Hormigón Armado

Desde el comienzo de su implementación por la década de los 60, el hormigón armado es el material predominante la construcción de edificaciones en la ciudad de Portoviejo, debido a sus altas prestaciones, durabilidad y confort. La mayor parte del parque edificado en la ciudad está compuesto por este material. En la Figura 2.3 se presenta una imagen de una construcción de hormigón armado típica y característica de la ciudad.



Figura 2.3: Edificio de hormigón armado en Portoviejo. Fuente: Google Maps

Estructura metálica (Acero estructural)

En la ciudad de Portoviejo no es común la ejecución de proyectos que utilizan el acero estructural como material de construcción, pese a las grandes ventajas que representa la utilización de este material, esto se debe en mayor parte a la cultura e idiosincrasia local que tiene la población a realizar sus construcciones con otros elementos más conocidos como el hormigón armado y la madera, sin embargo en los últimos años el acero estructural ha ganado espacio y se empieza a observar construcciones de este tipo en la urbe. Uno de los más importantes y vanguardista es el edificio de la Cooperativa de la Policía Nacional del Ecuador que se muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4: Edificio de acero estructural en Portoviejo. Fuente: Google Maps

Estructura de Madera

La madera es uno de los materiales de construcción más antiguos y utilizados en el mundo, y fue el principal material utilizado en Portoviejo hasta la implementación del hormigón armado, manteniéndose aún muchas casas antiguas de madera consideradas patrimoniales en la zona urbana, siendo el material de construcción muy utilizado en las zonas rurales para la edificación de viviendas tradicionales de la época colonial y muy bien conservadas como se puede visualizar en la Figura 2.5.



Figura 2.5: Edificio de estructura de madera en Portoviejo. Fuente: Google Maps

Estructuras Mixtas

Se denominan de esta forma a las edificaciones cuya estructura resistente está formada por la combinación de varios materiales por lo que es difícil establecer a qué tipo de construcción pertenece, en el caso de que allá un material constructivo predominante se debe encasillarlo en esa categoría. En Portoviejo fue muy común la combinación de materiales de

construcción como es la de hormigón armado- madera, que consiste en una armazón estructural de hormigón armado y los pisos de madera; actualmente está siendo muy utilizada hormigón armado- acero, en la que se tiene una estructura de hormigón armado (columnas-vigas-losas) en pisos inferiores con la combinación de una estructura de acero en pisos superiores y en las cubiertas. En la Figura 2.6 se puede ver una vivienda mixta (hormigón armado- acero) típica en Portoviejo.

Otra combinación muy utilizada sobre todo en la zona rural, muy característica de la campiña manabita, son las tradicionales casas de estructura de madera- caña guadua (bambú).



Figura 2.6: Edificación de estructura mixta hormigón armado- acero en Portoviejo. Fuente: Google Maps

2.1.5. Cuadro jurídico

Portoviejo cuenta con ordenanzas de construcción vigentes, que regulan la edificación de construcciones y el uso del suelo en la ciudad.

Reglamento Orgánico De La Municipalidad Del Cantón Portoviejo

El Reglamento Orgánico de la Municipalidad del Cantón Portoviejo vigente al año 2007 ya designaba las siguientes las competencias de ente de regulador de la programación territorial a la Dirección de Planificación Territorial, pese a varias codificaciones, aún sigue siendo a la fecha el encargado de regular las construcciones que se realicen en el cantón de Portoviejo.

“Art. 34.- Misión. - La Dirección de Planificación Territorial tiene como misión guiar la formulación de políticas y acciones que promuevan el desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón, mediante la programación territorial urbana: y rural de Portoviejo.”

Ordenanza De Reglamentación Del Área Urbana Y Rural Del Cantón Portoviejo

El control de las construcciones sismo-resistentes, es competencia de los municipios, en Portoviejo está vigente desde el año 2009 la ordenanza encargada de regular las construcciones en el área urbana y rural establece entre otras cosas lo siguiente:

“Art. 1.- ÁMBITO DE APLICACIÓN. - Las disposiciones de la presente ordenanza se aplicarán dentro de los límites del cantón Portoviejo y tiene como finalidad procurar una racional y adecuada ocupación y utilización del suelo, ejerciendo control sobre el mismo con Reforma Ordenanza reglamentación urbana competencia exclusiva y privativa, sobre las construcciones o edificaciones y estado, destino y condiciones de ellas.”

“Art. 115.- La Dirección de Planificación Territorial otorgará el permiso de construcción, al propietario o constructor; previa la presentación de la siguiente documentación:

- a) Solicitud dirigida al Director de Planificación Territorial.*
- b) Informe de Regulación Urbana/Rural y Riesgos IRURR*
- c) Bono de Vivienda MIDUVI (de tenerlo)*
- d) Copia de la Escritura*
- e) Copia de la Solvencia del Registro de la Propiedad*
- f) Copia de C.I. y Papeleta de Votación*
- g) Planos aprobados (arquitectónicos, eléctricos, hidrosantiarias, estructurales firmados por los profesionales respectivos en cada rama.)*
- h) Comprobante de depósito de la garantía de inicio de construcción.*
- i) Comprobante de pago de agua potable, por contribución e instalación de servicios.”*

2.2.Sismicidad en el Ecuador

El Ecuador tiene una larga historia de actividad sísmica que, en los últimos 460 años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra, con la muerte de más de 60,000 personas.

Escenarios sísmicos probables evaluados en Quito, Guayaquil y Cuenca, muestran la necesidad urgente por emprender en programas para la mitigación del riesgo sísmico. El estudio del riesgo sísmico y su impacto en el desarrollo, constituye un reto científico crucial para el siglo XXI. (NEC, 2015)

2.2.1. Sismicidad histórica y contemporánea

El litoral ecuatoriano es caracterizado por una complejidad morfo-estructural:

(i) En la parte sur, en el Golfo de Guayaquil sistemas distintivos son asociadas a la abertura de la corteza continental a través de fallas de tipo normales y de cizallas, además un rasgo distinto es presente en el prisma de acreción junto al límite de la fosa tectónica de subducción, donde sistemas de fallas inversas de bajo ángulo de cerca de 70 y más kilómetros de longitud podrían indicar una potencial estructura sismogénica —fallas megasplay capaz de generar sismos mayor a 7.8 Mw y también desplazamientos verticales con generación de ondas anómalas de tsunami, sin descartar potenciales deslizamientos submarinos.

(ii) En la parte central referida a Manabí, terrazas marinas plio-cuaternarias evidencian un levantamiento tectónico con moderadas a altas tasas de desplazamientos (expresada en mm/año), esta dinámica de deformación cortical se debe al empuje de la cordillera oceánica de Carnegie y posterior subducción contra el segmento continental; este segmento costero tiene mayor tasa de deformación cortical donde la recurrencia de terremotos es mayor en confrontación con los segmentos sur y norte,

(iii) En la parte norte, sismos delineados en el sector Galera (sur de la provincia de Esmeraldas) indican el inicio de la cuenca de subsidencia de Esmeraldas y de la cuenca de Borbón las cuales son delimitadas por el levantamiento horst de Viche, este segmento morfo-estructural tiene reporte de fuertes terremotos, entre ellos el sexto evento sísmico documentado a nivel mundial, Mw 8.8, del 31 de enero de 1906. (Chunga, 2016)

Cronología de los sismos más potentes que han afectado al Ecuador

Es evidente que a lo largo del tiempo la República del Ecuador ha sufrido un gran número de terremotos y sismos severos. En el intervalo comprendido entre 1541-1896, el

Instituto Geofísico, tiene registro de 17 terremotos en diferentes localidades ecuatorianas desde 1906 a la fecha, en un total de 20 grandes eventos sísmico. En la Tabla 2.1 se muestra un reporte con un listado sobre los sismos más potentes que han afectado al territorio nacional. (El Universo, 2016)

Tabla 2.1: *Cronología de los sismos más potentes que han afectado a Ecuador. Fuente: Adaptación de (El Universo, 2016)*

Fecha	Epicentro	Magnitud	Observaciones
Junio, 1698	Cotopaxi	-	Desde Cotopaxi a Azuay. Muertos: en Ambato, más de 3.000; Latacunga, unos 2,000; en otros pueblos de esas jurisdicciones, unos 1,500; en Patate hubo 200 y en Riobamba, 100. Según algunos autores, el número de víctimas ascendió a 8,000.
Febrero 4, 1797	Riobamba	8,3	Destrucción total de Riobamba. El terremoto más destructivo en suelo ecuatoriano y uno de los de mayor magnitud en toda su historia. Daños en Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi, Bolívar y Pichincha. Se modificó el paisaje por las grietas, hundimientos y cambió del curso de los ríos. Muertos contabilizados: 12,833, pero se estima que la cifra sería de 31,000.
Enero 31, 1906	Océano Pacífico	8,8	Terremoto-tsunami con epicentro en el Pacífico, frente a las costas de la frontera Ecuador-Colombia, es el sexto más fuerte que se ha registrado en el mundo, desde que existen los sismógrafos. En Limones desaparecieron bajo las aguas cuatro islas. Treinta muertos en Esmeraldas. Las olas arrojaron a la costa de Tumaco (Colombia) unos 90 cadáveres.
Agosto 5, 1949	Ambato	6,8	Terremoto en Tungurahua. Pelileo desapareció totalmente. Píllaro, un 90%; Guano (Chimborazo), un 80%; Ambato, 75%. Área afectada: 1,920 km ² . Muertos: 6,000 (aproximado). Personas sin hogar: 100,000, aproximadamente.
Abril 8, 1961	-	7	Terremoto de 7 grados, afecta a Chimborazo.
Mayo 19, 1964	-	8	Terremoto de escala 8, afecta a Manabí.
Marzo 5, 1987	Napo	6,9	-
Octubre 2, 1995	-	6,9	Provincia de Morona Santiago.
Agosto 4, 1998	Bahía de Caraquez	7,1	Se localizó frente a la ciudad de Bahía de Caraquez, provocando pérdidas económicas, en especial al sector turístico, así como pérdidas debido al desplome y daños estructurales de algunos edificios ubicados en la ciudad
Abril 16, 2016	Pedernales	7,8	Pérdidas de 657 vidas humanas, además de multimillonarias pérdidas económicas

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), ver Figura 2.7, lo que evidencia que en el norte existe un mayor acoplamiento de las placas tectónicas de Nazca y América en relación al Sur.

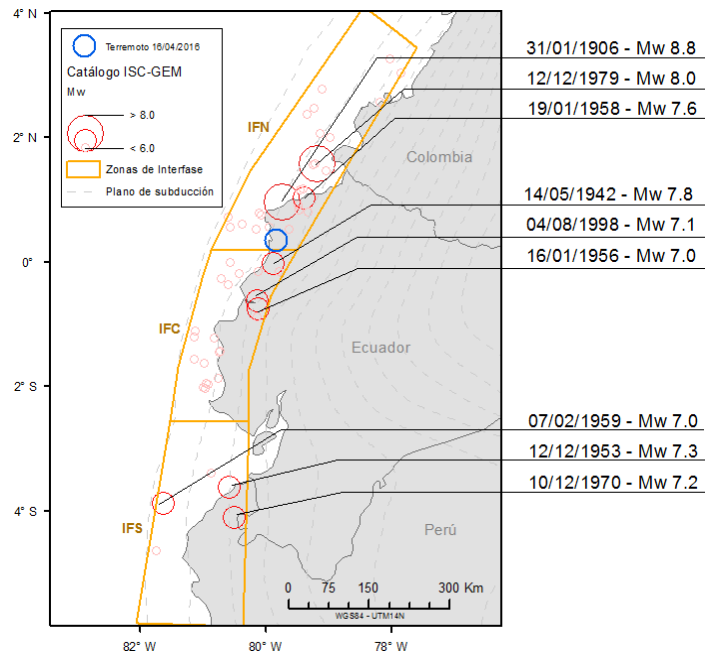


Figura 2.7: Sismos interplaca tipo thrust que han afectado al Ecuador. Fuente: (Aguiar & Miele, 2016)

2.2.2. Riesgo Sísmico

Se entiende como riesgo sísmico a las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un terremoto. Los elementos de una zona con cierta peligrosidad sísmica pueden verse afectados en menor o mayor medida dependiendo del grado de vulnerabilidad sísmica que tengan, ocasionando un cierto nivel de Riesgos Sísmico del lugar. (Lantada Zarzosa, 2007)

La evaluación del riesgo sísmico envuelve la consideración de tres factores, se muestran en la Figura 2.8: Peligro sísmico, Nivel de exposición, Vulnerabilidad al daño de las edificaciones. (Silva, 2015)

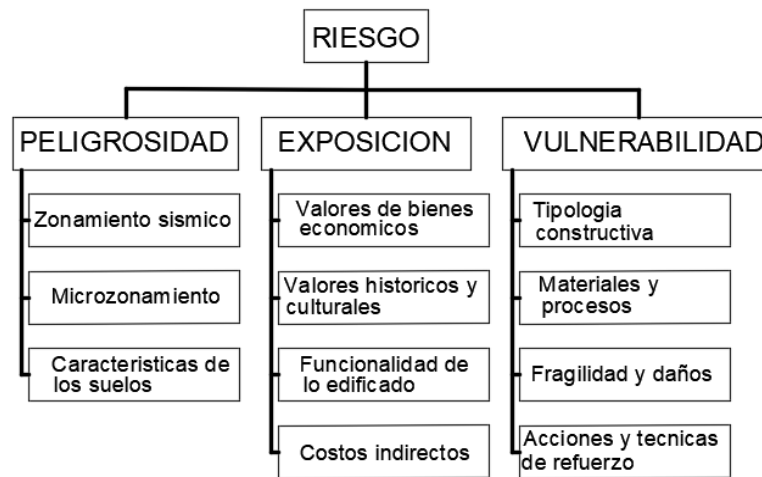


Figura 2.8: Factores de que depende el riesgo sísmico. Adaptada de: (Vicente, 2008)

2.2.3. Peligro Sísmico

La peligrosidad sísmica es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, como pueden ser el movimiento del mismo terreno, así como la licuefacción, los deslizamientos de tierra, inundaciones, ruptura de fallas etc, a lo que se denomina efectos colaterales de un terremoto. El tamaño y localización de estos efectos colaterales dependerán de diversos factores principalmente de las características geológicas y geotécnicas del lugar, pero indudablemente de las características del terremoto (hipocentro, mecanismo, intensidad, magnitud, duración, contenido frecuencial, etc.) (Lantada Zarzosa, 2007)

Al estar ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, Ecuador es muy propenso a sufrir eventos sísmicos, originados en su mayoría por procesos tectónicos que se dan entre la placa de Nazca y la placa Continental Sudamericana, del tipo subducción, que es la superposición de la placa Sudamericana en la placa de Nazca (Lopez Muñoz, 2017). Según (NEC, 2015), el peligro sísmico en el Ecuador está clasificado por zonas sísmicas.

Zonificación sísmica y factor de zona Z

Para los edificios de uso normal, se usa el valor de Z, que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

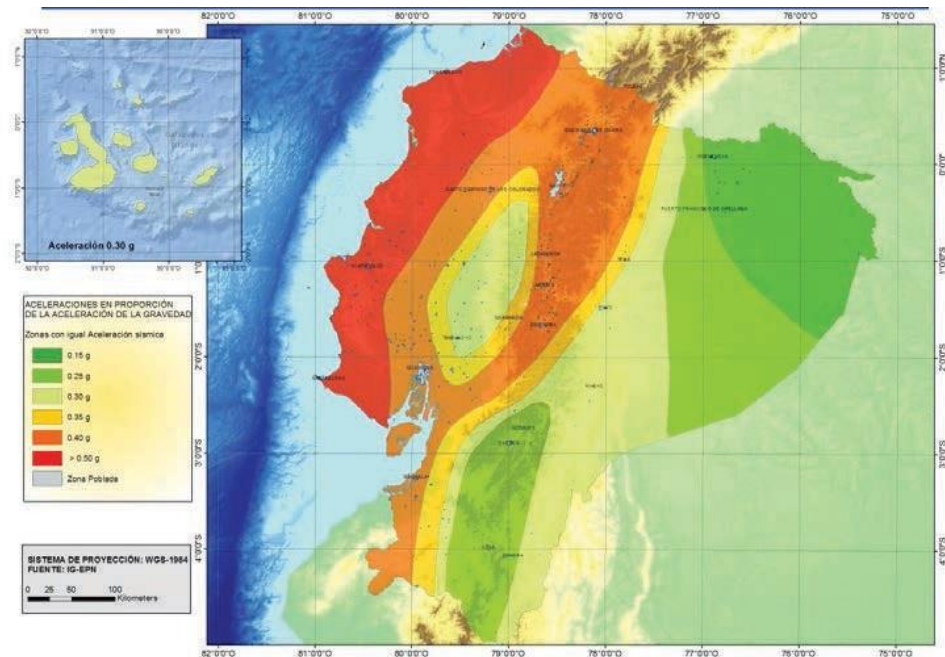


Figura 2.9: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. Fuente: (NEC, 2015)

El mapa de zonificación sísmica que se presenta en la Figura 2.9, para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI, como se puede observar en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Fuente: (NEC, 2015)

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	Media	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

2.3.Sismicidad en Portoviejo

Portoviejo está ubicada en la zona VI , considera como zona de muy alto peligro sísmico del Ecuador, por esta razón es de vital importancia el contar con información de primer orden para el análisis y diseño de estructuras así como programas de prevención de riesgos y mitigación de los daños que puedan ocasionar los sismos, uno de los parámetros más importantes para este propósito es la microzonificación sísmica y estudios geotécnicos

del suelo de las ciudades del Ecuador, cuando tienen más de 10,000 habitantes, según lo recomendado por la (NEC, 2015).

En base a lo mencionado anteriormente, y teniendo como atenuante los graves daños ocasionados en Portoviejo por el terremoto del 16 de abril, las autoridades competentes (GAD de Portoviejo), tuvieron la necesidad de contratar los estudios para la Microzonificación Sísmica del Cantón Portoviejo. En la Figura 2.10 se muestra la curva de peligro sísmico, establecida en (NEC, 2015).

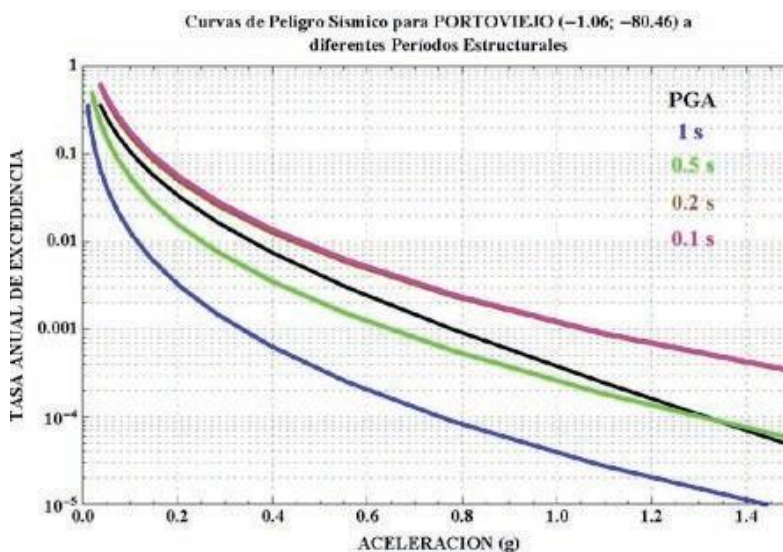


Figura 2.10: Curvas de peligro sísmico, Portoviejo. Fuente: (NEC, 2015)

2.3.1. Microzonificación sísmica de Portoviejo

La reconstrucción de Portoviejo tras el terremoto del 16 de abril debe tomar en cuenta la variación de la respuesta sísmica en superficie y su distribución espacial. Como insumos para la determinación de las microzonas sísmicas se está partiendo de la distribución de las unidades geológicas, sobre todo las sedimentarias en el área de estudio y su caracterización geotécnica y geofísica. Información de primer orden para su clasificación ha sido la variación de los valores de velocidad de propagación de las ondas de corte en los primeros 30 m (V_{s30}), así como el espesor de los sedimentos hasta el basamento sísmico. Adicionalmente, se ha tomado en cuenta para la delimitación de las microzonas la información sobre la distribución de los daños y las observaciones y cálculos de la respuesta en superficie. (EPN, 2017)

A continuación, a manera de resumen se presenta en la Figura 2.11, el mapa de zonificación sísmica de la ciudad de Portoviejo.

Considerando las variaciones en los espectros de respuesta se acuerda la definición de las siguientes microzonas: M1) Suelo Rígido-Roca; $360 \text{ m/s} < V_{s30}$ (diferenciando en ella RD y RM); M2) Suelo Semirígido; $270 < V_{s30} \leq 360 \text{ m/s}$; M3) Suelo Intermedio; $225 < V_{s30} \leq 270 \text{ m/s}$; M4) Suelo Blando; $180 < V_{s30} \leq 225 \text{ m/s}$; y M5) Suelo muy blando; $V_{s30} \leq 180 \text{ m/s}$. La microzona M6) define un sector con muy alto potencial de licuación. Adicionalmente, se definirán espectros para roca dura RD ($V_{s30} > 760 \text{ m/s}$) y roca meteorizada RM ($V_{s30} = 560 - 760 \text{ m/s}$) que serán diferenciadas de la zona 1 ($V_{s30} = 360 - 560 \text{ m/s}$) por el análisis del mapa de V_{s30} por topografía. (EPN, 2017)

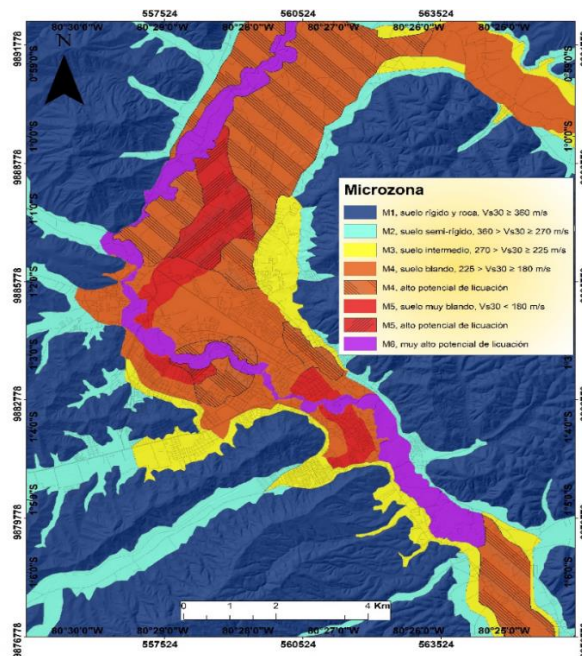


Figura 2.11: Mapa de microzonas sísmicas de Portoviejo. Fuente: (EPN, 2017)

Microzonas y perfiles estudiados

Anteriormente se establecieron las microzonas seleccionadas en función de rangos de valores de V_{s30} : M1) $360 \text{ m/s} < V_{s30}$ (diferenciando RD y RM); M2) $270 < V_{s30} \leq 360 \text{ m/s}$; M3) $225 < V_{s30} \leq 270 \text{ m/s}$; M4) $180 < V_{s30} \leq 225 \text{ m/s}$; y M5) $V_{s30} \leq 180 \text{ m/s}$. RD (roca dura) corresponde a $V_{s30} \geq 760 \text{ m/s}$ y RM (roca meteorizada) a $760 < V_{s30} \leq 560 \text{ m/s}$, quedando como sector aparte $560 < V_{s30} \leq 360 \text{ m/s}$.

Estas microzonas se asocian a las clases de sitio especificadas en la norma NEC 15: RD ($V_{s30} \geq 760 \text{ m/s}$) se asocia a las clases A ($V_{s30} \geq 1500$) y B ($1500 > V_{s30} \geq 760$). RM ($760 > V_{s30} \geq 560$) es el sector superior de la clase C ($760 > V_{s30} \geq 360$).

El sector ($560 > V_{s30} \geq 360$ m/s) de la microzona M1 es el inferior de la clase C.

La clase D ($360 > V_{s30} \geq 180$) queda dividida entre las microzonas M2, M3 y M4.

La clase E ($V_{s30} < 180$) corresponde a la microzona M5.

Como se observa, la selección de microzonas facilita el empleo, toma de decisiones y comparaciones entre las recomendaciones de este estudio y la norma, con énfasis en la división de los casos normativos como refinamiento correspondiente a una microzonificación sísmica. Según el estudio de excitación sísmica se analizaron cinco acelerogramas los cuales se escalaron para obtener las aceleraciones A0 en la superficie al aplicarlo al basamento de un perfil rocoso ($V_{s30} = 760$ m/s) denominado P0-roca. De cual se obtuvo una aceleración de 0.38 g para PMR de 475 años. (EPN, 2017)

2.4.Sismo del 16 de abril de 2016

El sismo registrado el sábado 16 de abril a las 18h58 (hora local), de magnitud 7.8 Mw, cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales (Manabí), a 20 km de profundidad, fue resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca (placa oceánica) que se sumerge bajo la Sudamericana (placa continental). A este proceso se le conoce como subducción, y es el mismo fenómeno que originó los sismos del 31 enero 1906 (Mw 8.8), que es el más grande registrado en Ecuador y el sexto más grande a escala mundial; el del 14 mayo 1942 (Mw 7.8); 19 enero de 1958 (Mw 7.8) y del 12 diciembre de 1979 (Mw 8.1). (IG-EPN, 2016)

2.4.1.Intensidad sísmica

La intensidad es un indicador de la fuerza del evento, medido en personas, objetos y edificaciones. Para determinar los niveles de intensidad se utilizó la (EMS98), que es una actualización de la Escala de Mercalli. Esta escala cuenta con 12 grados.

Es así que la información levantada en campo sirvió para determinar una intensidad máxima de I (EMS)= IX en las zonas de Pedernales y San José de Chamanga. Este valor refleja el colapso observado en muchas edificaciones vulnerables y los daños en edificaciones construidas bajo las recomendaciones de las normas técnicas.

En ciudades y poblaciones costeras como Bahía de Caráquez, Jama y Canoa y las zonas centrales de Manta y Portoviejo, los daños en las edificaciones muestran una intensidad I (EMS) = VIII, en estas dos últimas ciudades la distribución de daños es muy heterogénea y concentrada en ciertas áreas de las urbes.

En la Figura 2.12, conocida como mapa de isosistas, se observa que los daños están distribuidos en la provincia de Manabí. En las provincias de Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y parte de Santo Domingo de los Tsáchilas, se observaron fisuras en las paredes de las edificaciones, que no comprometen a la estabilidad de la estructura. En general, en las provincias de la Sierra, la intensidad máxima es 4 EMS que indica que el sismo fue sentido ampliamente por la población. (IG-EPN, 2016)

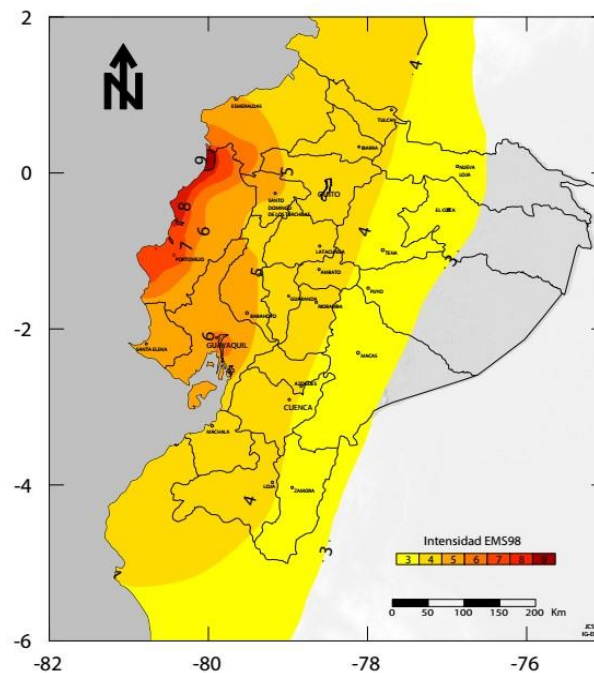


Figura 2.12: Mapa de intensidades sísmicas del sismo del 16 de abril de 2016. Fuente: (IG-EPN, 2016)

2.4.2. Aceleraciones

La aceleración es un parámetro muy importante en el diseño de edificaciones porque es directamente proporcional a la fuerza que debe soportar una estructura durante un sismo. Esta información es utilizada en los códigos de construcción para generar las recomendaciones que rigen el diseño

En la Figura 2.13, se indican algunos acelerogramas del terremoto del 16 de abril, 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. (Aguiar & Mieles, 2016)

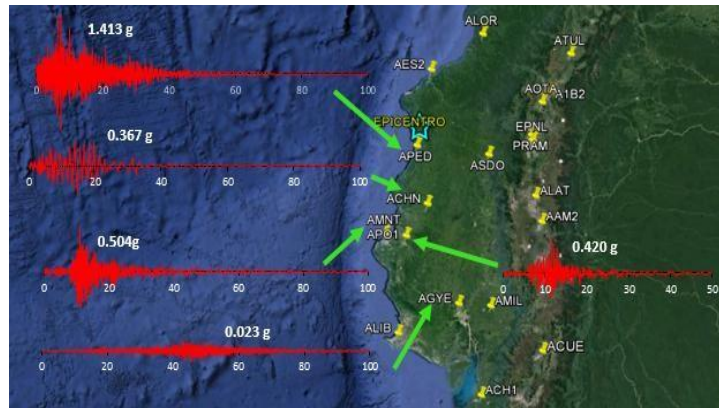


Figura 2.13: Acelerogramas obtenidos del terremoto del 16 de abril del 2016. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)

Acelerogramas y espectros en Portoviejo

El país cuenta un sistema nacional de acelerógrafos (RENAC) que registran y representan temporalmente la aceleración que sufre el suelo en un punto específico durante un evento sísmico, dicho registro se lo denomina acelerograma. Estos valores brindan la aceleración en tres direcciones, dos de ellas horizontalmente y una de ellas verticalmente, en intervalos de 0.01s, debido a que la aceleración es muy irregular en el tiempo. (Lopez Muñoz, 2017)

Según (Aguiar & Mieles, 2016) en Portoviejo el PGA fue de 0.42 g registrada en la estación APO1, ubicada en el jardín botánico de la ciudad con un suelo tipo D, el cual en principio estaría contemplado por la NEC-15, que indica que el PGA para Portoviejo debe ser mayor o igual a 0.5 g , pero que es posible que en otras zonas de la ciudad se registrasen aceleraciones más altas.

A continuación, en la Figura 2.14, se presentan los registros de la estación Portoviejo APO1 en la provincia de Manabí. Las señales con el espectro de respuesta de las componentes horizontales están comparadas con los espectros de la NEC15, para Portoviejo, los espectros de respuestas fueron ligeramente mayores al espectro NEC15, para un tipo de suelo D. (IG-EPN, 2016)

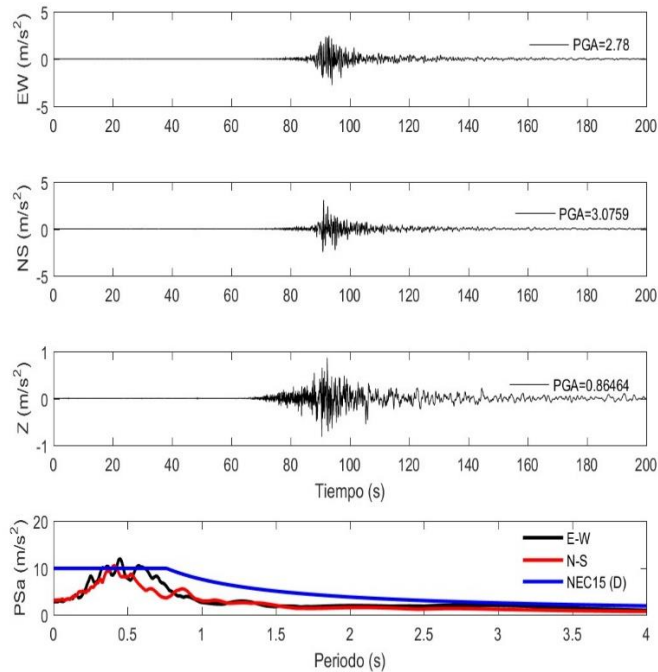


Figura 2.14: Comparativa entre espectro generado por el sismo en sus componentes principales y el espectro de respuesta dado por la NEC-15 (Suelo D) Estación: APO1. Fuente: (IG-EPN, 2016)

2.4.3. Efectos del sismo y caracterización de los principales daños en las estructuras

En el momento que ocurre un sismo los edificios entran en vibración soportando a través de sus elementos estructurales las solicitaciones provocadas por las cargas para el que fue diseñado:

“El diseño estructural se hace para el sismo de diseño, evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, equivalente a un período de retorno de 475 años” (Lopez Muñoz, 2017)

2.4.3.1. Evaluación de daños en elementos estructurales

Al momento de evaluar estructuras se presentan una gran variedad de elementos y materiales, en la siguiente tabla se encuentran los elementos estructurales a evaluar en función de los materiales y el sistema, representados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Elementos Estructurales a evaluar según Sistema-Elemento. Fuente: (Lopez Muñoz, 2017)

Sistema	Elementos
Pórtico en concreto reforzado	<ul style="list-style-type: none"> • Vigas. Columnas. Nudos. Entrepisos.
Pórtico con muros estructurales en hormigón armado	<ul style="list-style-type: none"> • Vigas. Columnas. Nudos. Muros. Entrepisos.
Estructuras metálicas	<ul style="list-style-type: none"> • Vigas. Columnas Conexiones. Entrepisos.
Estructuras en madera	<ul style="list-style-type: none"> • Vigas Columnas. Conexiones. Entrepisos
Mampostería	<ul style="list-style-type: none"> • Muros Portantes. Entrepisos.
Tapia, adobe y bahareque	<ul style="list-style-type: none"> • Muros Portantes. Entrepisos.

En el Anexo 1, se presenta una serie de evaluaciones hechas a edificios que sufrieron daños en el terremoto del 16 de abril, son parte de los estudios efectuados por (Lopez Muñoz, 2017) y (Aguiar & Miele, 2016), mediante los cuales se han logrado estimar e identificar cuáles fueron las principales causas de daños en las estructuras de la ciudad de Portoviejo y especialmente en la zona declarada por GAD de Portoviejo como área restringida y de catástrofe denominada “zona cero”

2.4.3.2. Características de los daños en los edificios de Portoviejo

Principales patologías de los daños

La vulnerabilidad de las estructuras en la zona centro aumenta debido a la alta consolidación constructiva, aquí se encuentran edificaciones con patologías como pisos blandos, columnas esbeltas, columnas cortas, filosofía de diseño viga fuerte-columna débil, sobrecargas en las edificaciones golpeteo entre estructuras por falta de espacio, poca redundancia estructural, irregularidades en planta y elevación, nudos débiles todo esto ha sido un problema frecuente y que ha provocado daños en otros eventos sísmicos. (Aguiar & Miele, 2016)

La informalidad en la construcción es otra de las principales patologías causantes de la degradación de estructuras y del mal comportamiento sísmico que presentan. Al mencionar la construcción informal se refiere a: (Lopez Muñoz, 2017)

- Auto diseño

- Autogestión
- Construcción por etapas de largos plazos
- Integración o eliminación de elementos sin base técnica
- Mala ejecución de diseños estructurales y mala calidad de materiales.

Con base en informes realizados por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos en el 2011 en el país un 70 % de las viviendas son realizadas de manera informal. Además, el Ecuador consta con un gran número de casas que no tienen una correcta construcción, siendo aproximadamente 3 millones de viviendas. (Ecuador Inmediato, 2011)

Existe también una ordenanza municipal que obliga la construcción de mezzanines y la aplicación de un estilo arquitectónico que suprime las columnas de la parte frontal y de las esquinas, en la zona centro de la ciudad. (Aguiar & Mieles, 2016)

Construcciones en Portoviejo previo terremoto

Antes del terremoto de abril del 2016, en la ciudad de Portoviejo la obtención de permisos de construcción era un proceso relativamente fácil, basada en la presentación de planos de distribución arquitectónica y de un detallado básico del sistema estructural a construir, donde la mayor preocupación de las autoridades era que se respete normas de urbanismo como los retiros, ubicación de ventanas y demás elementos referentes a la visión arquitectónica, sin hacer prevalecer las ordenanzas y las normativas constructivas vigentes

Principales daños observados en las edificaciones de Portoviejo

Daños por Efecto de Columna Corta

Según (Aguiar & Mieles, 2016), el daño que se observó en un gran porcentaje es el daño por corte o columna corta, producido en su mayoría por la abertura de ductos de luz y ventanas cerca de las columnas. Este tipo de columnas presenta una falla frágil en la estructura. A continuación, en la Figura 2.15, se puede observar los daños por efecto de columna corta.



Figura 2.15: Daños por efecto de (columna corta) registrado en varias edificaciones de Portoviejo. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)

Daños por mecanismo viga fuerte- columna débil

En la Figura 2.16 y 2.17 se puede observar como edificios importantes de gran altura fueron construidos con la filosofía de diseño viga fuerte-columna débil lo cual representa un sistema estructural de baja ductilidad con lo cual 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.(Aguiar & Mieles, 2016)



Figura 2.16: Daño en columnas de nivel 5 del edificio Mutualista Pichincha. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)



Figura 2.17: Daños observados en la Clínica San Antonio, mecanismo viga fuerte-columna débil. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)

Daños por falta de confinamiento en los nudos

Uno de los principales criterios del diseño sismo resistente, se basa la conformación de nudos rígidos. Muchas edificaciones fallaron por falta de confinamiento en la unión viga columna; dado que fueron construidas sin ninguna normativa o con códigos antiguos donde el nivel de detallado y confinamiento con estribos se especificaba a una distancia “d” mayor que la usada actualmente, por ejemplo él (ACI-318-95, 1995) lo especificaba a “d/2” luego él (ACI-318-05, 2005) lo cambia a una distancia no mayor de 15 cm con barras de 10 mm. Estos requisitos fueron cambiados después al reconocer la importancia del confinamiento y actualmente la NEC15 establece que deben ser barras de 10 mm como mínimo con una separación no mayor que 10 cm o 6 db. En la figura 2.18, se muestra varias evidencias del poco confinamiento en nudos de varias estructuras con daños severos en Portoviejo. (Aguiar & Mieles, 2016)



Figura 2.18: Falla por falta de confinamiento en columnas; a) estribos muy separados; b) estribos de 6 mm; c) no se aprecia el estribo. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)

Adición de pisos no planificados (traslapes y sobre cargas)

Otro error frecuente es la construcción por etapas, o la adición de pisos no planificados en el cálculo original lo que supone una sobrecarga en la estructuras ya que dichas cargas no fueron consideradas en la mayoría de los casos en la concepción inicial de las construcciones, en la Figura 2.19 se puede observar un edificio que inicialmente no tenía el número de pisos ni el uso funcional que presentaba al momento de colapsar producto del sismo del 16 de abril del 2016. En varios casos también se observó que la longitud de desarrollo para traslapar los elementos adicionados fue inapropiada para resistir los esfuerzos que actúan en la estructura, en la Figura 2.20, se observa como las columnas se arrancaron del piso y se evidencia que el traslape no alcanzó a desarrollar su fluencia por la pequeña cantidad traslapada. (Aguiar & Mieles, 2016)



Figura 2.19: Edificio del IEES, fue cambiado su uso constructivo y se adicionaron pisos posteriormente. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)



Figura 2.20: Columna con traslape y detallado deficiente. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)

Daños por piso blando “soft storey”

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. Esto se debe a la no consideración de paredes de mampostería en la planta baja sobre todo por respetar línea de fabrica de los soportales peatonales además de la presencia de locales comerciales y oficinas lo cual por razones arquitectónicas se opta por la no utilización de paredes interiores de mampostería.

La mayor parte de las construcciones colapsadas estaban ubicadas en los predios esquineros de las cuadras (edificios abiertos), estos edificios tienen soportales en ambos sentidos derivando en plantas bajas con poca área y una escasa rigidez a diferencia de sus pisos superiores, que conduce a la formación del mecanismo de falla de piso blando o “*soft storey*”; en la Figura 2.21 se muestra un edificio cuya principal causa de falla fue la presencia de piso blando. (Aguiar & Mieles, 2016)



Figura 2.21: Falla por piso blando (*soft storey*). Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)

Golpeteo entre edificios por falta de separación

La inadecuada separación entre edificios hace que cuando entren en vibración por efectos de un sismo, estos no puedan vibrar libremente y se produzca un sistema de transmisión de cargas (choque) entre edificaciones lo cual es altamente perjudicial para las estructuras, como se puede observar en la Figura 2.22, provocando en muchas ocasiones su colapso o daños estructurales graves, ya que están soportando cargas no previstas en su diseño.



Figura 2.22: Fallas por golpeteo entre edificaciones por falta de separación.

Daños por licuación de suelos

En varios lugares cercanos al cauce actual o antiguo del río Portoviejo, el cual atraviesa toda la ciudad, se dieron fenómenos de licuefacción de suelos lo que derivó en el asentamiento de varias edificaciones tal como se muestra en la Figura 2.23; este fenómeno se origina cuando las arenas o limos tratan de acomodarse al vibrar, deja espacios y se filtra el agua presente en los poros, lo que provoca asentamiento de la estructura, lo que se agravó debido por la inundación producida por la creciente del río días antes del sismo. (Aguiar & Mieles, 2016)



Figura 2.23: Fallas estructurales por licuefacción de suelos. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016)

2.4.3.3. Análisis de los daños observados en las estructuras de Portoviejo

Material de utilizado en la construcción de las estructuras

Según (Lopez Muñoz, 2017) se tomaron 43 edificaciones al azar en el área definida previamente (zona cero), en la Tabla 2.4 se puede observar que el 82% de estructuras son edificadas en hormigón armado, el 16% son edificaciones de estructura de madera y el 2% tienen una estructura de acero.

Tabla 2.4: Materiales utilizados en la construcción de las estructuras en Portoviejo: (Lopez Muñoz, 2017)

MATERIALES DE LAS ESTRUCTURAS		
MATERIAL	VALOR	PORCENTAJE
Hormigón armado	35	82%
Acero estructural	1	2%
Madera	7	16%
Total	43	100%

Ubicación de las estructuras dentro de la manzana

En la Tabla 2.5 se muestra que de las edificaciones evaluadas alrededor del 44% de ellas estaban ubicadas internamente en la cuadra y 56% de ellas eran esquineras. De las estructuras analizadas se pudo observar que las edificaciones ubicadas en lugares esquineros de la manzana y adosados a edificios colindantes fueron las que sufrieron mayor daño a nivel individual y a su vez estos provocaron daños en estructuras adyacentes. (Lopez Muñoz, 2017)

Tabla 2.5: Ubicación de las estructuras evaluadas dentro de la manzana. (Lopez Muñoz, 2017)

UBICACIÓN DE EDIFICACIONES		
UBICACIÓN	CANTIDAD	PORCENTAJE
Internos	19	44%
Esquineros	24	56%
Total	43	100%

Estructuración de la edificación

La combinación losa-columna se ha popularizado en los últimos 30 años debido a las prestaciones arquitectónicas que esta tiene y la facilidad constructiva que brinda este tipo de losas a la hora de hacer encofrados en la construcción y debido al poco mantenimiento que requiere una losa plana, todo lo contrario, a la combinación entrepiso- viga-columna que requiere un poco más de mantenimiento y recursos desde el momento de construir hasta la habitabilidad. En la Tabla 2.6 se muestra que el 69% de las edificaciones evaluadas corresponden al sistema constructivo losa- columna y que el 31% son estructuras con vigas descolgadas. (Lopez Muñoz, 2017)

Tabla 2.6: Estructuración de las construcciones evaluadas en Portoviejo. (Lopez Muñoz, 2017)

ESTRUCTURACIÓN (H.A)		
TIPOLOGÍA	VALOR	PORCENTAJE
LOSA-COLUMNA (losa plana)	27	69%
VIGA-LOSA-COLUMNA (vigas descolgadas)	8	31%
TOTAL	35	100%

Edificios con Mezzanine

Según la Tabla 2.7, el 66% de las edificaciones evaluadas tenía un mezzanine menores de 5 metros, el 3% mezzanine mayores a 5 metros y el 31% de edificaciones no tenía mezzanine, cabe indicar que esta tipología constructiva solo se encontraba en edificaciones de hormigón armado

El mezzanine es la denominación para un nivel de piso diferente de los otros niveles, este piso resulta de las ordenanzas territoriales y planes de urbanismo del Departamento de Gestión y Desarrollo Territorial, este espacio es aprovechado por los propietarios para ganar espacio y usarlos como oficinas y locales comerciales.

La variación de la altura del mezzanine está dada de acuerdo a la zona en la que en la que se implanta la edificación, en función de lo planificado por el GAD de Portoviejo. (Lopez Muñoz, 2017)

Tabla 2.7: Edificios con mezzanine evaluados en Portoviejo. (Lopez Muñoz, 2017)

MEZZANINE (ED. HORMIGÓN ARMADO)		
MEZZANINE	CANTIDAD	PORCENTAJE
>5 m	1	3%
<5 m	23	66%
Sin mezzanine	11	31%
TOTAL	35	100%

2.4.3.4. Nivel de daño

La estimación o evaluación de daños sufridos por las estructuras por el terremoto del 16 de abril, fue ejecutada por parte del MIDUVI y demás organizaciones del Estado en base a un programa de inspecciones masivas a nivel País, sobre todo en las provincias afectadas de Manabí y Esmeraldas, que consistió en la inspección de las viviendas y la clasificación de daños para determinar sobre todo su seguridad ocupacional. Se hizo un etiquetado de acuerdo al nivel de daños observados en la estructura.

Se empleó un adhesivo rojo para las edificaciones colapsadas e inseguras y las que tengan peligro inminente de colapsar, prohibiendo el ingreso y ocupación de las mismas. El adhesivo amarillo, sobre la restricción a ciertas áreas o por periodo de tiempo a las viviendas, así como para informar de daños parciales tanto en los elementos estructurales como no estructurales. El adhesivo de color verde índico que sus habitantes podrían ocuparla sin peligro, si como que la estructura sufrió daños leves o sin afectación.

En la ciudad de Portoviejo inicialmente las inspecciones a las edificaciones fueron realizadas por el GAD de Portoviejo y su grupo de técnicos, competencia que posteriormente fuera adquirida por el MIDUVI.

Según evaluaciones efectuadas a los edificios de Portoviejo presentaron los siguientes niveles de daño.

Nivel de daño en estructuras con combinación losa-columna

En la Tabla 2.8 se muestra que el 63% de edificaciones con un sistema estructural formado por losa-columna tuvo un colapso total, mientras que, el 37% tuvo una gran afectación o afectación parcial. Se registró una gran afectación es edificios con losas planas, estas no son recomendables para zonas sísmicas puesto que, tienen poca rigidez y ductilidad en relación a edificios con marcos rígidos formados por vigas peraltadas y columnas.(Lopez Muñoz, 2017)

Tabla 2.8: Nivel de Daño presentado en sistema estructural (losa- columna) (Lopez Muñoz, 2017)

NIVEL DE COLAPSO EN SISTEMA ESTRUCTURAL LOSA COLUMNA		
NIVEL DE COLAPSO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Colapso total	17	63%
Colapso parcial	10	37%
TOTAL	27	100%

Nivel de colapso en edificaciones con sistema estructural viga-columna

En sistemas estructurales entrepiso-viga-columna el porcentaje de edificaciones que colapsaron en su totalidad fue del 12%, por otro lado, se observa que este sistema estructural tuvo una respuesta aceptable ya que, el 88% de las estructuras que lo poseen colapsaron parcialmente como se aprecia en la Tabla 2.9 (Lopez Muñoz, 2017)

Tabla 2.9: Nivel de Daño presentado en sistema estructural (viga- columna) (Lopez Muñoz, 2017)

NIVEL DE COLAPSO EN SISTEMA ESTRUCTURAL VIGA COLUMNA (H.A.)		
NIVEL DE COLAPSO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Colapso total	1	12%
Colapso parcial	7	88%
TOTAL	8	100%

Nivel de afectación en estructuras con mezzanine

El mezzanine posee un diafragma que presenta excentricidades en relación al resto niveles, provocando que el centro de masas no coincida con el centro de gravedad de la

estructura, todo esto, desencadena en desplazamientos diferenciales, que a su vez provocan daños en la estructura, reflejo de eso es que el 67% de estas estructuras colapsaron y el 33% de ellas presentaron daños severos en su estructura como se muestra en la Tabla 2.10. (Lopez Muñoz, 2017)

Tabla 2.10: Nivel de daño en estructuras con mezzanine evaluadas. (Lopez Muñoz, 2017)

NIVEL DE COLAPSO EN ESTRUCTURAS CON MEZZANINE		
NIVEL DE COLAPSO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Colapso total	16	67%
Colapso parcial	8	33%
TOTAL	24	100%

Evaluación del impacto mediante variables catastrales

A manera de un análisis macro se hizo una evaluación de daños que presentaron las edificaciones con el terremoto del 16 de abril (EPN, 2017). Para valorar el impacto sufrido por las edificaciones se han utilizado diversas fuentes de información El objetivo fue conseguir la máxima información disponible relacionada con la valoración de daños en el GAD de Portoviejo.

Para simplificar y facilitar el manejo de los datos provenientes de diversas fuentes de información, la descripción del daño se ha clasificado en 4 valores establecidos en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11: Categorías de daños.

Tipología
Sin daño
Daño leve o moderado
Daño Grave
Colapso o Derribo

Según estudios (EPN, 2017) en la Figura 2.24 se puede apreciar la distribución espacial del total de edificaciones evaluadas por el Municipio de Portoviejo. Para evaluar los daños producidos en relación a la información catastral se han comparado las variables disponibles, utilizando la escala a nivel de ciudad, dato que corresponde con el entorno donde se dispone de más datos.

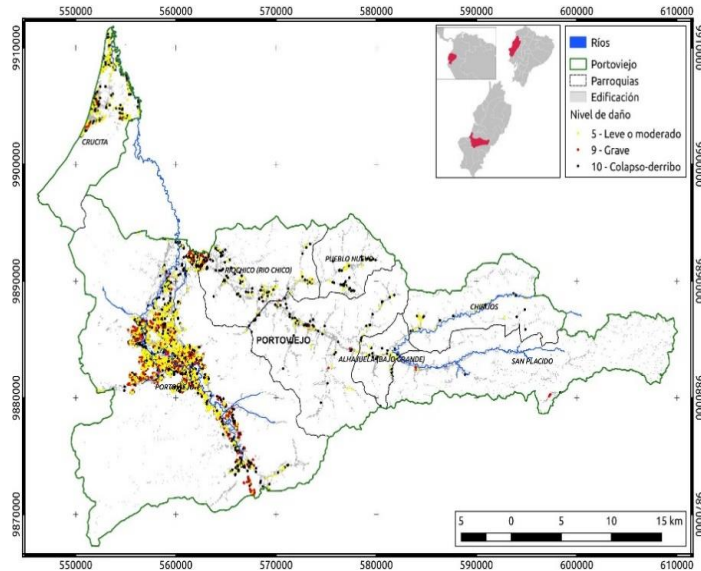


Figura 2.24: Distribución espacial del total de edificaciones evaluadas (con o sin daño) en el GAD de Portoviejo. Se han excluido las edificaciones de las que se desconoce su estado. Fuente: (EPN, 2017)

Valoración de daños por parámetro analizado

Estado de las viviendas

La Figura 2.26, indica la relación entre el grado de daño y el estado cualitativo de las edificaciones previo al sismo del 16 de abril del 2016, según el catastro municipal. Dado que hay un gran número de viviendas declaradas en buen estado, es normal que el mayor número de afecciones se encuentre en este grupo. (EPN, 2017)

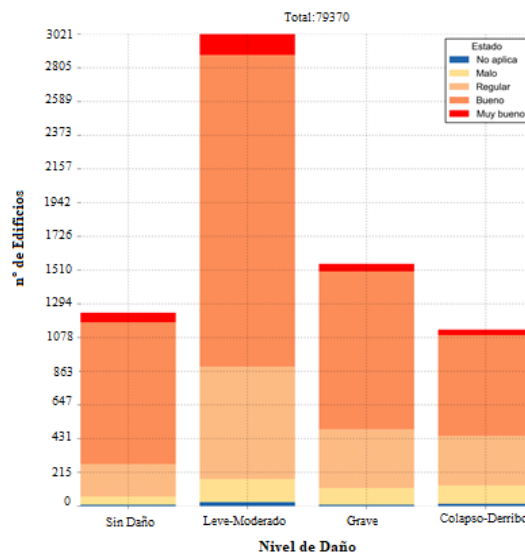


Figura 2.25: Número total de edificaciones en función del grado de daño y su estado. Fuente: (EPN, 2017)

Altura de las edificaciones

La Figura 2.27, muestra la relación entre el daño y el número de pisos. La mayoría de edificaciones en el GAD de Portoviejo no superan las 2 plantas, de ahí que aparezcan estos dos intervalos como los más afectados en términos absolutos. Sin embargo, en la ciudad hay 56 526 estructuras de 1 o 2 plantas, 4 998 de las cuales fueron afectadas, lo que representa un 8.8 %. En el caso de las edificaciones superiores a 2 pisos, hay 1349, de las cuales 460 se vieron afectadas, lo que constituye un 34 %. (EPN, 2017)

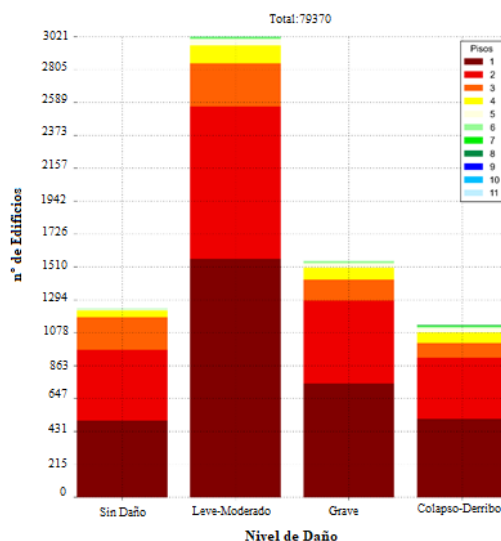


Figura 2.26: Número total de edificaciones en función del grado de daño y número de pisos. Fuente: (EPN, 2017)

Periodo de construcción.

La Figura 2.28, muestra una afección generalizada en viviendas de distintas épocas, incluidas las construidas en los últimos años. Este hecho tiene una doble lectura, por una parte, pese a ser una ciudad fundada en el siglo XVI, la mayoría de las edificaciones son posteriores a los años 80, lo que podría apuntar a derrocamientos y reconstrucción luego de catástrofes como incendios o terremotos. Por otra parte se debería esperar que las edificaciones más recientes deberían haber sido construidas de forma más eficiente desde el punto de vista sísmico, sin embargo, presentan un nivel de afección importante. (EPN, 2017)

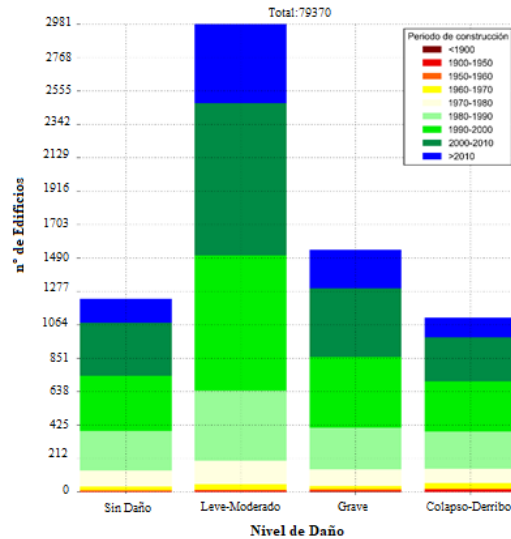


Figura 2.27: Número total de edificaciones en función del grado de daño y periodo de construcción. Fuente: (EPN, 2017)

Materiales

La Figura 2.29, muestra que la mayoría de edificaciones afectadas fueron construidas utilizando hormigón armado con paredes de ladrillo, combinación que predomina en el GAD de Portoviejo. Sin embargo, son importantes también los daños causados en las edificaciones de madera y ladrillo. En relación a estas últimas, hay un número importante catalogadas como informales situadas en las vertientes y que, por tanto, carecen de datos catastrales. Muchas son de uno o dos pisos, muy humildes, con estructura y cerramiento de madera. (EPN, 2017)



Figura 2.28: Número de edificaciones afectadas en función del grado de daño y material de construcción. Fuente: (EPN, 2017)

2.5.Comentarios finales

Este capítulo se desarrolló con el fin de obtener y analizar información relevante que sirva de soporte y comprensión para realizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica, en función del comportamiento sísmico reflejado en los daños que se observaron en los edificios de Portoviejo post sismo y que a su vez justifique la adaptación de ciertos parámetros de evaluación según los análisis efectuados a manera de validar los resultados y ajustar la metodología al entorno de aplicación.

Portoviejo es una ciudad histórica y una de las más importantes del país, desde su fundación como una villa española, se estableció como una importante zona de influencia, pese a sus traslados, saqueos y catástrofes naturales ha logrado mantenerse a lo largo de los siglos.

Su desenvolvimiento urbano ha sido muy bueno considerándose a Portoviejo la ciudad más grande y con mayor población de Manabí. Constructivamente a lo largo de sus casi 500 años de existencia, se define históricamente dos tipologías de materiales empleados en la construcción de viviendas, la madera combinada con la caña guadua desde sus inicios hasta mediados del siglo 20 y la construcción con hormigón armado y acero estructural aprovechando la ciencia y tecnología para modernizar las construcciones con materiales más duraderos y de mejor comportamiento sísmico.

Durante décadas el país careció de un código sísmico que permita evaluar y diseñar estructuras sismo resistentes en la ciudad, debiéndose implementar códigos extranjeros, y fue hasta el inicio del siglo 21 que se desarrolló el primer código sísmico del Ecuador. A partir de esto, a Portoviejo se la ubico en la zona de mayor peligro sísmico y de mayor actividad sísmica del país.

Sin duda alguna el terremoto del 16 de abril del 2016, representa una de las catástrofes naturales que más efectos y daños colaterales han provocado en el país, no solo por las vidas humanas que se perdieron ni por el daño que se registró a nivel de todas las infraestructuras que garantizan el desarrollo y sostenibilidad de las poblaciones, sino porque este evento dejó en evidencia como la poca preparación o cultura de prevención y acción ante la ocurrencia sobre todo de un sismo de grandes proporciones catastróficas.

Dichas evidencias se ven reflejadas en diversos trabajos realizados por profesionales e investigadores acerca de los principales daños provocados por el sismo del 16 de abril. Uno de los más importantes factores que influyeron en el mal comportamiento sísmico de los edificios en la ciudad de Portoviejo, fue el no cumplimiento de las normas técnicas de construcción, debido a la irresponsabilidad de haberse construido edificaciones en muchos casos por auto diseño, no respetando criterios técnicos de ingeniería, la implementación de materiales con la calidad inadecuada, cambio del uso para el cual fue concebido así como el aumento de pisos superiores sin ningún estudio ingenieril también la eliminación de elementos estructurales y no estructurales haciendo a las edificaciones más vulnerables.

Otro factor importante fue, sobre todo en la zona centro de la ciudad en la cual se presentaron el mayor número de edificaciones colapsadas, es que sobre esta zona rige una ordenanza municipal de líneas de fábricas y alturas de piso variables, que derivan en la construcción de mezzanines en los edificios resultando en una importante irregularidad en planta y elevación además de poca rigidez de los mismos, esta ordenanza desencadena en que por motivos arquitectónicos, se supriman elementos estructurales en los predios esquineros, derivando en estructuras con ejes ortogonales no paralelos y poca redundancia estructural, lo cual es perjudicial para las edificaciones.

Con respecto a la caracterización de los principales daños observados en las estructuras de Portoviejo, los más comunes son del tipo constructivo, el más evidenciado es el daño por mecanismo de columna corta y piso blando "*soft storey*", la falta de confinamiento en nudos, así como estructuras que forman el criterio estructural viga fuerte columna débil.

Todos estos factores influyen directamente en el comportamiento sísmico de los edificios, disminuyendo o aumentando la vulnerabilidad y el nivel de daño que pueda tener una edificación. Además este acontecimiento ha servido como punto de partida para la implementación de programas de prevención y acción ante eventos catastróficos, capacitación y concientización de la población, endurecimiento de las leyes que rigen la construcción de edificaciones, actualización normativas y realización nuevos estudios como el de la Microzonificación de Portoviejo, que servirán de mucha ayuda para el adecuado diseño, construcción, reforzamiento y evaluación del comportamiento sísmico de los edificios.

3. Vulnerabilidad sísmica de edificios de Hormigón Armado

Mediante el desarrollo de este capítulo se pretende inicialmente realizar un análisis acerca de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado, haciendo una revisión y recopilación literaria, sobre las diferentes metodologías que existen para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, donde se efectuará una descripción de la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica adoptada así como la adaptación de varios de sus parámetros, de acuerdo a la (NEC, 2015), también en este capítulo se expondrán importantes temas que están ligados directamente con la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado escogida, como son el índice de vulnerabilidad I_v , el grado de confianza en la obtención de información para la evaluación de los parámetros, clasificación EMBA, la clasificación de los daños en estructuras de hormigón armado y el grado de daño que se presentan las mismas.

3.1. Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica puede ser definida como una propiedad intrínseca de las estructuras, una característica de su propio comportamiento que está sujeta a la acción sísmica, descrita a través de una ley causa-efecto en que la causa es acción sísmica y el efecto es el daño estructural. (Sandi & Floricel, 1994)

Dependiendo de las características del uso, tipo y valor de las edificaciones, los diferentes niveles de evaluación de la vulnerabilidad asumen una importancia relativa, esto es tanto los objetivos de la evaluación de la vulnerabilidad como la profundidad con que esta conducida esta evaluación serán siempre en función de la exposición y de las preocupaciones socioeconómicas (Vicente, 2008)

El análisis de vulnerabilidad se realiza a través de funciones de vulnerabilidad o fragilidad, que relacionan probabilísticamente una medida de intensidad sísmica con una medida de daño en la edificación. En muchos casos las funciones de vulnerabilidad también incorporan las consecuencias del daño en términos de pérdidas humanas y materiales.

La mayoría del territorio del Ecuador se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico. La vulnerabilidad o susceptibilidad al daño de muchas edificaciones que tienen un alto grado de exposición por estar en su mayoría situadas en ciudades con alta peligrosidad sísmica principalmente ciudades costeras, de aquellas construidas antes de la promulgación de los códigos de la construcción o de aquellas que no han sido diseñadas apropiadamente y que a lo largo de su vida han sido reformadas, ampliadas o que han sufrido un cambio en el tipo de uso, distinto al contemplado en el diseño. El riesgo sísmico es alto y debe ser considerado en la toma de decisiones. (NEC, 2015)

La vulnerabilidad, en su sentido amplio, es siempre una propiedad de un elemento o sistema. A continuación, se describen los tres principales niveles de vulnerabilidad que interesan en el ámbito de los edificios, en particular vulnerabilidad estructural, vulnerabilidad no estructural y vulnerabilidad funcional:

Nivel 1.- La vulnerabilidad estructural, está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes que componen el sistema resistente sufren cierto grado de daño. La naturaleza del daño puede ser descrita de forma cuantitativa o cualitativa. Desde el punto de vista cualitativo, se basa normalmente en la observación visual y descripción de daños característicos tras un evento sísmico. Desde el punto de vista cuantitativo y utilizando parámetros definidores de la respuesta estructural (como es el caso de derivas, deformaciones, exigencia de ductilidad, energía disipada, etc.), es posible definir índices de daño (Yepez, Barbat Barbat, & Canas Torres, 1995)

Nivel 2.- La vulnerabilidad no estructural, está asociada a la susceptibilidad de los elementos arquitectónicos (paredes interiores, puertas, ventanas, balcones, parapetos, elementos decorativos, etc.) y de los componentes del edificio (tuberías, instalaciones y otros equipos) de sufrir daños. Se observa que, en sismos intensos, a pesar del comportamiento satisfactorio desde el punto de vista estructural, los daños no estructurales sufridos pueden comprometer la funcionalidad y reparación de muchos edificios así como la integridad de las personas (Staehlin, 1997)

Nivel 3.- La vulnerabilidad funcional, se define como el potencial de perturbación de funcionamiento de una instalación como consecuencia del aumento de la exigencia sobre los servicios prestados. Se trata de evaluar la incapacidad de respuesta tras una emergencia o

crisis sísmica de los edificios considerados esenciales y sobre los que se requiere el mantenimiento de funciones. Este nivel de evaluación de la vulnerabilidad es dependiente de los otros niveles de evaluación enunciados. La funcionalidad de los edificios esenciales depende de algunos factores. [OPS, 1993]

3.2. Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica

La necesidad de estimar de forma fidedigna y eficiente el impacto socioeconómico de grandes eventos sísmicos surgió de forma más efectiva tras los sismos de la década de 1990 ocurridos en los Estados Unidos de América y Japón. Los avances en la tecnología asociada al GIS (Geographic Information System) permitieron el desarrollo de nuevas y poderosas herramientas, aplicables no sólo en la evaluación del riesgo sísmico, sino también en la gestión del edificado. (Ferreira, 2010)

Las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios difieren en los recursos y en el rigor asociados a su implementación, por lo que la elección de la metodología a utilizar deberá ser hecha en función del objetivo de la evaluación, pero también de la disponibilidad de los recursos tecnológicos, de la información del edificio y de la escala a la que va a ser trabajado. (Silva, 2015)

Los métodos de evaluación de vulnerabilidad sísmica de estructuras, tienen como finalidad expresar la respuesta sísmica de las construcciones, medida en términos de daño, con base en la relación entre una determinada acción sísmica y las características intrínsecas de la estructura.

A continuación, en la Tabla 3.1, se puede observar algunas de las principales metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes, subdivididas en tres grupos:

Metodologías de vulnerabilidad observadas.

Metodologías de evaluación basadas en modelos simplificados.

Metodologías de análisis detallado.

Tabla 3.1: Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicadas a diferentes escalas. (Silva, 2015)

Metodología	Campo de aplicación		Esfuerzo computacional		
	Conjunto de edificios	Edificio individual	Bajo	Moderado	Elevado
Vulnerabilidad observada	x		x		
Modelos de análisis simplificada	x	x		x	
Proceso de análisis detallada		x			x

En el desarrollo de las secciones 3.2.1-3.2.3, se describen las principales metodologías de evaluación sísmica disponibles, además se presentan ordenados de acuerdo a la complejidad de tabulación computacional asociada a cada metodología.

3.2.1. Metodología basada en la vulnerabilidad observada.

La Federal Emergency Management Agency (FEMA) fundó una organización denominada Applied Technology Council (ATC) que sirvió como estudio pionero para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica a gran escala, en el que se destaca el módulo (ATC-13, 1985) que tuvo como objetivo hacer una evaluación de los daños después del terremoto de 1985 en California (Rojahn & Sharpe, 1985). De este ATC-13 resultó la creación de una matriz de probabilidad de daño (MPD), para 78 estructuras diferentes, entre las cuales 40 edificios.

La particularidad de este método es que las MPD, relativas a diferentes tipologías estructurales e intensidades sísmicas, fueron estipuladas a través de la opinión de 78 expertos, cada uno de ellos proporcionando una estimación del grado de daño más probable en una determinada tipología estructural, para una determinada intensidad sísmica. La debilidad de esta metodología se refiere a la obvia subjetividad asociada a la forma en que se elaboran las MPD, lo que lleva a que los resultados obtenidos no puedan ser considerados completamente creíbles. Sin embargo, esta metodología fue una de las herramientas más utilizadas durante los años 80. En la Tabla 3.2, se presenta la matriz de probabilidad de daño más popular en aquella época para definir probabilidades de distribución de daño (D'Ayala & Speranza, 2002)

Tabla 3.2: Matriz de probabilidad de daño (Whitman, Reed, & Hong, 1973)

Estado de daño	Daño estructural	Daño no estructural	Porcentaje daño (%)	Intensidad sísmica				
				V	VI	VII	VIII	IX
0	Ninguno	Ninguno	0-0.05	V	VI	VII	VIII	IX
1	Ninguno	Ligero	0.05-0.30	-	-	-	-	-
2	Ninguno	Localizado	0.30-1.25	-	-	-	-	-
3	No asignable	Distribuido	1.25-3.50	-	-	-	-	-
4	Leve	Importante	3.50-4.50	-	-	-	-	-
5	Substancial	Extensivo	7.50-20.0	-	-	-	-	-
6	Elevado	Casi total	20.0-65.0	-	-	-	-	-
7	Pré-colapso		100	-	-	-	-	-
8	Colapso		100	-	-	-	-	-

Con el objetivo de mejorar y acelerar las inspecciones de daño post-sismo, se elaboraron dos metodologías similares, formuladas a través de escalas macrosísmicas: la Seismic Intensity Scale (MSK) (Medvedev & Sponheuer, 1969) y la European Macroseismic Scale (EMS) (Grünthal, 1998). La escala macrosísmica MSK define tres clases de vulnerabilidad decreciente A, B y C, teniendo en cuenta las características de los edificios (Tabla 3.3), los autores crearon una tabla (Tabla 3.6) en la que relaciona el tipo de edificio con la escala de intensidad para obtener una posible clasificación del daño de los edificios (Tabla 3.4) y aún con la cantidad de edificios que puede ser afectado ver Tabla 3.5. (Silva, 2015)

Tabla 3.3: Clases de vulnerabilidad de las construcciones según la escala MSK (Medvedev & Sponheuer, 1969)

Clase	Definición
A	Construcción en piedra natural (no aparejada) y bloques de tierra cruda (adobe). Ampliamente utilizado en edificios de viviendas y que están más expuestos a mayores daños
B	Construcción con bloques comunes y bloques de piedra aparte o artificial. Utilizado en edificios de vivienda con un comportamiento sísmico mejorado debido a la utilización de mejores materiales en la constitución de las albañilerías
C	Construcción en estructura de hormigón armado

Tabla 3.4: Clasificación de daños de los edificios (Medvedev & Sponheuer, 1969)

Escala de daño	Tipo de daño
1	Daño leve – Presencia de Pequeñas fisuras.
2	Daño moderado – Presencia de fisuras en paredes divisorias, caída de estuco.
3	Daño severo – Grandes fisuras en paredes divisorias, caídas de chimeneas.
4	Daño muy grave – Grandes aberturas en los elementos estructurales.
5	Colapso – Colapso total dos edificios.

Tabla 3.5: Cantidad de daño que los edificios están sujetos a la acción sísmica (Medvedev & Sponheuer, 1969)

Definición	Cantidad
Pocos	Cerca de 5%
Muchos	Cerca de 50%
Bastantes	Cerca de 75%

Tabla 3.6: Relación entre el tipo de estructuras con la escala de intensidad para obtener una posible clasificación del daño de los edificios según (Medvedev & Sponheuer, 1969)

Escala de Intensidad	Tipo de estructuras		
	A	B	C
V	Pocos – 1	-	-
VI	Pocos – 2 Muchos – 1	Pocos – 1	-
VII	Pocos – 4 Muchos – 3	Muchos – 2	Muchos – 1
VIII	Pocos – 5 Muchos – 4	Pocos – 4 Muchos – 3	Muchos – 3 Muchos – 2
IX	Muchos – 5	Pocos – 5 Muchos – 4	Muchos – 4 Muchos – 3
X	Bastantes – 5	Muchos – 5	Muchos – 5 Muchos – 4

La escala macrosísmica propuesta por (Grünthal, 1998) EMS-98, fue creada con la intención de mejorar la escala de intensidad MSK, que clasificaba los edificios en tres clases de evaluación, A, B y C, pasando ahora a clasificar las estructuras en seis clases de evaluación diferentes (A, B, C, D, E y F) como se puede ver en la Figura 44. Esta propuesta por estar definida en una escala macrosísmica permite ser relacionada con el grado de daño indirectamente (Vicente, 2008)

TIPO DE ESTRUTURA	Classe de Vulnerabilidade					
	A	B	C	D	E	F
ALVENARIA	Alvenaria de pedra irregular e solta	○				
	Adobe	○—				
	Alvenaria de pedra (aparelhada)	---○				
	Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)	---○---				
	Alvenaria de blocos de betão ou tijolo (não reforçada)	---○---				
	Alvenaria com pavimentos em betão armado	---○---				
	Alvenaria reforçada/Alvenaria confinada	---○---				
BETÃO ARMADO	Estrutura porticada em betão armado sem CSR ou com CSR mínimo ¹	---○---				
	Estrutura porticada em betão armado com CSR moderado	---○---				
	Estrutura porticada em betão armado com CSR elevado	---○---				
	Estrutura de paredes em betão sem CSR ou com CSR mínimo	---○---				
	Estrutura de paredes em betão armado com CSR moderado	---○---				
METÁLICA	Estrutura metálica	---○---				
	MADEIRA	Estrutura de madeira	---○---			

¹CSR – Conceção sísmo-resistente
○ classe mais provável |---○---| margem para classe menos provável |---| margem de classe provável

Figura 3.1: Definição de las clases de vulnerabilidad según el EMS-98 adaptado de (Grünthal, 1998). Fuente: (Vicente, 2008)

3.2.2. Metodología de análisis basadas en modelos simplificados

Las metodologías alternativas de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, capaces de evaluar un gran número de edificios en un corto espacio de tiempo, son por ello necesarias. Las metodologías basadas en modelos analíticos simplificados de los edificios, en los que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio determinado se realiza sobre la base del conocimiento de algunos parámetros (por ejemplo, de orden geométrico o mecánico). En la gran mayoría de los casos, cuanto más simple sea la formulación de la metodología, menor será el gasto de tiempo asociado a su aplicación y el rigor de los escenarios sísmicos obtenidos. Sin embargo, para que los resultados obtenidos permanezcan fidedignos, es fundamental que los parámetros asociados a la evaluación de la vulnerabilidad se obtengan con calidad, garantizando así una adecuada capacidad de evaluación del comportamiento sísmico de los edificios. (Ferreira, 2010)

A lo largo de los últimos años han surgido metodologías simplificadas de evaluación de la vulnerabilidad sísmica que involucra procedimientos de carácter simple y rápido. La metodología propuesta por (Yakut, Erberik, Akkar, & Sucuoglu, 2012) surgió del procedimiento desarrollado por (Sucuoglu & Yazgan, 1999), al que se añadieron nuevos parámetros de evaluación y un tratamiento de riesgo sísmico diferente. En esta metodología, además de los parámetros mencionados arriba, el “basic score” contiene aún diferentes las

estructuras de los edificios de hormigón armado, sirviendo como modificador del valor del rendimiento sísmico del edificio.

La metodología simplificada de evaluación de la vulnerabilidad sísmica "Rapid Visual Screening de Edificios para potenciales Seismic Hazards" (RVS), referido como ATC 21 (2002), propuesto por esa entidad en 1988. Alrededor de una década más tarde, En 1999, el FEMA publicó el manual FEMA 154 y, en 2002, surge la segunda edición de este manual (ATC-21, 2002) una versión elaborada con el fin de facilitar la implementación del RVS y hacer una revisión de la metodología, con base en informaciones reunidos después de la primera edición. La inspección a un edificio, que implica una identificación por parte de los inspectores, del sistema estructural que resiste a las acciones laterales y el reconocimiento de las características del edificio que alteran la respuesta sísmica esperada para ese sistema.

La metodología presentada por (Sucuoglu & Yazgan, 1999) hace el análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes en hormigón armado con altura inferior a 8 pisos, siendo que su evaluación está dividida en dos niveles, cuyos parámetros de análisis pueden ser fácilmente observados

En el primer nivel de evaluación, se hace una observación visual del edificio donde se registran varios parámetros, como el número de pisos sobre el suelo, la existencia o no de "soft-storey", la existencia de pisos exteriores suspendidos, tales como balcones, la calidad aparente del hormigón (buena, moderada o mala), la existencia de mecanismos del tipo pilar-corto, la posibilidad de existencia de efectos de *pounding* entre edificios adyacentes, las condiciones del suelo y, por último, el efecto topográfico en el edificio.

En el segundo nivel de evaluación, después del primer nivel, se analizan algunos parámetros tales como la irregularidad en planta, el índice de resistencia a fuerzas laterales y la redundancia estructural. Para finalizar la evaluación de la vulnerabilidad del edificio, las aceleraciones sísmicas en el suelo servirán como *basic score* para el cálculo del valor del desempeño sísmico, estando éste dependiente de la zona sísmica en que se encuentra. A través de una interacción entre los diferentes parámetros referidos se obtiene el valor del desempeño sísmico del edificio, sabiendo así si éste compromete o no la seguridad de las personas que allí se encuentran.

La metodología de (GNDDT-SSN., 1994) iniciada en 1976, se aplicó a varios centros históricos de diversas regiones de Italia, especialmente en la región de Catania en 1999 y en la región de Molise en 2001. Esta metodología se basa en un amplio estudio y el levantamiento de daños post-sismo, que tuvo en cuenta otros parámetros importantes que controlan la construcción de daños y deben ser investigados individualmente. Se basa en el cálculo de un índice de vulnerabilidad I_v (Ecuación 3.1) a partir de la suma ponderada de 14 parámetros (P_i) que se clasifican en las clases de vulnerabilidad (C_{vi}) creciente, de A a D, que condicionan la vulnerabilidad sísmica del edificio considerados importantes en el control de los daños en edificios debidos a las acciones sísmicas. (Magalhães, 2017)

$$I_v = \sum_{i=1}^{14} C_{vi} \times P_i \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Los parámetros, P_i , de la propuesta son los siguientes: P1 Tipo de resistencia del sistema; P2: Calidad del sistema estructural; P3: Resistencia convencional; P4:; Distancia mínima entre las paredes P5: Número de plantas; P6 Localización y condiciones del suelo; P7: Posición agregada e interacción P8: Configuración del planta; P9: Regularidad en altura; P10: Aberturas y alineaciones de pared de fachada; y P11: Diafragmas horizontales, P12 Sistema de techado, P13 Fragmentaciones y estado de conservación P14 Elementos no estructurales.

(Silva, 2015), desarrolló una metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica para edificios de hormigón armado, basándose en el análisis y combinación de parámetros de otras metodologías como por ejemplo la metodología de (Vicente, 2008) para edificios de albañilería. En la metodología propuesta por (Silva, 2015), se analizan 8 parámetros, siendo que los parámetros se dividen en tres grupos: suelo, ubicación del edificio en el encuadramiento urbano y el edificio individual. El primer grupo incluye el parámetro P1, donde se analizará la implantación del edificio en el suelo. El segundo grupo incluye el parámetro P2, que trata esencialmente la interacción entre construcciones vecinas. Por último, el tercer grupo incluye los parámetros P3 al P8 donde se analizan las irregularidades en planta y elevación así como los posibles mecanismos de falla de la estructura.

3.2.3. Metodología de análisis detallada

Estas metodologías más refinadas sólo se aplican en edificios para los que se dispone de información completa y rigurosa sobre la geometría de sus elementos, las tecnologías constructivas y las propiedades mecánicas de sus materiales. En estos casos, se recurre a modelos numéricos detallados para evaluar edificios representativos de una determinada tipología estructural, con un grado de detalle que no se adecuaría a una evaluación a media / gran escala. En los casos en que los análisis justifican la utilización de un alto nivel de recursos, como son los casos por ejemplo de construcciones de valor histórico o patrimonial relevante (o incluso pequeños agregados), el recurso a la modelización numérica en elementos finitos puede auxiliar la evaluación de la calidad vulnerabilidad sísmica, a través del cálculo de los modos de vibración asociados a la estructura y distribución de tensión y deformaciones.

Las metodologías de análisis detalladas más utilizadas se basan en: análisis estáticos lineales, frecuentemente utilizados en el dimensionamiento de estructuras; análisis estático no lineal, que admiten un comportamiento no lineal de los elementos estructurales; análisis dinámicos lineales, utilizados en el análisis modal espectral y finalmente; los análisis dinámicos no lineales, que consideran, al igual que en los análisis estáticos no lineales, un comportamiento mecánico no lineal del material. (Ferreira, 2010)

3.3. Metodología de evaluación sísmica adoptada

En la elección de la metodología de evaluación de la vulnerabilidad a utilizar, se debe tener en cuenta la naturaleza de los edificios, su función y su tipología constructiva. El análisis diferenciado de estos tipos de edificios, en lo que se refiere a los aspectos a evaluar, está orientado por diferentes criterios y sensibilidades que tendrán repercusión en la evaluación de la vulnerabilidad y consecuentemente, en la estimación del grado de daño. (Silva, 2015)

3.3.1. Metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica basada en modelos simplificados

En la presente disertación se implementará para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado, la metodología desarrollada por José Miguel Silva, 2015; donde se analizarán 8 parámetros, siendo que los parámetros se dividen en tres grupos: suelo, ubicación del edificio en el encuadramiento urbano y edificio individual. El primer grupo incluye el parámetro P1, donde se analizará la implantación del edificio en el suelo. El segundo grupo incluye el parámetro P2, que trata esencialmente la interacción entre construcciones vecinas. Por último, el tercer grupo incluye los parámetros P3 al P8, donde se analizará la edad del edificio, sus irregularidades en planta y en altura, la existencia de potenciales mecanismos de *soft-storey* y de pilares cortos y de otros elementos constituyentes del comportamiento sísmico del edificio, todo esto resumido en fichas de evaluación presentadas en el Anexo 2.

Esta metodología se basa en el cálculo de un índice de vulnerabilidad para cada edificio, en el que cada parámetro se clasifica en 4 clases de vulnerabilidad, C_{vi} , en particular: A, B, C y D. Cada parámetro evalúa un aspecto que influye en el rendimiento sísmico del edificio (eligiendo la clase de vulnerabilidad que mejor la caracteriza). A cada parámetro se asocia un peso, p_i , variando desde 0.5, para los parámetros menos importantes, hasta 2, para los parámetros con mayor impacto en la vulnerabilidad del edificio (Tabla 3.7). El valor del índice de vulnerabilidad final, I_v^* , varía entre 0 y 600 y se encuentra definido según la Ecuación 3.2. De forma a facilitar su interpretación, este índice se normaliza posteriormente para variar en el intervalo entre 0 y 100 (suma ponderada normalizada), asumiendo el símbolo I_v . (Silva, 2015)

$$I_v^* = \sum_{i=1}^8 C_{vi} \times P_i \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Tabla 3.7: Índice de vulnerabilidad (I_v *), parámetros que lo definen y respectivos pesos asociados (Silva, 2015)

Parámetro	Clase C_{vi}				Peso
	A	B	C	D	P_i
P1 Implantación del edificio	0	5	20	50	1,5
P2 Posición del edificio en el contexto urbano	0	5	20	50	0,5
P3 Edad del edificio	0	5	20	50	1,5
P4 Irregularidad en planta	0	5	20	50	2,0
P5 Irregularidad en altura	0	5	20	50	2,0
P6 Existencia de mecanismo de <i>soft-storey</i>	0	-	-	50	2,0
P7 Presencia de pilares cortos	0	5	20	50	2,0
P8 Otros elementos	0	5	20	50	0,5

3.3.2.Descripción y Adaptación de los parámetros

A continuación, se presentan los 8 parámetros de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de forma detallada, haciendo la identificación de los principales aspectos a evaluar y una breve descripción de los mismos, además de la adaptación de ciertos parámetros de acuerdo a la zona de estudio, así como a los códigos y normativas vigentes en dicha zona.

Esta adaptación se debe a que la metodología de evaluación sísmica implementada en este estudio fue desarrollada en Europa, aplicando criterios de evaluación y normativas europeas (Eurocodigos). Se identificó los parámetros que se pueden adaptar P1, P3, P4, P5 a la norma que rige el diseño, análisis y construcción de estructuras civiles en el Ecuador (NEC, 2015), esta adaptación también se justificó mediante los resultados del análisis del nivel de daños que sufrieron los edificios de la ciudad de Portoviejo debido al terremoto del 2016, presentados en el capítulo 2 de esta disertación.

Parámetro P1 - Implantación del edificio

Si bien este parámetro está ligado directamente con la evaluación del peligro sísmico es de vital importancia su consideración en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica ya que es necesario que se conozca la ubicación del edificio y el tipo de suelo. En este criterio es necesario percibir si las estructuras se ubican en terreno plano, en rellenos o en suelo inclinado. Además, el tipo de suelo en que se encuentra es de extrema importancia, pues

tendrá influencia directa en el comportamiento de las estructuras tras ocurrencia de un terremoto.

Aspectos a evaluar:

- Ubicación.
- Tipo de suelo.

Como parámetro inicial de esta metodología, las características del terreno donde el edificio está implantado son de gran importancia. En los casos en que no está disponible información detallada del tipo de suelo para cada edificio, y considerando la atención a las dificultades de evaluación de la interacción terreno-edificio, debe ser asumida una clasificación lo más correcta posible (observación visual), adoptando para todos los edificios de la casa la zona en estudio la misma clase de vulnerabilidad para este parámetro tal como es sugerido por (Vicente, 2008). Aunque es difícil obtener datos precisos durante la evaluación visual, los datos geotécnicos proporcionados por las entidades locales, deben ser una fuente fiable para clasificar las condiciones locales del suelo. (Silva, 2015). La designación utilizada para el tipo de suelo está de acuerdo con la propuesta en la NEC-15 clasificando los terrenos como tipo A (mejor tipo de suelo), B, C, D, E y F (peor tipo de suelo), en la Tabla 3.8, se puede observar la clasificación de los perfiles de suelo.

Tabla 3.8: Clasificación de los perfiles de suelo, según (NEC, 2015)

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa

E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2 —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3 —Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4 —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5 —Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6 —Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Los rellenos son zonas sensibles por ser pasivos de asentamientos. Un sismo provocará una vibración del suelo, que podrá originar su compactación, produciendo asentamientos o deslizamientos (Bhatt, 2007)

La elección de la clase dependerá del tipo de suelo donde el edificio está localizado, es decir, si el edificio está en zona de relleno, terreno plano o en zona con terreno inclinado. Se optó por unir el suelo del tipo B con el C y el suelo del tipo D con el E, a manera de disminuir el margen de error ya que se hace la evaluación de este parámetro de forma visual y muchas veces es complicado determinar cuál valor usar. Así, las clases de vulnerabilidad para estos parámetros se definen como se indica en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Definición de la clase de vulnerabilidad para el parámetro P1

TERRENO DE FUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN DEL EDIFICIO		
	Terreno Plano	Relleno - Terraplen	Suelo Inclinado
Suelo tipo A	A	B	C
Suelo tipo B y C	B	C	D
Suelo tipo D y E	C	D	D
Suelo tipo F	D	D	D

Parámetro P2 - Posición del edificio en la cuadra

Este parámetro implica de forma general el análisis del comportamiento de los edificios con estructuras adyacentes sobre todo ante la ocurrencia de un sismo de gran intensidad.

Aspectos a evaluar:

- Posición del edificio.
- Interacción con otros edificios.
- Desnivel del suelo superior a 0,5 metros entre edificios adyacentes.

Esta interacción entre estructuras, implica que la evaluación de su vulnerabilidad no sea analizada de forma individual. La respuesta del edificio es influenciada por su inserción en un agregado de edificios, pudiendo el confinamiento e interacción producidos, actuar de forma benéfica o perjudicial en determinadas situaciones, como en el caso de los edificios aislados, en los de banda extremo, en los de cajón de cuerdas y en los edificios en contacto con otros de diferente dimensión (Vicente, 2008) estos ejemplos se ilustran en la Figura 3.2.

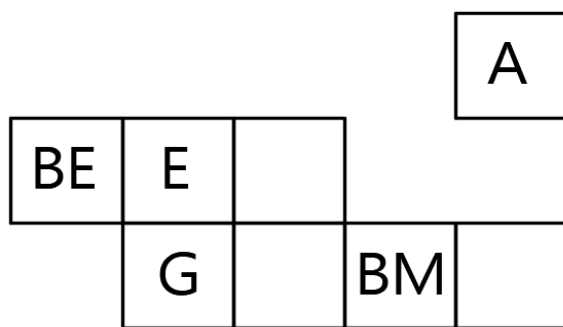


Figura 3.2: La posición de los edificios en la cuadra (BE - Banda Extrema, BM - Banda Media, E - Encerrado, G - Gaveto, A - Aislado).

El efecto *pounding*, o choque entre edificios, dificulta el análisis sísmico de las estructuras debido a la complejidad en cuantificar la energía transmitida durante el choque. Debido a este fenómeno, los edificios de banda ancha o de esquina de las cuerdas, como no encuentran continuidad con otro edificio van a tener a priori, peor respuesta sísmica (Bhatt, 2007)

En la Figura 3.3, se muestra la ubicación y la clase asignada a cada edificio. (Magalhães, 2017)

- Clase A - edificios adyacentes con igual altura;
- Clase B y C - edificios adyacentes con menor altura;

- Clase D - edificio en banda extrema, sin continuidad, siendo que el edificio con el que contacta presenta una altura inferior.

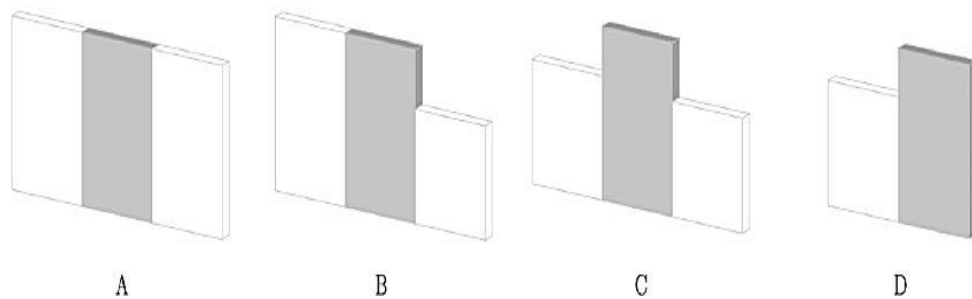


Figura 3.3: Interacción entre edificios adyacentes con la respectiva clase de vulnerabilidad.

El desnivel entre pisos puede provocar efectos de gravedad desde el punto de vista estructural. La Figura 3.4, presenta diferentes situaciones de desnivel, la tercera situación en que la diferencia de altura de pisos entre edificios adyacentes es de al menos 0,5 metros, puede ser suficiente para originar fenómenos estructurales de "pounding" (Vicente, 2008)

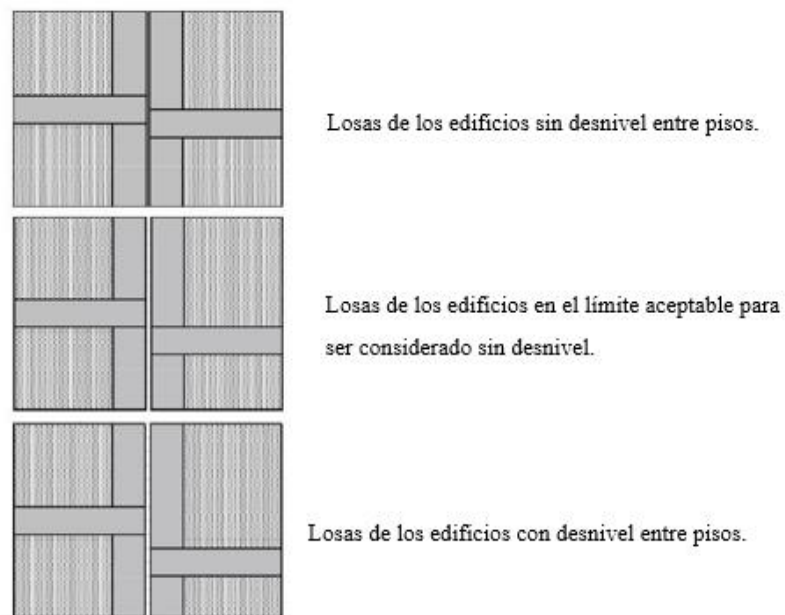


Figura 3.4: Explicación de los límites del desnivel de los pisos de los edificios adyacentes. Fuente: (Yakut, Erberik, Akkar, & Sucuoglu, 2012)

Para este parámetro, la clasificación de las clases de vulnerabilidad propuesta se presenta en la Tabla 3.10, en la que la elección de la ubicación del edificio se asigna a la clase inicial.

Tabla 3.10: Definición de la clase de vulnerabilidad del parámetro P2.

CLASE	LOCALIZACIÓN
A	Edificio de banda media
B	Edificio aislado
C	Edificio de gaveto
D	Edificio de banda extrema

La interacción de los edificios adyacentes será un factor de penalización de la clase de vulnerabilidad asignada anteriormente. Si el edificio en estudio se encuentra en una situación como se muestra en la Figura 3.4, se debe penalizar la clase de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente. Como ejemplo, un edificio de banda media tiene una clase inicial A. Sin embargo, si se encuentra entre dos edificios de diferentes alturas, su clase de vulnerabilidad debe pasar la clase C.

La penalización del desnivel de los pisos es aplicable sólo en los casos en que la clase de vulnerabilidad no sufra sanción en la interacción de los edificios adyacentes, de modo que se evita que la clase un edificio se sancione dos veces. En base a la Figura 47, si un edificio presenta una diferencia de altura de los pisos deberá ser penalizado en la disminución de un nivel de su clase de vulnerabilidad.

Parámetro P3 - Edad del edificio

En el parámetro P3 se debe tener en cuenta el año de construcción de los edificios, pues después del análisis de este criterio es posible percibir si en la elaboración del proyecto estructural hubo una consideración para el diseño sismo resistente.

Aspectos a evaluar:

- Consideración de la acción sísmica en el proyecto.
- Calidad de la construcción.
- Parcialmente abandonado.

La construcción de estructuras de hormigón armado en el Ecuador data a inicios de los años 60, basándose sus diseños estructurales en el código ecuatoriano de construcción vigente

a esa fecha creado en 1949 basado en el código UBC de California, cuya actualización se hizo en el año de 1977. (Jaramillo Guerra & Rocha Andino, 2013)

Cabe mencionar que el Ecuador hasta finales del siglo 20, no contaba con una norma de diseño sismo resistente y que la gran mayoría de construcciones no fueron diseñadas para resistir acciones sísmicas o por lo contrario fueron diseñadas en base a códigos extranjeros, tratando de simular y de considerar una acción sísmica sobre todo para las estructuras de mayor importancia.

En el año 2000 se reúne el Comité Técnico Regulador, realiza la primera zonificación sísmica para el territorio ecuatoriano, la cual forma parte del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC, emitido el 2001. (Jaramillo Guerra & Rocha Andino, 2013)

Por decreto ejecutivo del 24 de marzo del 2011, el MIDUVI y la Cámara de Comercio de Quito, firman un convenio para el desarrollo de una nueva norma de construcción a la cual se la denomina NEC11, la cual entra en vigencia y en rigor para todo el país en 2013, teniendo su última actualización en el año 2014 y entrando en vigencia el 2015 bajo el nombre de NEC15.

El parámetro P3 tiene como objetivo identificar cuál es el reglamento sísmico en que cada edificio analizado está contemplado, buscando evaluar de esta forma la resistencia sísmica. En la Tabla 3.11 se presentan las clases de vulnerabilidad sísmica establecidos para el parámetro P3.

Tabla 3.11: Definición de las clases de vulnerabilidad par el parámetro P3

CLASE	INTERVALO DE TIEMPO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO
A	Edificio construido despues 2011 - NEC 11
B	Edificio construido entre 2001 a 2011-CEC
C	Edificio construido con código extranjero antes del 2001
D	Edificio construido sin código sísmico

Otro factor que influye en el comportamiento sísmico de los edificios es la calidad de los materiales con que fue construido. Los detalles constructivos son fundamentales para garantizar la resistencia sísmica proyectada para los elementos estructurales, por lo que debe garantizarse (Bhatt, 2007)

- Alineación de armadura, espaciamiento bien orientado de las bandas o de los estribos y longitudes de amarre de armaduras longitudinales;
- Buena calidad de hormigón y cuidado en la aplicación en obra, garantizando así una buena capacidad de resistencia, así como adherencia necesaria a las armaduras;
- Adecuado confinamiento, sobre todo en las extremidades de las vigas y de los pilares, y correcto amarre de todos los elementos estructurales entre sí;
- Una correcta ejecución de las paredes de albañilería.

En el caso de ser identificado algunas anomalías mencionadas anteriormente, se deberá penalizar la clase previamente asignada en la Tabla 35 de acuerdo con los siguientes criterios:

- Si el edificio presenta buena calidad, la clase previamente asignada no sufrirá cambios;
- Si el edificio presenta una calidad regular, la clase previamente asignada sufrirá un nivel de penalización;
- Si el edificio presenta una baja calidad constructiva, la clase previamente asignada se penalizará en dos niveles.

En el caso de edificios que se encuentran parcialmente abandonados, es decir, que presentan signos evidentes de degradación / abandono, como en el caso presentado en la Figura 3.5, se deberá penalizar con la asignación de una clase debajo de la establecida inicialmente. (Silva, 2015)



Figura 3.5: Edificio parcialmente abandonado en la ciudad de Portoviejo.

Parámetro P4 - Irregularidad en planta.

Este parámetro evalúa la irregularidad en planta del edificio, la clase de vulnerabilidad se cuantifica a partir de las siguientes irregularidades en planta.

Aspectos a evaluar:

- Ubicación excéntrica del elevador
- La esbeltez del edificio, λ
- Configuración no compacta (Discontinuidades de piso, retrocesos en las esquinas)
- Ejes no paralelos o irregularidad torsional

Uno de los criterios es la ubicación excéntrica de la caja de ascensor, que tienen influencia directa en el comportamiento de la estructura debido a la rigidez de los elementos verticales. Además, para analizar la esbeltez en planta de las estructuras es necesario conocer las dimensiones de los edificios, otro criterio evalúa si las estructuras presentan una configuración compacta en planta y por último se analiza si la estructura presenta o no ejes estructurales no paralelos o irregularidad torsional, en este aspecto se adaptarán criterios de irregularidad en planta (NEC, 2015). El parámetro P4 evalúa la forma y disposición en planta del sistema resistente del edificio. La regularidad en planta es un aspecto que condiciona el desempeño estructural y, consecuentemente, la vulnerabilidad sísmica. Esta evaluación debe

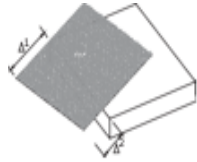
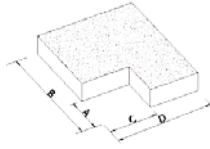
realizarse recurriendo a relaciones geométricas basadas en criterios de simetría de dimensiones del entorno en planta del edificio (Vicente, 2008)

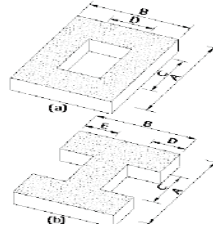
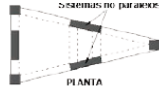
Se ha procedido a hacer una combinación de criterios entre los que menciona el (EC8, 2011) y la (NEC, 2015). para evaluar la irregularidad en planta de la estructura, además de adaptar aspectos a evaluar en función de los daños observados en estructuras, mencionados anteriormente en el capítulo 2.

Una estructura se considera como regular en planta, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad descritas en la Tabla 3.12 (NEC, 2015) y que además cumpla con los siguientes requerimientos.

- La configuración en planta es ideal cuando en un sistema estructural el centro de rigidez es semejante al centro de masas.
- Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente. (NEC, 2015)

Tabla 3.12: Tipologías de irregularidades en planta según (NEC, 2015)

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\Phi P_i = 0.9$ $\Delta > 1.2 ((\Delta_1 + \Delta_2)/2)$ Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsion accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\Phi P_i = 0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$ La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	

<p>Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso $\Phi_{Pi}=0.9$ a) $CxD > 0.5AxB$ b) $[CxD + CxE] > 0.5AxB$ La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\Phi_{Pi}=0.9$ La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto, la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

- Garantizar una forma compacta en planta, es decir, cada piso debe estar delimitado por una línea poligonal convexa (en lo que se refiere a la forma estructural en planta definida por los distintos elementos verticales, no contando, por ejemplo, con balcones en consola, si éstos existen), que, si hay reentradas o bordes recortados, éstas no deberán afectar la rigidez del piso en planta y el área entre la línea exterior del piso y la línea poligonal convexa no deberá exceder en el 5% del área del piso; (EC8, 2011) esto lo podemos asociar a las tipologías 2 y 3 de irregularidad en planta según (NEC, 2015).
- La esbeltez del edificio en planta, λ , deberá respetar la siguiente condición: $\lambda = L_{max.} / L_{min.} \leq 4$; En que, $L_{max.}$ - mayor dimensión en planta; $L_{min.}$ - menor tamaño en planta.

Según el análisis de los daños que sufrieron las estructuras de Portoviejo tras el sismo del 2016, se puede asociar la irregularidad torsional a la irregularidad en planta que significa la ausencia de columnas en las esquinas en los edificios en posición gaveto en la cuadra como se muestra en la Figura 3.6, en su mayoría de veces no consideradas por razones arquitectónicas.

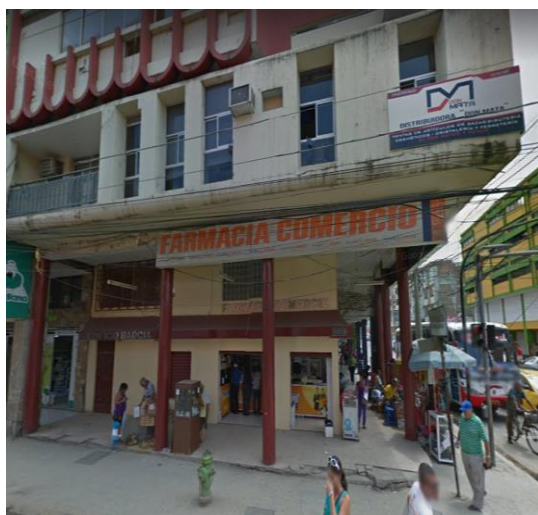


Figura 3.6: Edificio en posición Gaveto, sin columna en la esquina.

En el primer nivel, en el caso de haber una caja de ascensor o núcleo de escaleras se debe percibir si están ubicadas en el centro del edificio, pues son elementos de elevada rigidez, esenciales para la resistencia global del edificio a las acciones horizontales (Santos, 2011). A continuación, en la Tabla 3.13, se presenta la forma de cuantificar las irregularidades en planta para el parámetro P4 y las clases de vulnerabilidad atribuidas para cada una.

Tabla 3.13: Definición de las clases de vulnerabilidad par el parámetro P4

CLASE	IDENTIFICACIÓN DEL N° DE IRREGULARIDADES EN PLANTA EN EL EDIFICIO
A	Edificio sin cualquier irregularidad
B	Edificio con una fuente de irregularidad
C	Edificio con dos fuentes de irregularidad
D	Edificio con tres fuentes de irregularidad

Parámetro P5 - Irregularidad en altura

El presente parámetro evalúa los edificios en cuanto a su irregularidad en altura.

- Diferencia de altura entre pisos
- Distribución de masa y / o ejes verticales discontinuos
- Irregularidad geométrica (recuos) o mezzanine

El parámetro P5 analiza la diferencia entre masas y áreas de los pisos consecutivos, haciendo una evaluación rigurosa de la variación de la rigidez en altura. Los edificios que presentan una estructura en pórtico a nivel de la planta baja introducen una irregularidad estructural en relación a los pisos superiores. Según la (NEC, 2015), un edificio es irregular en altura cuando se cumplen los siguientes criterios:

- Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas. La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento (Ver Figura3.7).

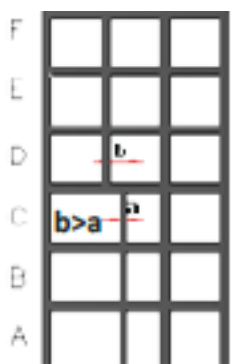
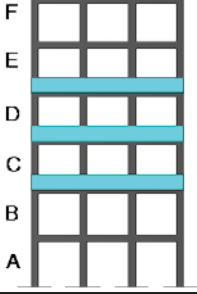
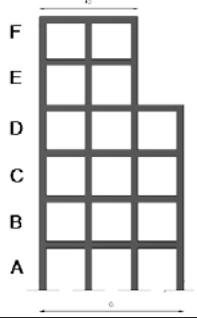


Figura 3.7: Estructura con ejes verticales discontinuos, según (NEC, 2015)

- Otros criterios que la (NEC, 2015) penaliza en la irregularidad de una edificación son las condiciones que se presentan en la Tabla 3.14

Tabla 3.14: Tipologías de irregularidades en elevación, según (NEC, 2015)

<p>Tipo 1 - Piso flexible $\Phi_{Pi} = 0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D $Rigidez < 0.8(K_D + K_E + K_F)/3$ La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
---	--

<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\Phi P_i = 0.9$ $M_D > 1.50 M_E$ ó $M_D > 1.50 M_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\Phi P_i = 0.9$</p> <p>$a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

La presencia de pisos de menor dimensión entre las plantas de las estructuras (mezzanines) y la interrupción de elementos de arrojamiento (vigas) y la implementación de columnas muy esbeltas en relación a la altura de las demás columnas del Sistema de un mismo piso, representan una alteración significativa en el comportamiento sísmico así como en la rigidez de la estructura, como se evidencio en el análisis efectuado en el capítulo 2 cerca de un 69% de las edificaciones estudiadas, presentaban mezzanines en su composición estructural, en la Figura 3.8 se observa un edificio con mezzanine y grandes voladizos en la Ciudad de Portoviejo.



Figura 3.8: Edificio con mezzanine en Portoviejo.

Para la elección de la clase de vulnerabilidad del edificio, primero se debe proceder a la visualización de la geometría del edificio, es decir, evaluar si éste presenta retrocesos o también mezzanines. En una primera evaluación, un edificio que no presenta ningún tipo de retroceso, se le atribuye la clase de vulnerabilidad A y en función que presente un determinado número de irregularidades en elevación descritas anteriormente se le atribuirán las clases de vulnerabilidad como se establece la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P5

CLASE	IDENTIFICACIÓN DEL N° DE IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN EN EL EDIFICIO
A	Edificio sin cualquier irregularidad
B	Edificio con una fuente de irregularidad
C	Edificio con dos fuentes de irregularidad
D	Edificio con tres fuentes de irregularidad

La existencia de pisos comerciales en la planta baja de los edificios, o de pisos técnicos, tiendas, oficinas en pisos superiores puede introducir cambios significativos en las secciones de los elementos resistentes de piso para caminar como se muestra en la Figura 3.9.

Las discontinuidades de las secciones de elementos estructurales como paredes resistentes y pilares introducen discontinuidades en la respuesta y agravan los esfuerzos en las zonas de transición. Las alteraciones de la altura de los pisos introducen discontinuidades en la rigidez de la estructura en altura.

Para penalizar la clase previamente asignada, si el edificio en análisis presenta alguna de estas situaciones, se debe elegir una clase de vulnerabilidad arriba, hasta el máximo de dos penalizaciones (Rodrigues, 2005)



Figura 3.9: Edificio con locales comerciales en planta baja en Portoviejo, Fuente: (Google maps)

Parámetro P6 - Existencia de mecanismo de Piso Blando (*soft-storey*)

En el parámetro P6 se estudia la posible formación de mecanismo tipo *soft-storey* en los edificios.

Aspectos a evaluar:

- Edificio con posible formación de mecanismo tipo *soft-storey*.

El mecanismo *soft-storey* está asociado a una irregularidad de rigidez o resistencia en altura, y en muchos casos introducida por la discontinuidad de los paneles de albañilería en altura. Este mecanismo ocurre generalmente en el piso de la planta baja por cuestiones arquitectónicas o para espacios reservados para función comercial. Este tipo de estructuras presenta su planta baja muy débil y flexible que las restantes plantas superiores, concentrando en ése las deformaciones debido a la acción sísmica (Romãozinho, 2008) Los pilares de la planta baja están sujetos a grandes desplazamientos horizontales entre sus extremidades, con efectos de segundo orden considerables que dictan muchas veces su rotura y el consiguiente colapso de los edificios. En la Figura 3.10 se presenta un edificio con graves daños en su

estructura el cual no presenta paredes de albañilería en su planta baja lo cual conlleva a la discontinuidad de rigidez en altura (Marques, 2012)



Figura 3.10: Edificio con presencia del mecanismo de piso blando en la Ciudad de Portoviejo

La clasificación propuesta para este parámetro, el cual presenta sólo con 2 clases de vulnerabilidad, se encuentra sintetizado en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P6

CLASE	IDENTIFICACIÓN DE MECANISMO SOFT- STOREY
A	Edificio sin mecanismo soft-storey
D	Edificio con mecanismo soft-storey

Parámetro P7 - Presencia de pilares cortos

En este parámetro es importante tener conocimiento de la existencia de pilares cortos en las estructuras, tanto en los pisos superiores como en la base de los edificios. Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.

Aspectos a evaluar:

- Edificio sin mecanismo tipo pilar corto.
- Edificio con posible mecanismo pilar corto en el piso superior del edificio.
- Edificio con posible mecanismo tipo Pilar corto en la base del edificio.

En muchos casos, las paredes de albañilería no completan totalmente la altura del piso, debido a las aberturas de las ventanas y las puertas, dejando una parte del pilar expuesta. Estas situaciones originan mayores esfuerzos de corte, potenciando mecanismos de rotura por corte de estos pilares, los mecanismos de pilar corto (*short column*) (Rodrigues, 2005) Esta condición conduce al aumento de la susceptibilidad al corte, durante la ocurrencia de un sismo severo. La pared de albañilería restringe la deformación lateral de la parte inferior de los pilares, lo que hace disminuir la altura útil disponible para absorber la diferencia de desplazamiento horizontal entre pisos y lleva a una gran concentración de esfuerzos de corte en estas zonas, como se muestra en la Figura 3.11 (Bhatt, 2007)



Figura 3.11: Edificación con mecanismo pilar corto en la base.

Para este parámetro la metodología propuesta presenta una clasificación mostrada en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P7

CLASE	IDENTIFICACIÓN DE PILARES CORTOS
A	Edificio que no presente pilares cortos
B	Edificio que presente posibles pilares cortos en uno de sus pisos superiores
C	Edificio que presente posibles pilares cortos en varios pisos o un edificio que presente pilares cortos en la base del edificio
D	El edificio presenta más que un pilar corto en pisos semi-enterrados capaces de crear un mecanismo de piso

Parámetro P8 - Otros elementos

Aspectos a evaluar:

- Parapetos.
- Acabados.

Este parámetro evalúa la influencia y los efectos negativos que tienen los elementos no estructurales de los edificios, como los parapetos, acabados vulnerables y balcones los cuales en un caso de fallar, pueden poner en situación de riesgo a las personas o agravar el nivel de daño en los elementos estructurales (EC8, 2011).

La definición de las clases de vulnerabilidad asociadas a este parámetro se expresa en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18: Definición de las clases de vulnerabilidad para el parámetro P8.

CLASE	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN EL EDIFICIO
A	Edificio sin elementos estructurales vulnerables
B	Edificio con parapetos en la cubierta o en las barandas
C	Edificios con acabados
D	Edificio con acabados y parapetos en la cubierta o en las barandas

3.3.3. Grado de confianza - Clasificación EMBA

Dado que existe un nivel de incertidumbre asociado a la elección de la clase de vulnerabilidad de cada parámetro en la definición del I_v , como consecuencia de la forma en que se realizaron las inspecciones, por no haber visto explícitamente determinados elementos, se estableció una clasificación para un grado de confianza, con el fin de asociar a cada parámetro evaluado una medida de la fiabilidad de la elección efectuada para la clase de vulnerabilidad.

En cada edificio y para cada parámetro se definió un indicador del grado de confianza en la asignación de la clase de vulnerabilidad. Para abordar la incertidumbre en la asignación de la clase de cada parámetro (por ejemplo, la falta de observación directa de un elemento o solución constructiva), se propuso una definición de cuatro niveles para el grado de confianza de la clasificación del parámetro (EMBA) la motivación de mejorar y controlar la calidad de los resultados del índice de vulnerabilidad:

E - Información de alta calidad: Información observada directamente o medida in-situ con apoyo de registros geométricos. Recurso a los sondeos de prospección;

M - Información de media calidad: Información oral fiable, conocimiento profundo de la construcción antigua local y tecnología constructiva, visualización de fotografías e información de situaciones similares;

B- Información de calidad mediocre: Información basada en la suposición, con un grado de certeza bajo, a veces de elección casual;

A-Ausencia de información: Elección aleatoria, pudiéndose fijar este grado de certeza, en la imposibilidad de evaluar un determinado parámetro, en todos los casos, arbitrando un valor indicativo. (Vicente, 2008). En la Tabla 3.19 se presenta, a título de ejemplo, una descripción general de los niveles del grado de confianza no adaptados específicamente para la evaluación de cada uno de los parámetros.

Tabla 3.19: Definición general de los cuatro grados de confianza

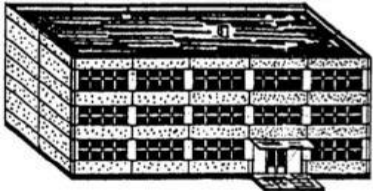
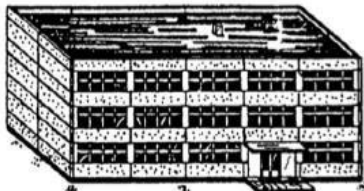
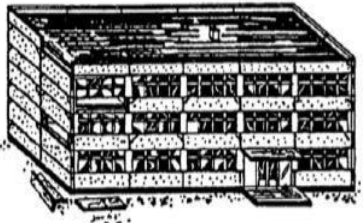
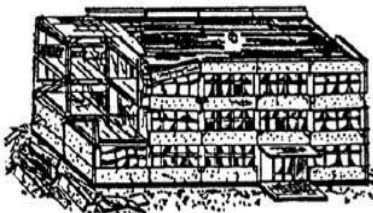

Grado de confianza	Nivel de información
E (Elevado)	Información de origen directo, es decir, a través de observación y mediciones in situ, implicando un conocimiento preciso de la geometría, materiales y soluciones constructivas del edificio. Incluye consulta de información escrita y piezas diseñadas del proyecto. Información con un grado de confianza cerca del exacto.
M (Medio)	Información apoyada en la evaluación indirecta por medio de: visualización de fotografías, consulta de información directa de situaciones análogas bien documentadas y cuantificadas, consulta de bibliografía de la especialidad, conocimiento de opiniones técnicas y de información oral creíble.
B (Bajo)	Imposibilidad de observación directa. Información basada en hipótesis cognoscitivas razonables de procedimientos comunes de diseño y ejecución, en lo que respecta a la época y región de la construcción, o basada en información oral no consensual. Estimaciones resultantes de la observación visual.
A (Ausente)	Información adoptada con un grado de incertidumbre cercano al de la elección casual. La asignación de la clase de parámetro es puramente indicativa.

3.3.4. Clasificación de los daños de edificios de hormigón armado

El modo en que un edificio se comporta ante una acción sísmica, depende en su mayoría a su tipología constructiva, debido a esto podemos observar diferentes grados de daño en los edificios de hormigón armado. En la Tabla 3.20, se puede observar la clasificación del grado

de daño para estructuras de hormigón armado establecida por la EMS-98. Cuando un edificio no presenta daños estructurales o presenta daños no estructurales leves se clasifica con grado de daño D1, mientras que la destrucción o daño estructural muy severo está clasificado como grado de daño D5.

Tabla 3.20: Clasificación del grado de daño en edificios de hormigón armado. Fuente: (Grünthal, 1998)

CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO	
	<p>Grado 1 – Sin daño o daño leve (sin daño estructural, daño no estructural leve)</p> <p>Grietas delgadas en el enlucido sobre miembros del marco o en la base de los muros.</p>
	<p>Grado 2 – Daño moderado (daño estructural leve, daño no estructural moderado)</p> <p>Grieta en columnas y vigas de marcos y en muros estructurales.</p> <p>Grietas en paredes interiores; caída de cubierta y enlucido quebradizo. Caída de mortero en uniones de paredes.</p>
	<p>Grado 3 – Daño substancial severo (daño estructural moderado, daño no estructural severo)</p> <p>Grietas en uniones de columnas y vigas en marcos, en la base y en las uniones de muros acoplados.</p> <p>Desprendimiento de cubierta de concreto, torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en paredes interiores.</p>
	<p>Grado 4 – Daño muy severo (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)</p> <p>Grandes grietas en elementos estructurales con falla a compresión del concreto y fractura de varillas de refuerzo</p> <p>Rotura de uniones de vigas reforzadas, inclinaciones de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior.</p>
	<p>Grado 5 – Destrucción (daño estructural muy severo)</p> <p>Colapso de planta baja o parte del edificio.</p>

3.4. Comentarios finales

En este capítulo se hizo una revisión literaria de varias metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica, de manera de justificar la elección de la metodología de evaluación basada en modelos simplificados desarrollada por (Silva, 2015), esta fue seleccionada porque tiene grandes ventajas respecto a las demás metodologías ya que permite realizar una evaluación rápida obteniendo resultados confiables a una gran escala, con recursos de información moderada, pudiéndose hacer visualmente o con la observación de fotografías; esta metodología permite el cálculo del I_v de un edificio y después asociarlo a un grado de daño estimado, permitiendo crear escenarios de daño a diferentes intensidades I de sismos.

Para un mejor análisis y comprensión de esta metodología se realizó una detallada explicación de los componentes principales como son los 8 parámetros de evaluación que relacionan distintos aspectos y propiedades de los edificios, a los cuales se les da una clasificación en función del peso según el grado de importancia y de influencia que este ejerza sobre el edificio.

Cabe indicar que a manera de calibración de los parámetros de esta metodología y con el objetivo de obtener un elevado nivel de eficiencia en los resultados alcanzados, se hizo una adaptación de los parámetros P1, P3, P4, P5, conforme con la norma (NEC 15), también se asociaron los resultados obtenidos en el capítulo 2, sobre el análisis de los principales daños sufridos por las estructuras en Portoviejo en el sismo del 2016, factores que son importantes y que están directamente relacionados al comportamiento sísmico de las estructuras de la zona a estudiar así como también a otros elementos como la tipología de construcción, edad del edificio, posición en la cuadra de demás parámetros que se pudieron asociar satisfactoriamente a los parámetros de evaluación de la metodología escogida.

La implementación de los grados de confianza o clasificación EMBA es de mucha importancia ya que este parámetro nos permite considerar en la evaluación en forma de penalización, la calidad de información obtenida y utilizada en cada parámetro; en este capítulo también se describieron los 5 grados de daños que pueden presentar una estructura post sismo, según la clasificación de la (EMS-98).

4.Caso de estudio: Aplicación al centro histórico de la Ciudad de Portoviejo

En este capítulo se hace referencia a la zona de aplicación de la metodología escogida y descrita en el capítulo 3.

El centro histórico de la ciudad de Portoviejo en Manabí, Ecuador, es la zona idónea para la aplicación de esta metodología ya que en ella se pueden conjugar todos los aspectos y características que se consideran en los 8 parámetros de esta metodología además de ser el área con mayor afectación y destrucción que dejó el sismo del 16 de abril de 2016.

Ya en el capítulo 2 en su sección 2.1 presentada anteriormente se realizó una descripción y explicación sobre de los orígenes y fundación de la ciudad de Portoviejo, su desenvolvimiento urbano y su tipología de construcción a través de los siglos. A continuación, se presenta una descripción acerca de la zona de estudio de esta disertación.

4.1.Centro Histórico de Portoviejo

Según lo que se demuestra en documentos históricos y a lo plasmado en diversas obras de historiadores que coinciden, que desde su ultimo traslado de ubicación posterior a su fundación, la ciudad se acento en lo que hoy es la calle Colón, y abarcó desde sus inicios las actuales calles Rocafuerte, Olmedo, Bolívar, Sucre y Córdova. Fue en esta conjugación de calles que se agruparon las casas y los edificios administrativos frente al trazo de la Plaza de Armas, allí surgió lo que hoy es la urbe capitalina de Portoviejo. (Molina Garcia, 2004)

La ciudad siguió su expansión a lo largo de los siglos, teniendo siempre como punto referencial de su crecimiento a la zona donde por el año 1565 se establecieron las primeras edificaciones y vías de comunicación, expandiéndose a los largo y ancho de la superficie del valle que rodea a la ciudad.

En 1884, por orden del Supremo Gobierno, se requiere al consejo municipal, que a las calles de la ciudad se le impongan nombres, de preferencia de nuestros hombres celebres o de fechas gloriosas. Es así como se denomina a las calles laterales: Colón, Bolívar, Sucre, Córdova, Santander y Quiroga. A las calles verticales: Rocafuerte, Mejía, Morales, Olmedo,

Ricaurte, Orden, La Libertad y Pacheco. (Molina Cedeño, 2009). El desarrollo urbano, los fenómenos naturales como terremotos, incendios e inundaciones así como el paso del tiempo, permitieron una dinámica constructiva de edificaciones nuevas y reconstruidas, esto no ha permitido sectorizar la ciudad en zonas de antigüedad. Sin embargo, Portoviejo cuenta con 52 edificaciones consideradas patrimoniales por Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) (El Diario Manbita, 2017)

La mayoría están ubicadas dentro del área que forman las calles pioneras de la ciudad. Esta zona se consolidó sobre todo para el siglo XIX, como el centro financiero, institucional, educativo, cultural y burocrático de la ciudad, que por generaciones se ha denominado como “El Centro”, en el cual edificaron sus establecimientos instituciones públicas como el Municipio, Gobernación, Prefectura, principales entidades Bancarias, Iglesias, escuelas etc., todas situadas en las manzanas que circundan la antigua Plaza de Armas, hoy el Parque Vicente Amador Flor, o mejor conocido como Parque Central. La división política de la ciudad denomina a esta zona como “Barrio Centro”, y se ubica en la parroquia Portoviejo.

Este barrio se lo conoce popularmente como centro histórico, porque fue donde antiguamente nació la urbe, además por la influencia económica, política, institucional, comercial que representa y por los vestigios de historia que aún conserva en varias edificaciones coloniales y patrimoniales.

En la Figura 4.1 se puede observar la delimitación de varios barrios de la ciudad de Portoviejo incluido el “Barrio Centro” considerado como centro histórico de la ciudad.

En la actualidad se está llevando a cabo la ejecución de la regeneración urbana del centro histórico de Portoviejo, donde se pretende recuperar espacios de movilidad para peatones y mejorar la circulación vehicular. En la Figura 4.2 se observa una representación un de como quedara el centro histórico de Portoviejo una vez concluida la regeneración urbana.

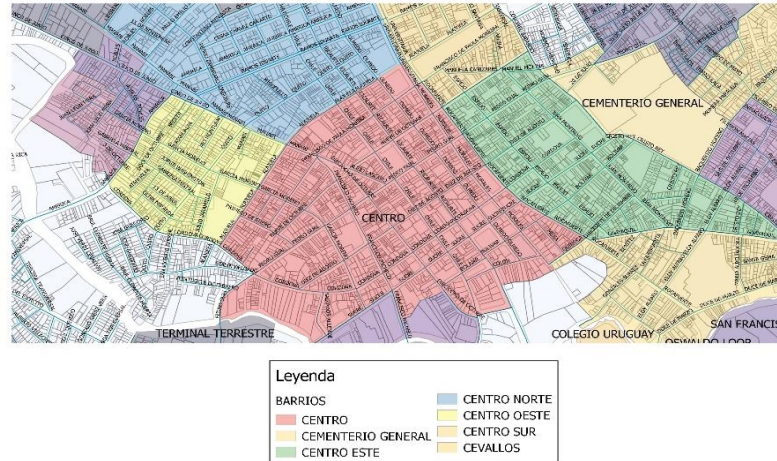


Figura 4.1: Barrio Centro de Portoviejo-



Figura 4.2: Render de la regeneración urbana del centro histórico de Portoviejo, intersección de las calles Colon y Ricaurte;
Fuente: (GAD de Portoviejo, 2017)

4.2. Delimitación del área de estudio

Debido a la gran extensión que tiene el barrio centro de la ciudad de Portoviejo, denominado centro histórico de la ciudad, se ha optado por realizar la selección de una microzona del lugar de estudio no solo respaldada en datos históricos recogidas en obras de varios historiadores sino en importancia de edificaciones que ahí se emplazan.

Esta área está compuesta por el polígono que forman la confluencia de las calles Rocafuerte, Quiroga, Colon, 18 de octubre y 10 de agosto, del barrio “centro” de la ciudad que se presenta en la Figura 4.3, la cual tiene una superficie de 12.1 Ha, 20 manzanas y

aproximadamente en la actualidad 230 edificaciones de varias tipologías y materiales de construcción como lo son las descritas en el Capítulo 2.



Figura 4.3: Delimitación de la zona de estudio, centro histórico de Portoviejo

4.2.1. Nivel de afectación post sismo

El área delimitada la ejecución de la evaluación de vulnerabilidad sísmica, sufrió una importante depresión del valor urbanístico y de infraestructura debido al sismo del 2016, (GAD de Portoviejo, 2017) aproximadamente 50 edificaciones tuvieron una afectación importante clasificadas en posible colapso y colapso total, de estas edificaciones su mayoría fueron derrocadas.

En la Figura 4.4 se muestra la representación de una serie de evaluaciones post sismo realizadas por el municipio y otras entidades públicas y privadas.



Figura 4.4: Evaluación de daños por efectos del sismo del 16 de abril del 2016, en la zona de estudio.

4.3. Selección de los edificios a evaluar

La metodología adoptada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, es una metodología de aplicación rápida cuyos parámetros están pre definidos para evaluar los aspectos y características exclusivamente de edificios de hormigón armado, por tales motivos se procedió a realizar una selección de estos edificios, haciendo una inspección visual detallada a cada edificio, logrando así obtener una muestra de 110 edificios de hormigón armado los cuales se muestran en la Figura 4.5, a los cuales se les aplicara la metodóloga de evaluación detallada anteriormente.

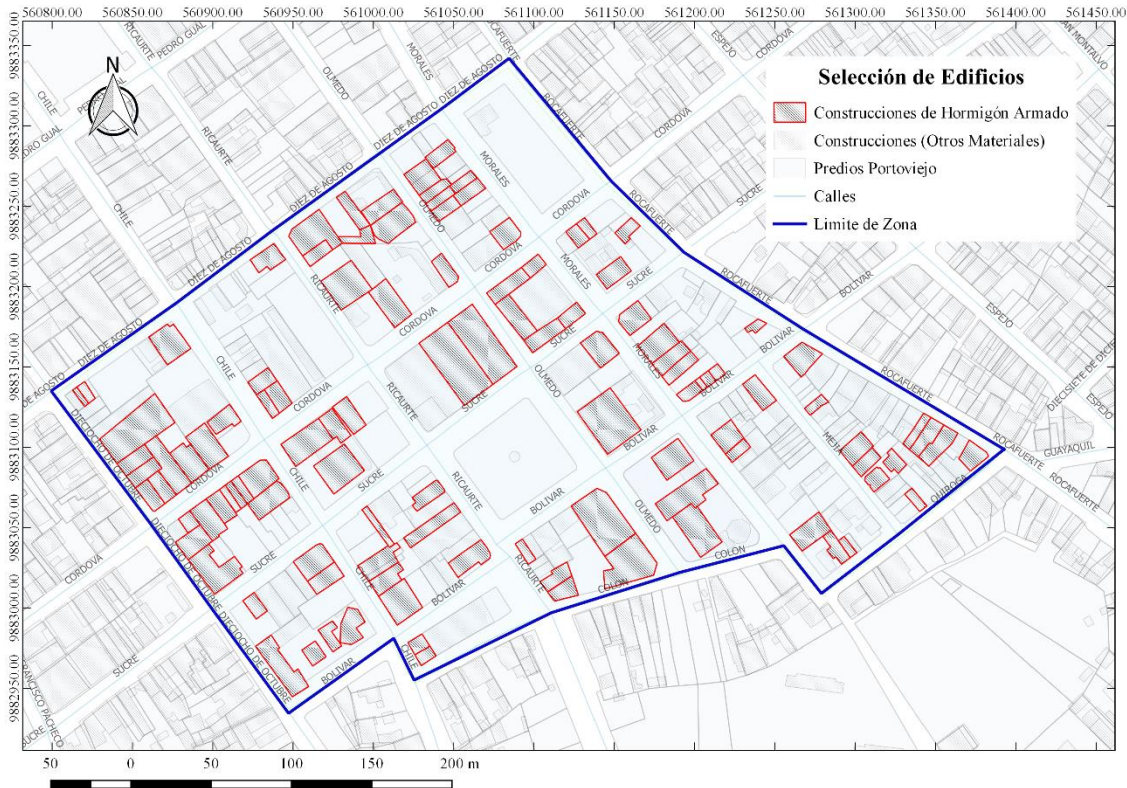


Figura 4.5: Selección de los edificios de Hormigón Armado para la aplicación de la metodología adoptada.

4.3.1. Estado de los edificios

Previa la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de hormigón armado en la zona escogida, fue de fundamental importancia conocer el estado de conservación de la estructura en que se encuentran los 110 edificios escogidos.

Según (GAD de Portoviejo, 2017), en esta zona el mayor porcentaje de edificaciones se encuentra en buen estado, con 80 edificaciones que equivalen al 72.7%, seguido de 27 edificios en estado regular equivalente al 24.5% y por último 3 edificaciones en estado malo ósea el 2.7% de las estructuras.

Es preciso mencionar que esta clasificación se basa en datos netamente catastrales registrados en el municipio de Portoviejo, el cual sirvió de base para realizar un análisis previo. En la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios para la determinación del estado de conservación, se tomarán en cuenta el criterio profesional del evaluador conforme a lo que se visualice in situ en el momento de la evaluación de cada edificio. En

la Figura 4.6 e muestra la clasificación de los estados de conservación de las estructuras escogidas, según datos catastrales.



Figura 4.6: Clasificación del estado de conservación de las edificaciones, según datos catastrales.

4.3.2. Edad de los edificios.

Conocer el año de construcción de los edificios es un parámetro que está ligado directamente a la utilización de normas sismo resistentes o la no consideración de los mismos, como se mencionó en capítulos anteriores el Ecuador no conto con norma sisma hasta el año 2001, además de tener relación directa con el estado de conservación de las estructuras.

Para (GAD de Portoviejo, 2017) cuenta con información muy cualitativa sobre los periodos y años en que se realizaron las construcciones, se ha logrado establecer que las décadas con mayor ejecución de obras de los edificios existentes en la zona de estudio son de los años 80 y 90 con 32 y 39 edificaciones formando un total equivalente al 64.5% de las 110 edificaciones de la muestra. En la Figura 4.7 se puede observar la clasificación de los edificios según la edad de los edificios en función de información catastral.

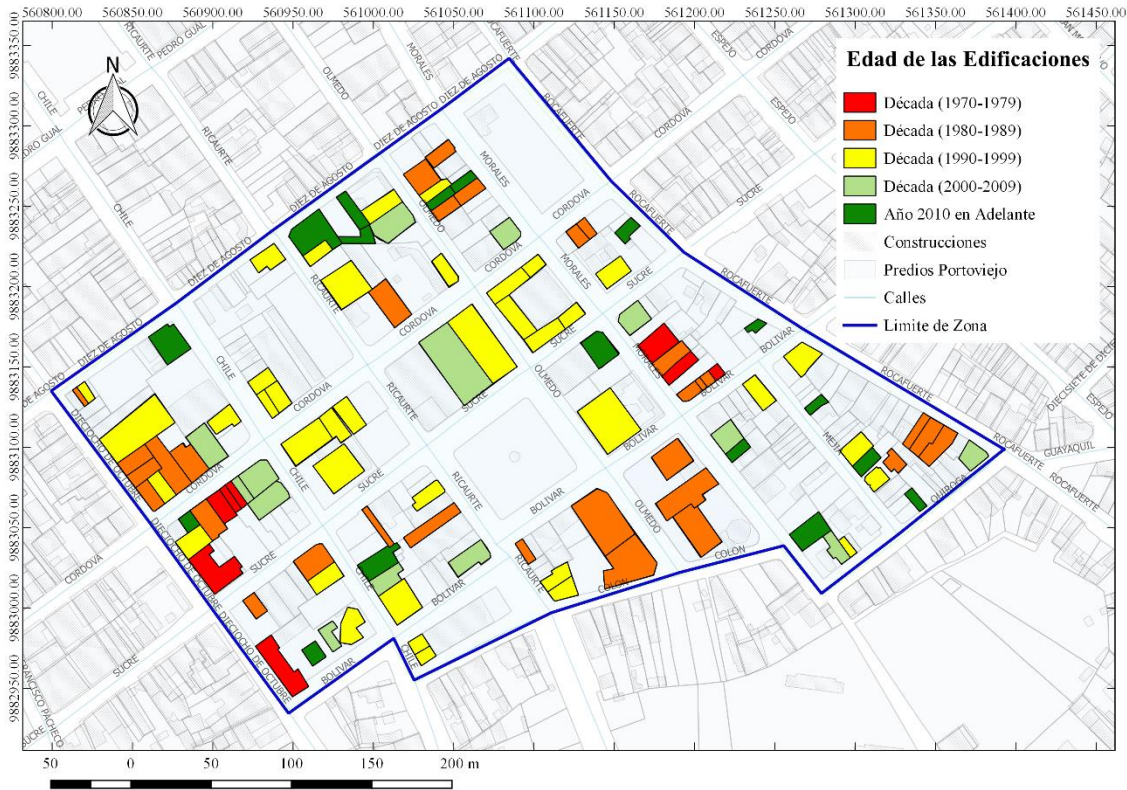


Figura 4.7: Clasificación de los edificios según el año de construcción, en función de información catastral.

4.3.3. Altura de los edificios

La zona escogida para el estudio es el área históricamente más representativa de Portoviejo, aquí existe la confluencia de las diferentes actividades de orden político, institucional público y privado, económica, comercial, salud, educación, recreación y vivienda, por lo cual se convierte en una zona de gran consolidación urbana, pese a ser muy afectada por el sismo del 2016, sigue contando con un gran número de edificaciones importantes donde predominan las edificaciones de 2 a 4 pisos con un total de 84 edificios que equivale a un 79% de las 110 edificaciones de la muestra.

En la Figura 4.8 se hace una representación de los edificios de la zona de estudio según su número de pisos, basándose en información registrada en el catastro municipal.



Figura 4.8: Clasificación de los edificios según su número de pisos, basado en datos catastrales.

4.4. Comentarios Finales

En el desarrollo del presente capítulo se hizo una presentación del área de estudio donde se ejecutará la aplicación de la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica adoptada. Para estos fines es muy importante contar con un amplio conocimiento de esta área, su composición y desarrollo urbanístico, así como sus características constructivas y de materiales empleados en las edificaciones que aquí se emplazan.

Es necesario mencionar que esta área escogida fue parte de la superficie declarada en el 2016 por las autoridades de la ciudad y del país; y denominada “zona cero” debido al alto porcentaje de destrucción que sufrieron las estructuras de esta zona por efectos del terremoto acontecido el 16 de abril de ese año, por tales motivos esta zona es adecuada para realizar este tipo de estudio ya que permite obtener no solo resultados confiables sino que permite la entrega de un producto de mucha importancia para la toma de soluciones prácticas en la

mitigación de la vulnerabilidad sísmica en centros poblados así como el riesgo sísmico de la ciudad.

Esta zona de estudio cuenta con una superficie de aproximadamente 12.1 Ha, constituidas por 20 manzanas y alrededor de 230 edificaciones de distintas características constructivas.

Como esta metodología tiene como finalidad evaluar edificaciones construidas en hormigón armado, se procedió a realizar una selección minuciosa obteniendo una muestra de 110 edificaciones correspondiente al 47.8% del total de los edificios existentes, además se logró hacer un pormenorizado fotográfico de cada edificio y el levantamiento de la información necesaria para así contar con elementos precisos que permitan elevar la calidad de resultados obtenidos.

Se logró identificar las principales características de estos 110 edificios y realizar una evaluación previa acerca del estado de conservación que tienen donde se obtuvo en base a información catastral que el 72.7% de los edificios se consideran en estado bueno, cabe mencionar que en el momento de la evaluación esta consideración puede cambiar según las consideraciones que tenga en cuenta el evaluador.

Otra característica que se analizó es la edad de la muestra de edificios donde se obtuvo que el 64.5% de las edificaciones se construyeron entre los años 1980 -1999, este parámetro será de gran importancia para la posterior evaluación de vulnerabilidad sísmica.

Por último, se determinó la altura de los edificios de la muestra siendo en su mayoría edificios entre 2 y 4 pisos equivalente al 79% del total de edificios.

En el capítulo siguiente se presentan los resultados obtenidos a través de la aplicación de la metodología basada en modelos simplificados para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificios de hormigón armado.

5.Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado en la zona de estudio

En este capítulo se pretende la aplicación de la metodología de evaluación propuesta por (Silva,2015) adaptada a las normas ecuatorianas, previamente a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado en la zona escogida del centro histórico de Portoviejo, se ejecutó un levantamiento de información cualitativa y cuantitativa sobre los edificios, para poder obtener resultados confiables como el índice de vulnerabilidad sísmica I_v , obtenido mediante la valoración de los parámetros establecidos en las fichas de evaluación de la metodología (ver Anexo 2), realizada para cada uno de los 110 edificios de la muestra. A continuación, se presentará los resultados obtenidos de esta evaluación de vulnerabilidad sísmica y demás parámetros necesarios para la creación de escenarios de posibles daños de las estructuras ante la ocurrencia de sismos.

5.1.Clasificación de los parámetros

A continuación, se presenta los resultados para cada uno de los 8 parámetros que componen la metodología de evaluación sísmica basada en modelos simplificados (Silva, 2015), aplicada al área escogida del centro histórico de Portoviejo.

5.1.1.Parámetro P1: Implantación del edificio

Para obtener un buen desempeño en el análisis de este parámetro es necesario conocer el tipo de suelo sobre el cual se cimentan las estructuras analizadas en esta disertación. La (NEC, 2015), clasifica a los suelos en 6 tipos de suelo desde el suelo tipo A al suelo tipo F.

Es necesario indicar que para la evaluación de este parámetro se contó con información de alto nivel de confianza ya que la ciudad cuenta con estudios de microzonación sísmica y caracterización de suelos posterior al terremoto del 2016, este estudio clasifica a la ciudad

en 6 microzonas según sus características sísmica y de suelo, como se muestra en la figura 5.1 la zona delimitada para el estudio se encuentra bajo la influencia de dos microzonas.

La microzona M4 se refiere a un perfil de suelo blando, $225 < V_{s30} < 180$ (m/s), con un moderado potencial de licuación, la otra microzona que se establece en la zona de estudio es la microzona M5, la cual se refiere a un suelo muy blando, $V_{s30} < 180$ (m/s), con moderado potencial de licuación (EPN, 2017).

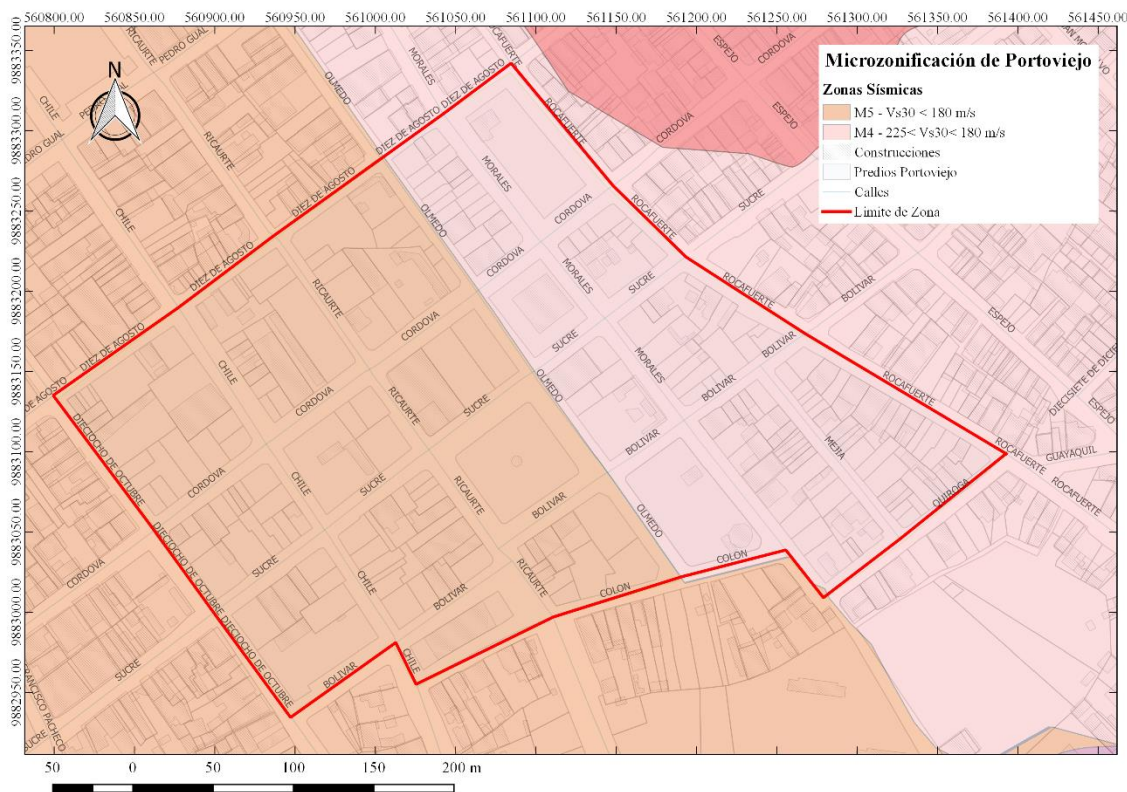


Figura 5.1: Microzonas sísmicas que influyen el área de estudio en el centro histórico de Portoviejo.

Se realizó una comparación de estas dos microzonas que influyen la zona de estudio con la clasificación de suelos de la norma (NEC, 2015) y se determinó que las características de suelo de la microzona M4 se asemejan a la clasificación de suelo tipo D y las características de suelo de la microzona M5 cumplen para las condiciones del suelo tipo E.

Según la metodología de evaluación sísmica empleada en este estudio estos tipos de suelos se pueden establecer como clase de vulnerabilidad C, para el parámetro P1, como se muestra en la Figura 5.2, ya que las edificaciones en su totalidad se encuentran sobre terreno plano.

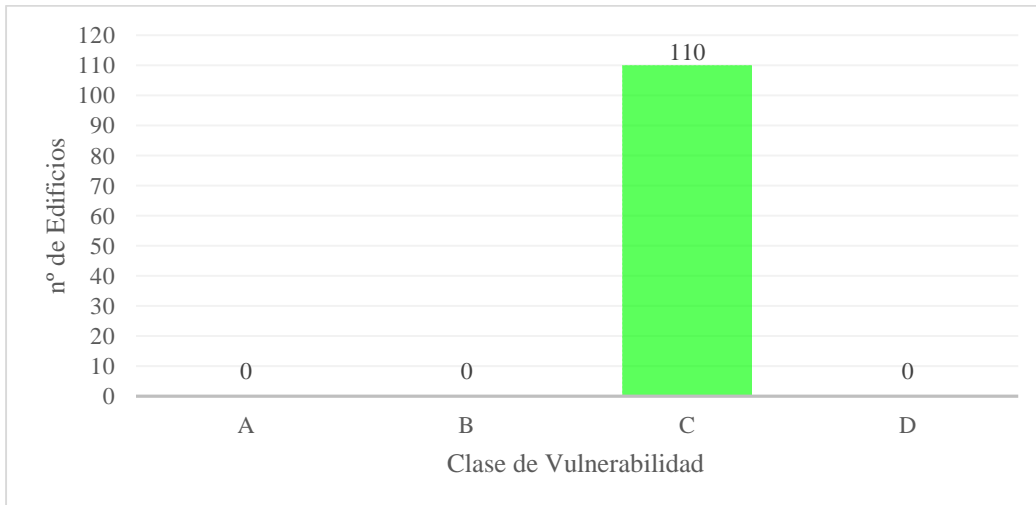


Figura 5.2: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P1.

5.1.2. Parámetro P2: Posición del edificio en el contexto urbano

Este parámetro evalúa la posición que tiene el edificio en la cuadra y la interacción que tiene con otros edificios vecinos.

En la figura 5.3, se presentan la clasificación de los edificios según su clase de vulnerabilidad, se puede apreciar que el 36% ósea 40 edificios, se encuentran en una condición aislada, esto en gran parte se debe a que esta zona fue severamente afectada por el sismo del 2016, por lo cual muchas edificaciones tuvieron que ser demolidas, seguido por la condición de gaveto con 32 edificaciones y banda extrema con 31 edificios, por último la condición de posición en la cuadra menos representada es la de banda media con apenas 7 edificios.

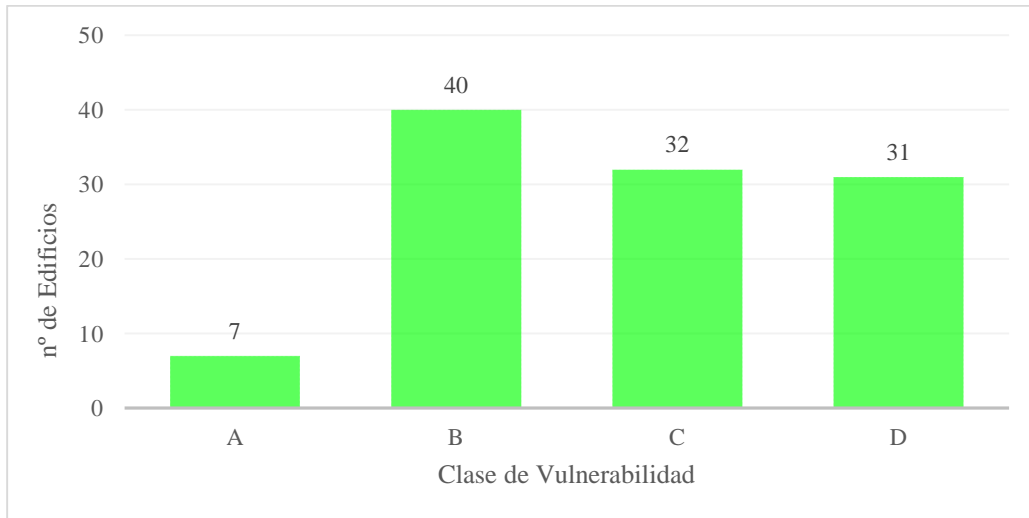


Figura 5.3: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P2

5.1.3. Parámetro P3: Edad del edificio

Para el análisis del parámetro P3 la edad de construcción que tienen los edificios evaluados, se contó con información obtenida de varias fuentes de mucha confianza, como son la base de datos de la Dirección de Avalúos y Catastro del municipio de Portoviejo, así como consultas hechas directamente a los propietarios de los edificios en el momento de la evaluación para así, asociarlos a una determinada norma sísmica atribuida a la época de construcción.

Este parámetro no solo evalúa la edad del edificio, sino que también el estado de conservación de las estructuras, por tales razones se hizo una inspección visual en la mayoría de las edificaciones para identificar fallas o degradaciones y así penalizar la clase de vulnerabilidad del parámetro dada inicialmente por el año de construcción. Así se logró obtener que al 76% equivalente a 84 edificaciones se le atribuyo la clases de vulnerabilidad C y D, ya que fueron construidas entre los años 1970-2000, con la implementación de un código extranjero o sin la consideración del mismo, por lo que el Ecuador implementó su primera norma sísmica a partir del año 2001, con esto se puede mencionar que solo un 24% equivalente a 26 edificaciones tienen una clase de vulnerabilidad A y B, se encuentran hipotéticamente construidas con norma sísmica ecuatoriana ya que para la construcción de estructuras antes del sismo del 2016, no se exigían con rigor por parte de las autoridades de control, que las edificaciones cumplan con los códigos de construcción vigentes.

En la Figura 5.4 se presenta el resultado de las clases de vulnerabilidad obtenida para el parámetro P3.

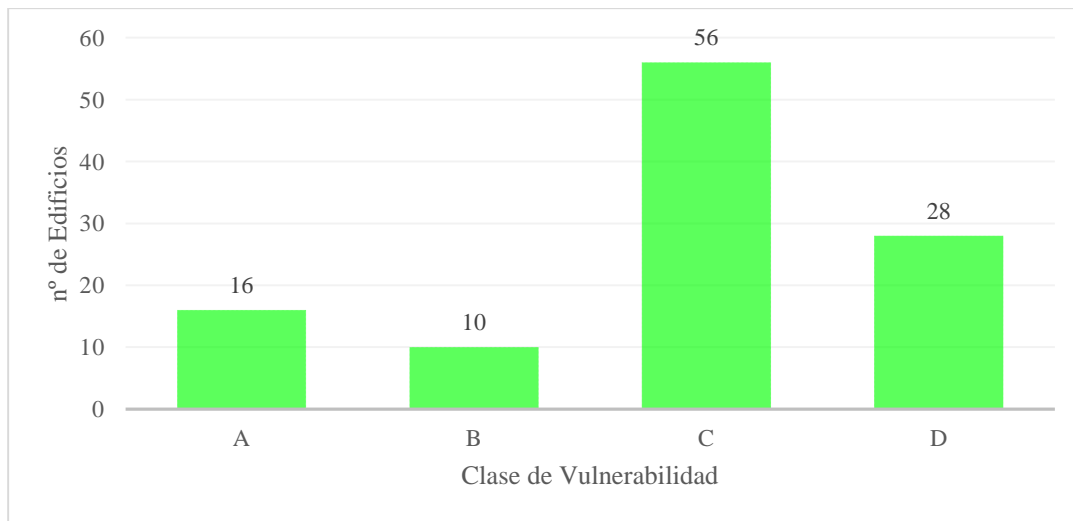


Figura 5.4: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P3.

5.1.4. Parámetro P4: Irregularidad en planta

La evaluación de este parámetro comprende varios criterios de análisis como son la esbelteza del edificio que relaciona el lado mayor del edificio con el lado menor limitándose que esta relación no sea mayor a 4, para medir este ítem se implementó herramientas de Sistema de información geográfica GIS así como ortofotografías, otro criterio fundamental en la evaluación de la irregularidad en planta fue la existencia excéntrica de ductos de elevadores, como la evaluación fue hecha en forma física y visual con el apoyo de herramientas GIS y datos catastrales, se logró en su mayoría identificar los edificios que cuentan con ductos de elevador, dando un cierto grado de confianza a este ítem evaluado, otro criterio de evaluación fue analizar si la edificación es compacta, aquí se analizaron si la estructura tiene retrocesos y volados en el piso así como ductos, por último se evaluó la presencia de ejes ortogonales no paralelos en los edificios o la ausencia de elementos estructurales (sobre todo columnas en las esquinas) que puedan generar un mal comportamiento sísmico de la estructura.

En base al análisis de estos ítems en los edificios, se pudo clasificar el parámetro P5 por la presencia de fuentes de irregularidad. Es así que en la figura 5.5 se muestra que el 5% equivalente a 6 edificios de la muestra estudiada no presenta fuentes de irregularidad en

planta a la cual se le atribuyo la clase de vulnerabilidad A, el 67% ósea 74 edificios tienen al menos una fuente de irregularidad en planta a la cual se le atribuye la clase B, el 27% equivalente a 30 edificios tiene dos fuentes de irregularidad clasificada como clase C y ningún edificio presenta tres o más fuentes de irregularidad en planta.

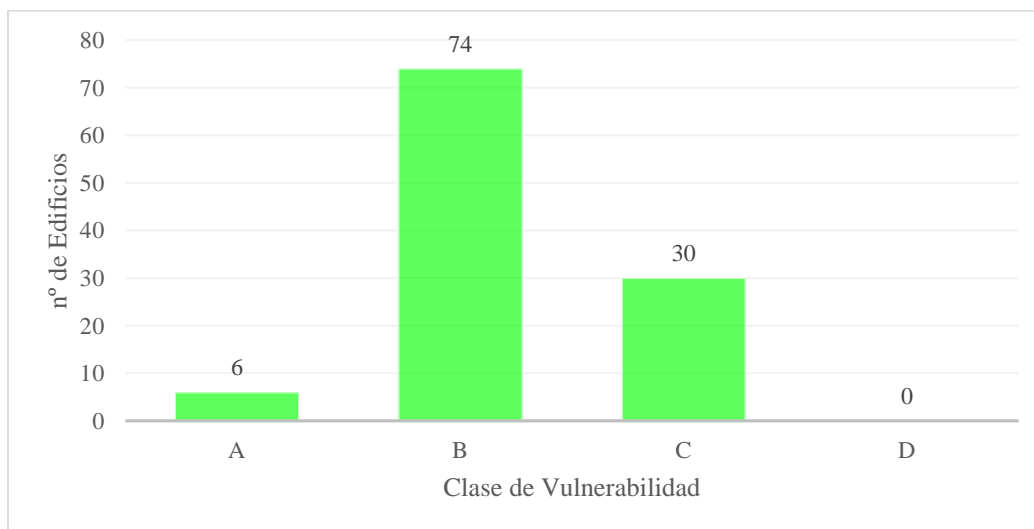


Figura 5.5: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P4.

5.1.5. Parámetro P5: Irregularidad en altura

Al igual que el parámetro anterior, el parámetro P5 evalúa las irregularidades geométricas que tiene la estructura en este caso las irregularidades en altura o elevación, aquí se evalúan ciertos criterios como son la diferencia de altura entre los pisos de las edificaciones, otro ítem estudiado es la diferencia de masas entre los pisos así como la discontinuidad en los ejes verticales de la estructura, por últimos evaluó la presencia de pisos de menores dimensiones al piso inferior (recuos) o también a la presencia de pisos de menor superficie entre la planta baja y el primer piso conocidos como mezzanines.

Un factor fundamental que se incluyó como penalización en el análisis de las irregularidades en elevación fue a la presencia de locales comerciales, oficinas de negocios y demás actividades que se realizan sobre todo en la planta baja de los edificios, ya que por la condición de uso del edificio en la mayoría de los casos las plantas bajas presentan un área reducida y pocas paredes que rigidicen la estructura, influyendo directamente en la concentración de esfuerzos en zonas de transición.

En la Figura 5.6 se puede observar la clasificación obtenida para este parámetro donde se establece que el 57% que equivale a 63 edificios de la muestra estudiada tienen por lo menos dos fuentes de irregularidad en altura atribuida la clase de vulnerabilidad C, 27 edificios que representan el 25% de la muestra se cataloga con una clase de vulnerabilidad D ya que se le atribuyo por tener tres o más fuentes de irregularidad en altura, 16 edificios fueron clasificados con una vulnerabilidad clase B ya que contaban apenas con una fuente de vulnerabilidad y solamente 4 edificios de 110 estudiados no presentaron ninguna fuente de irregularidad en altura.

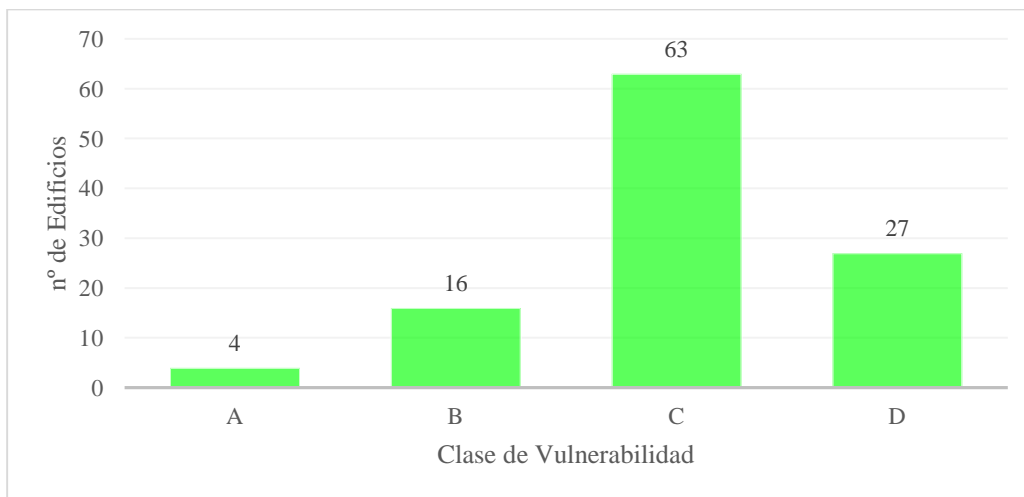


Figura 5.6: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P5.

5.1.6. Parámetro P6: Existencia de mecanismo “soft-storey”

La evaluación del parámetro P6, el cual toma en consideración la variación de rigidez que genera en muchos casos la disposición de mampostería o elementos estructurales de uno o varios pisos respecto a los demás pisos de la estructura, lo cual hace que el piso sea más vulnerable a desplazamientos horizontales y más frágil que los demás pisos; la zona en estudio se caracteriza por ser en casi su totalidad una zona comercial además existe una ordenanza municipal de carácter urbanístico que condiciona a todos los edificios a construirse con soportales que son la ausencia de paredes en las plantas bajas de los edificios para facilitar el paso peatonal delimitado por una línea de fábrica establecida.

La presencia de soportales en combinación con el funcionamiento de comercios y oficinas tanto en planta baja como en pisos superiores generan en su mayoría la presencia del mecanismo “*soft storey*” o piso blando en las estructuras, para este parámetro solo se han considerado la clase de vulnerabilidad A y D debido a que se considera la presencia o no del mecanismo de piso blando.

En la Figura 5.7 se observa la clasificación obtenida para los edificios estudiados, teniendo como resultado que un 91% de la muestra equivalente a 100 edificios cuentan con una clase de vulnerabilidad D y apenas el 9% ósea 10 edificios se clasifican con una vulnerabilidad A.

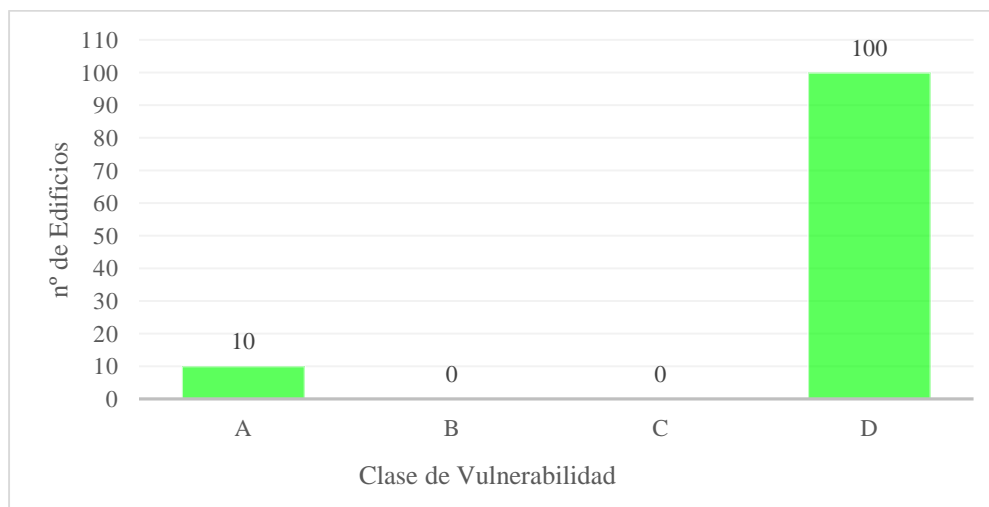


Figura 5.7: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P6.

5.1.7. Presencia de pilares cortos

En la Figura 5.8 se presentan las clases de vulnerabilidad obtenidas para el parámetro P7 que evalúa la posibilidad de formación de mecanismo de falla por corte denominado pilar corto en las estructuras que fueron sometidas a estudio. Se puede apreciar que el 77% de la muestra equivalente a 85 edificios no presentan características que deriven en este mecanismo de falla ante un sismo, a la cual se le ha atribuido la clase de vulnerabilidad A, y que el restante 23% ósea 25 edificios si presentan posibles mecanismos de falla tipo pilar corto, clasificados en 23 edificios con clase B, 1 edificio con clase de vulnerabilidad C y 1 edificio con clase de vulnerabilidad D.

Según (Aguiar & Miele, 2016), el daño con mayor proporción observado en las estructuras por efectos del sismo del 16 de abril del 2016, es el de columna corta, producido por mampostería que se construyeron integradas a la columna.

Podemos comparar estos resultados y asociarlos exitosamente, ya que la zona donde se implantan las estructuras del estudio fue donde se evidenció el mayor número de edificios colapsados y estructuras gravemente dañadas, alrededor de 50 edificios, a esto se debe que el 77% de las estructuras existentes en la actualidad, las cuales no sufrieron graves daños, no cuenten con este mecanismo de falla tipo pilar corto.

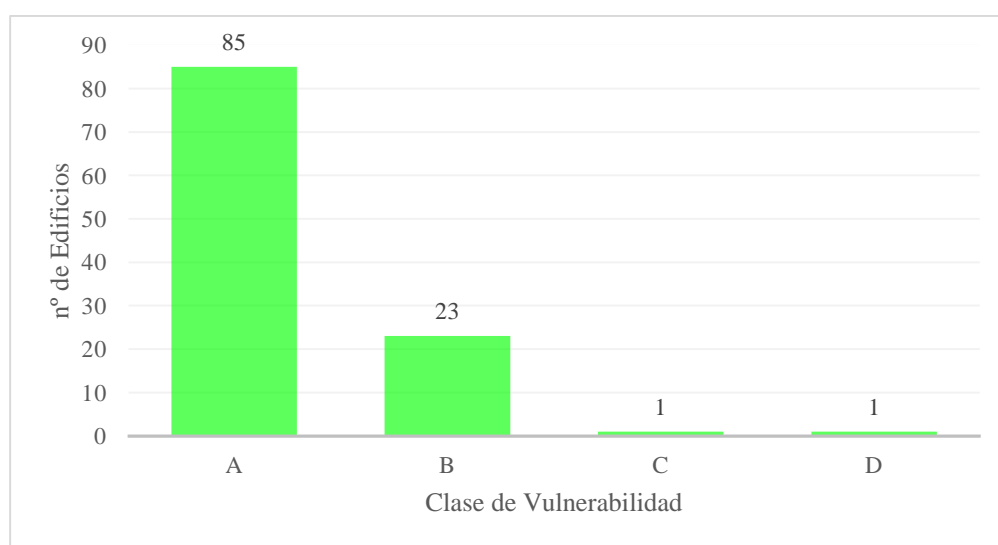


Figura 5.8: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P7.

5.1.8.Otros elementos.

En la figura 5.9 se presenta las clases de vulnerabilidad que se obtuvieron para el parámetro P8, que evalúa la presencia de elementos no estructurales que son vulnerables a desprendimientos de los mismos cuando ocurre un sismo.

Se pudo determinar que la clase de vulnerabilidad que predomina en el estudio es la B con un 48% que equivale a 53 edificios que presentan elementos como parapetos en cubiertas o en barandas, 34 edificios no presentan ningún tipo de elementos no estructurales vulnerables a los cuales se le asignó una clase de vulnerabilidad A; 19 edificios con una clase de vulnerabilidad C asociada a la presencia de elementos de acabados sobre todo en fachadas y grandes ventanas de vidrio y por ultimo apenas 4 edificios presentaron una clase de

vulnerabilidad D, que se estima como la presencia de parapetos y acabados vulnerables en la estructura.

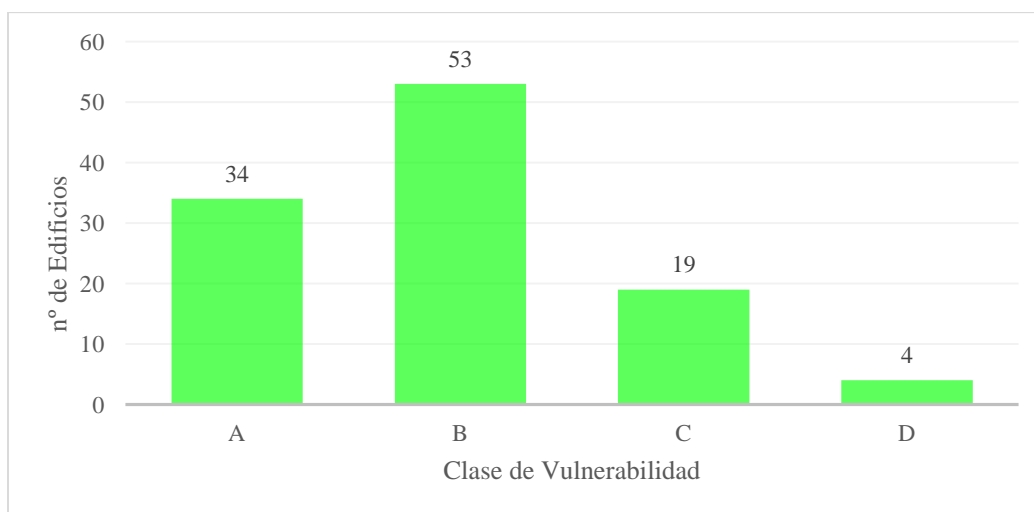


Figura 5.9: Distribución de los edificios según su clase de vulnerabilidad para el parámetro P8.

5.2. Índices de vulnerabilidad I_v .

Mediante la clasificación de los parámetros que componen la metodología de evaluación adoptada para este estudio, se calculó el índice de vulnerabilidad I_v , para cada uno de los 110 edificios analizados, obteniéndose un índice de vulnerabilidad medio $I_{v \text{ medio}}$ de 40.09 y una desviación estándar σ de 10.40. En el histograma que se presenta en Figura 5.10, se observa la distribución de valores del índice de vulnerabilidad calculado para cada edificio donde los intervalos de 30-40 y 40-50 presentan el mayor número de edificios, correspondiendo a 80 edificaciones equivalente al 72.73 % del total de los edificios estudiados, también se verifica que solo el 16.36 % correspondiente a 18 edificaciones tienen un índice de vulnerabilidad I_v mayor a 50.

El mayor valor de índice de vulnerabilidad obtenido es 59.58 y el valor mínimo se encuentra establecido para un índice de vulnerabilidad de 7.50.

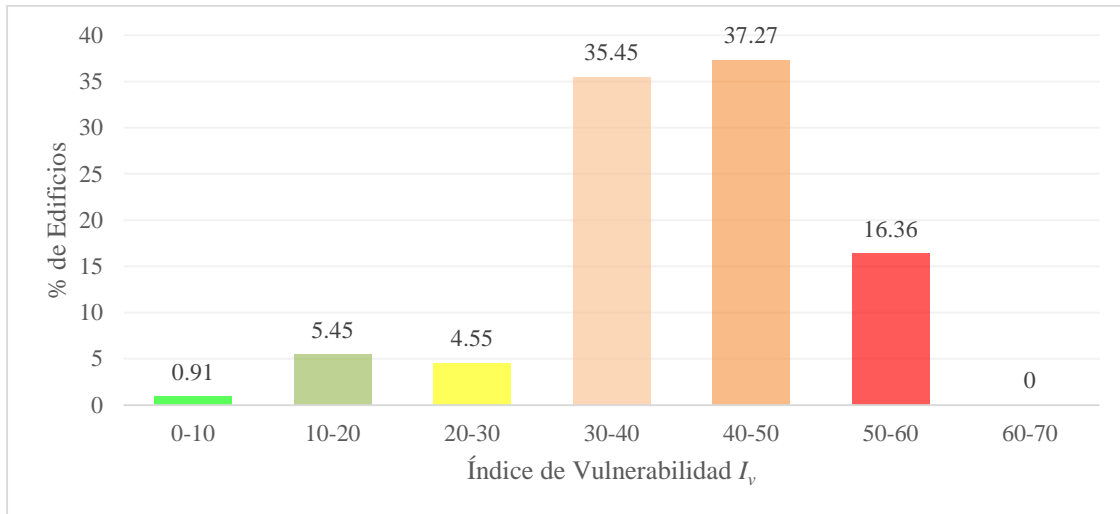


Figura 5.10: Histograma representativo del Índice de vulnerabilidad I_v de los 110 edificios estudiados.

En la figura 5.11 se presenta la distribución espacial de los índices de vulnerabilidad de los edificios estudiados, como se puede observar, para una mejor apreciación se hizo una esquematización con colores donde es posible observar que la mayoría de los edificios presenta un índice de vulnerabilidad medio – bajo que oscilan entre los intervalos 30-50.

Los edificios comprendidos en este intervalo se caracterizar por presentar zonas o locales comerciales en sus plantas bajas con la presencia de soportales, lo que influye notablemente en la generación de mecanismo de piso blando, otra característica es que estos edificios se encuentran en un buen estado o en una condición no tan desfavorable que permite mejorar su condición además de presentar una o dos fuentes de irregularidades en planta y elevación, dichas características prevalecen ya que son propias de la zona de estudio la cual como se explicó anteriormente es una zona netamente comercial donde rigen normas y ordenanzas que condicionan las características constructivas, es una zona antigua donde predominan edificios construidos en el año 80 en su mayoría no concebidos con norma estructural y sísmica y construidos sin parámetros ni normas de calidad en sus materiales, además consolidada urbanísticamente fuertemente afectada por el terremoto del 2016. Recientemente esta zona de la ciudad está teniendo un creciente dinamismo constructivo, con edificaciones nuevas que cumplen todas las especificaciones técnicas establecidas en las normativas de construcción.



Figura 5.11: Distribución espacial del índice de vulnerabilidad I_v de los edificios de la zona en estudio.

5.2.1. Influencia de los parámetros en el cálculo del índice de vulnerabilidad I_v .

En la figura 5.12 se presenta la distribución de las clases de vulnerabilidad obtenidas para cada parámetro que compone la metodología utilizada en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de hormigón armado, mediante este análisis se pudo determinar cuál es el parámetro con mayor influencia en la obtención del índice de vulnerabilidad I_v , siendo el parámetro P6 que evalúa la presencia del mecanismo de piso blando o “*soft storey*“, el parámetro con mayor presencia de la clase de vulnerabilidad D siendo esta la más desfavorable presente en el 91 % de los edificios evaluados, seguido del

parámetro que la implantación del edificio en el contexto urbano P1, presente en el 100% de los edificios donde se estableció una clase de vulnerabilidad C.

Por otra parte, el parámetro que evalúa la posibilidad de formación del mecanismo de falla tipo pilar corto; parámetro P7, es el parámetro con mayor presencia de la clase de vulnerabilidad A, encontrado en el 77% de los 110 edificios analizados.

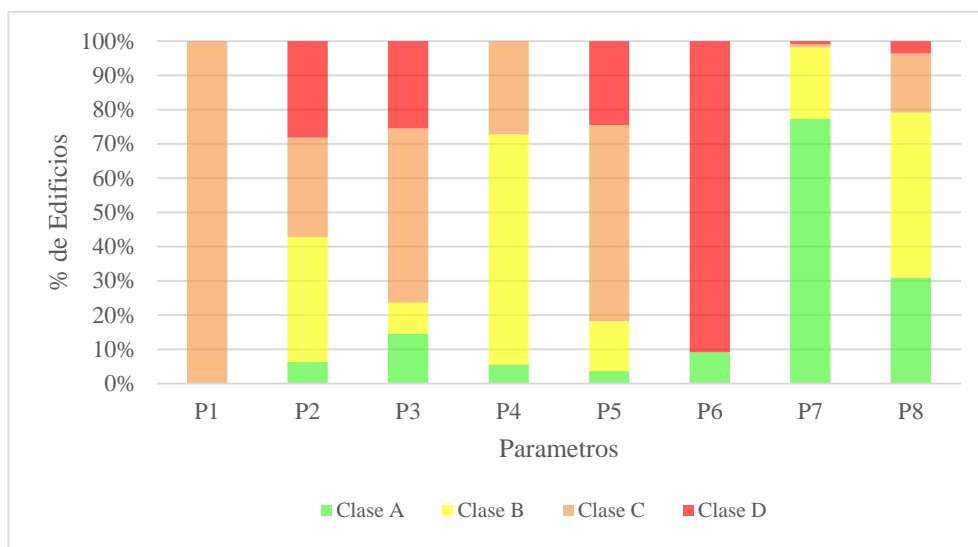


Figura 5.12: Influencia de cada parámetro en la obtención del índice de vulnerabilidad Iv.

5.3. Grado de confianza, Clasificación EMBA.

La clasificación EMBA sirve para evaluar la calidad, fiabilidad y nivel de detalle de la información que se utilizó para la evaluación de cada uno de los parámetros que componen la metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica adoptada para este estudio, la cual está asociada a un grado de confianza en la clasificación de los parámetros y sobre todo en los resultados obtenidos.

En base al trabajo efectuado se logró obtener información de calidad de primera mano y actualizada que permitió realizar una adecuada evaluación de cada uno de los edificios estudiados.

Es así que para el parámetro P1 y P2 que corresponde a la implantación del edificio y posición del edificio en el contexto urbano respectivamente, se le dio una clasificación E (Elevada), ya que en el caso del parámetro P1 se contó con información de primer nivel como

es la microzonificación sísmica de Portoviejo, para determinar el tipo de suelo en el cual se implantan los edificios estudiados y para el parámetro P2 se hizo un trabajo de campo presencial y observatorio acerca de la posición actual de los edificios en la cuadra y la interacción con las edificaciones vecinas.

En relación al parámetro P3 que se refiere a la edad del edificio, se le atribuyó una clasificación M (media), pese a tener información confiable acerca del año de construcción y su estado de conservación, por parte del Municipio de Portoviejo y a la proporcionada directamente por parte de los propietarios de las edificaciones, se consideró como información de confiabilidad Media ya que para la evaluación del estado de conservación se basó en la observación directa y por medio de fotografías del exterior de la edificación.

En los parámetros P5, P6, P7, P8, el grado de confianza de la información obtenida para su evaluación se clasificó como M (media), por el hecho de que la evaluación se basó en la observación directa en sitio e indirecta de fotografías obtenidas en el trabajo de campo y mediante la herramienta informática de “Google Maps”.

Por último, para el parámetro P4 se asumió una clasificación M (media) ya que se apoyó en la observación de fotografías para la evaluación del parámetro y que los edificios de 1 a 4 es muy factible que no cuenten con ductos de elevadores, sustentando este criterio sobre todo a la tipología y uso de las construcciones de la zona de estudio. En el caso de los edificios de más de 5 pisos se atribuyó una clasificación B (Baja) ya que existe mayor probabilidad de la existencia de ducto de elevador en estos edificios. A continuación, en la Figura 5.13 se presenta el resultado de la clasificación realizada.

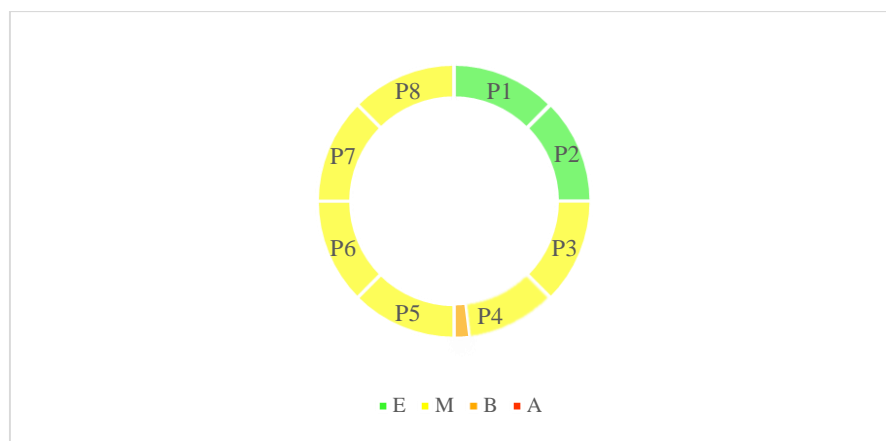


Figura 5.13: Distribución del grado de confianza de los parámetros, clasificación EMBA.

5.4. Estimativa de daño.

Posterior a la obtención de los resultados correspondientes al índice de vulnerabilidad para los edificios de hormigón armado que componen la muestra de este estudio, se debe estimar el grado de daño medio, μ_D , para cada uno de las estructuras y relacionarlas con las diferentes intensidades I de la (EMS-98). Según el estudio desarrollado por (Silva, 2015), el grado de daño medio μ_D , varía entre 0 - 5 y puede ser determinado mediante de la Ecuación (5.1).

$$\mu_D = 2.839 \times \left[1 \times \tanh \left(\frac{I + 10.79 \times V - 11.6}{5} \right) \right] \quad \text{Ec. (5.1)}$$

Donde I es la intensidad sísmica, establecida por (EMS-98), siendo V la vulnerabilidad, la cual se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$V = -0.02 + I_v \times 0.0104 \quad \text{Ec. (5.2)}$$

En la figura 5.14 se presentan las curvas de vulnerabilidad las cuales fueron establecidas mediante la obtención del valor medio del índice de vulnerabilidad $I_{v\text{medio}}$ de los edificios en estudio y la influencia de la desviación estándar calculada σ , estableciéndose las expresiones $I_{v\text{medio}} + \sigma$, $I_{v\text{medio}} - \sigma$, $I_{v\text{medio}} + 2\sigma$, $I_{v\text{medio}} - 2\sigma$, para la construcción de las curvas de vulnerabilidad.

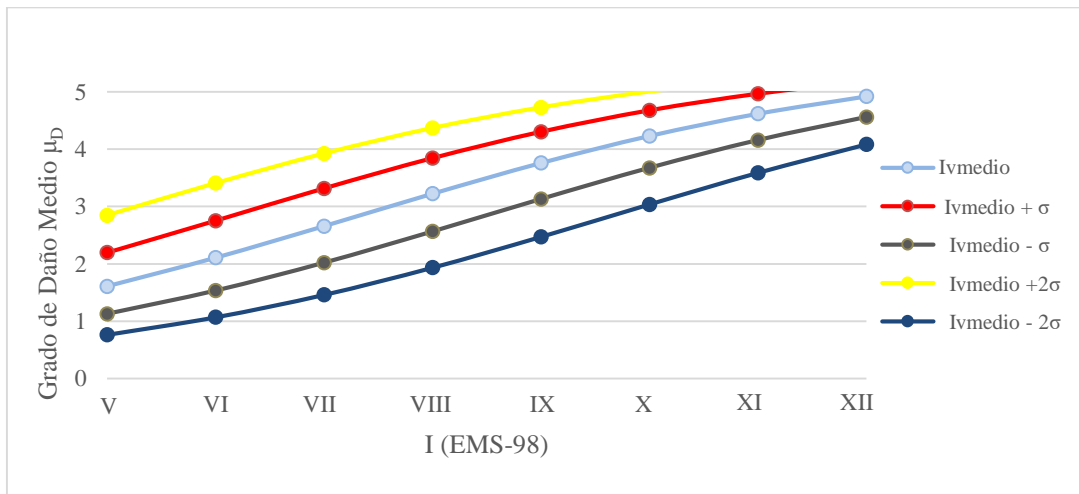


Figura 5.14: Curvas de vulnerabilidad.

Mediante el análisis de la curva de vulnerabilidad construida a partir del $I_{v\text{medio}}$ y de la desviación estándar σ , obtenida de los índices de vulnerabilidad I_v de los 110 edificios

estudiados, permite mencionar que el grado de daño varía considerablemente conforme a la intensidad sísmica determinada.

Como se puede demostrar en la Figura 5.15, el grado de daño medio μ_D obtenido para los 110 edificios estudiados, varía sustancialmente de acuerdo a la intensidad sísmica I que presente un sismo.

Es así que para un sismo de intensidad V y VI, predominarían en la zona estudiada daños de nivel D1 y D2 que se pueden traducir que las estructuras presentarían daños no estructurales moderados y daños estructurales leves, según la tabla de clasificación del grado de daño en edificios de hormigón armado (ver Tabla 3.20). Para sismos con intensidades mayores a VII podemos ver el dominio notorio de un grado de daño que implica consecuencias que comprometen significativamente la seguridad de la estructura teniendo daños estructurales moderados D3, cuyo nivel de daño obviamente se incrementaría con el aumento de intensidad presentándose niveles de daño severos y posibles colapsos D4 y D5 para intensidades $\geq IX$ en la (EMS-98).

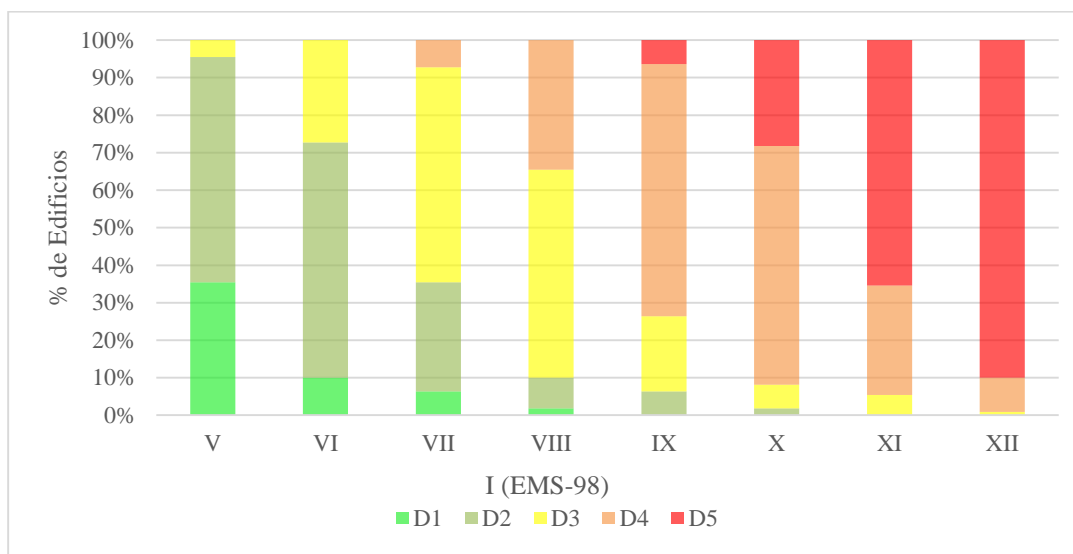


Figura 5.15: Representación del grado de daño medio μ_D de los edificios, en función de varias intensidades sísmicas I .

5.5. Generación de escenarios de daños, implementando una herramienta GIS

Mediante la implementación de un programa de un Sistema de Información Geográfica comercial “Quantum Gis”, se procedió a simular posibles escenarios de daños que podrían presentar las 110 estructuras en estudio, en función del grado de daño medio μ_D de cada edificio y una intensidad sísmica I , establecida con el fin de identificar los edificios más vulnerables de la zona.

En las Figuras 5.16-5.20, se presenta una categorización jerárquica de los posibles daños en las estructuras, donde como es de esperarse debido a la complejidad de la malla urbana estudiada, se observa que al aumentar la intensidad del sismo se incrementa el nivel de daño.

Se han construido escenarios de daño para intensidades de VII a XI, esto según el análisis efectuado a los resultados obtenidos donde se observa que cuando se establece una intensidad I (EMS-98)=VII, la presencia del nivel de daño D3 (daño estructural moderado) es predominante y para una intensidad I (EMS-98)=XI, debido a que es la mayor intensidad sísmica registrada en el Ecuador en 478 años según (Correa, 2004).

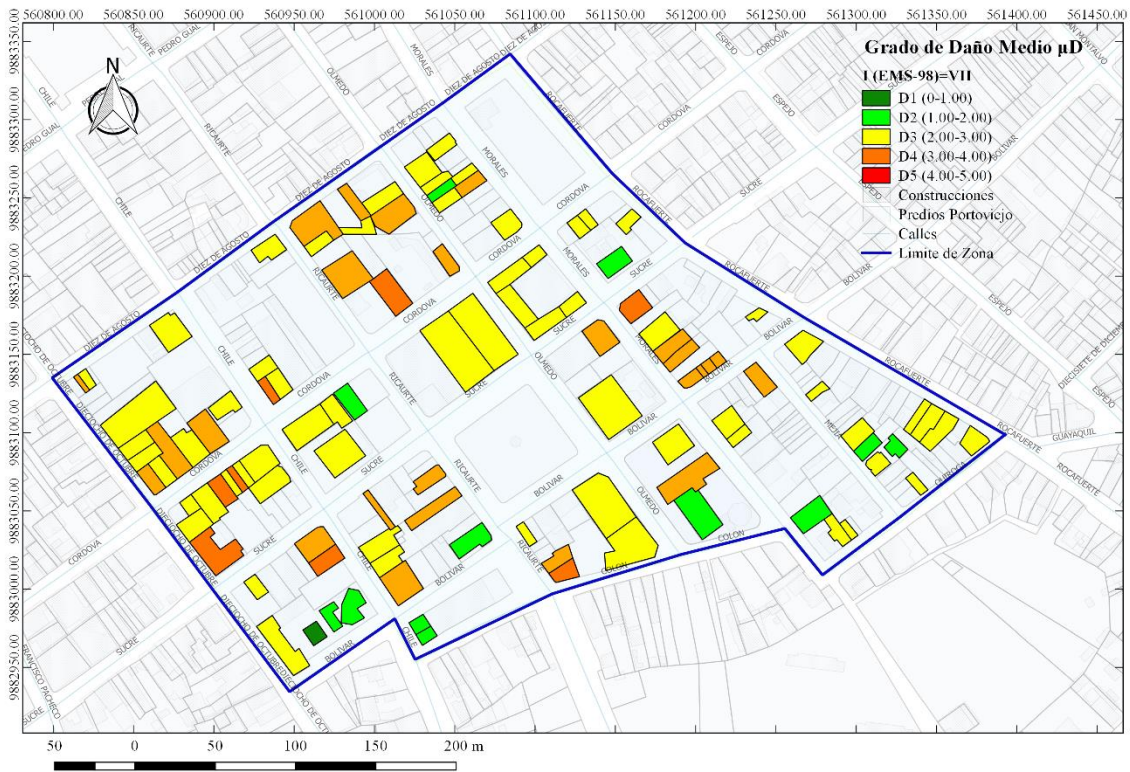


Figura 5.16: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VII.

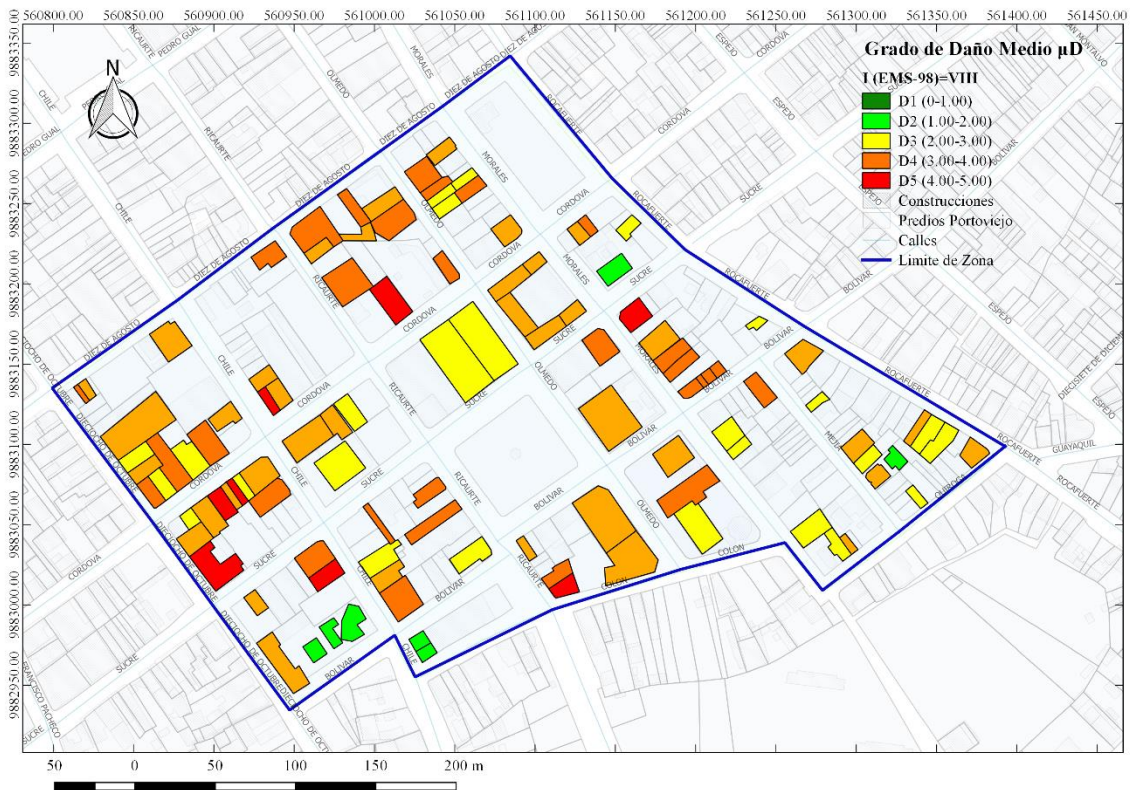


Figura 5.17: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VIII.

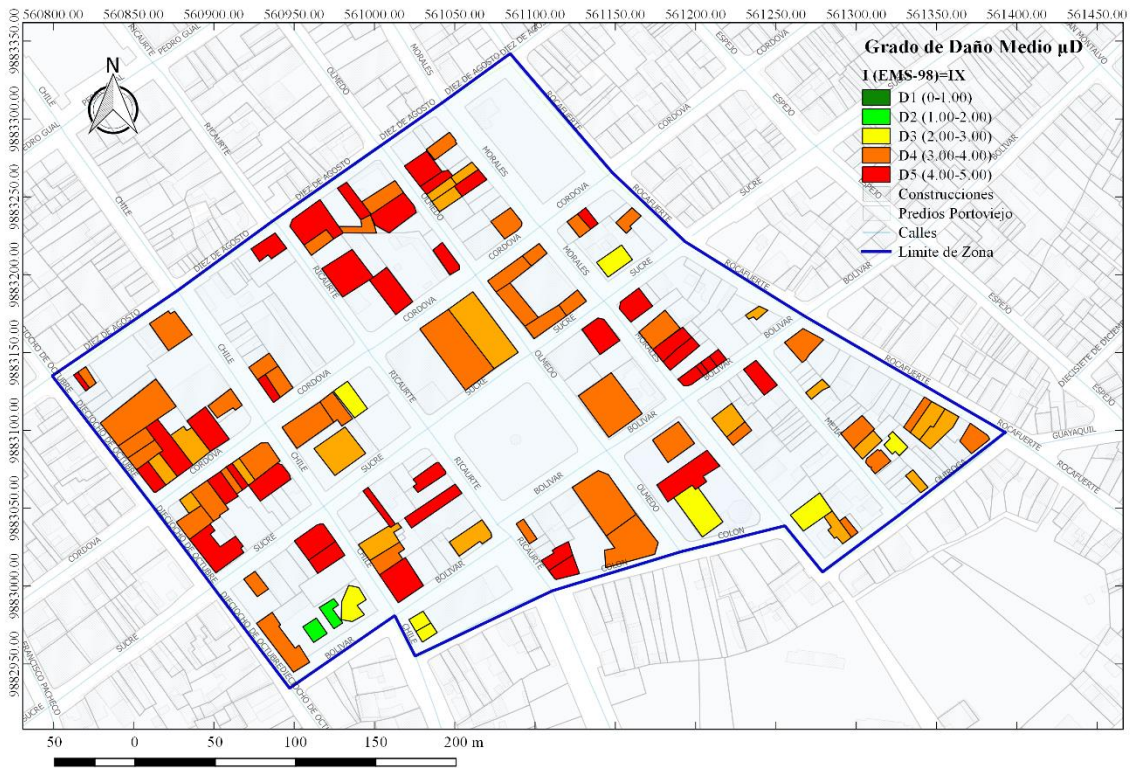


Figura 5.18: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de IX.

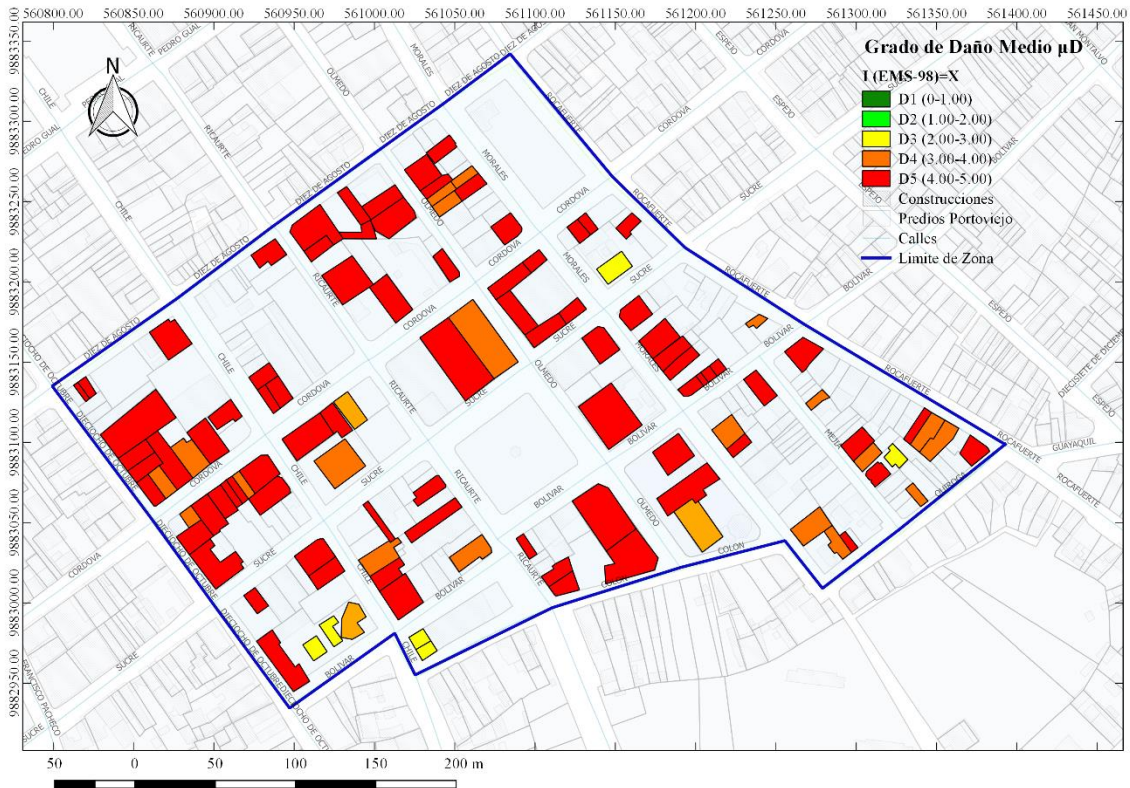


Figura 5.19: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de X.

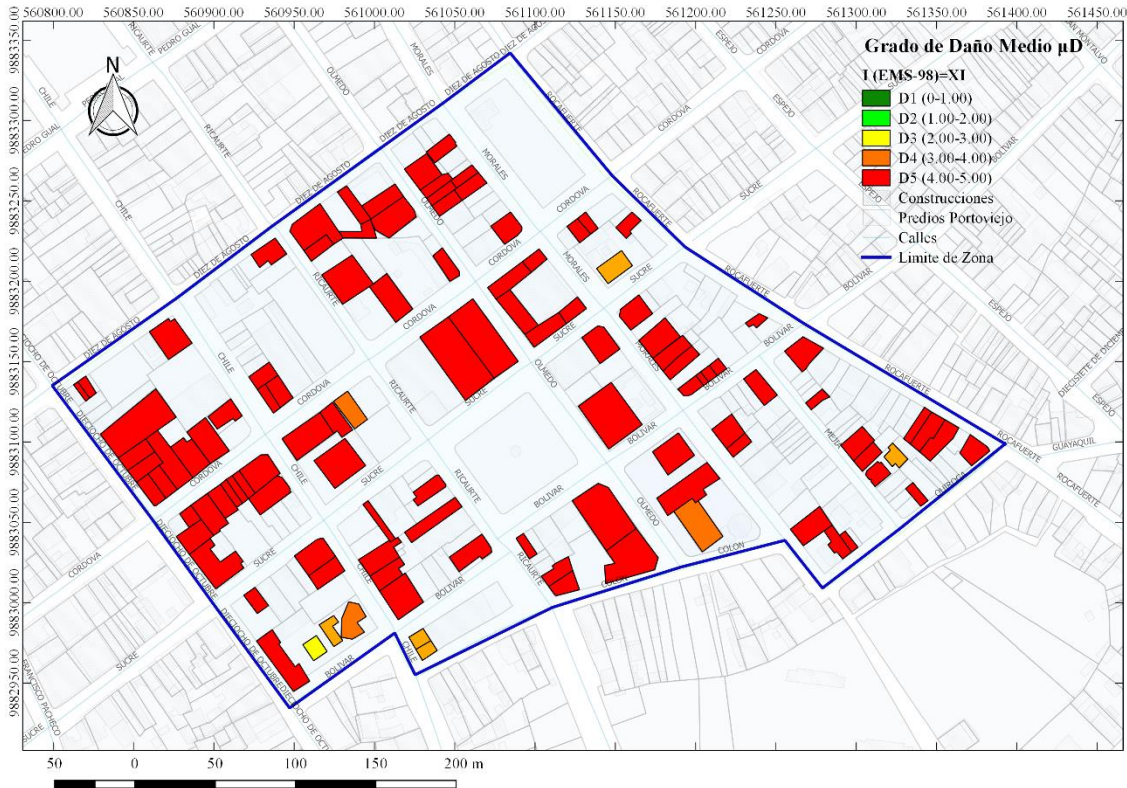


Figura 5.20: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de XI.

En el Anexo 3 se puede apreciar con un mayor nivel de detalle los escenarios de daño generados para las intensidades de sismo determinadas en este análisis.

5.6. Comentarios finales.

Mediante el desarrollo de este capítulo se consiguió representar los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica simplificada de edificios de hormigón armado (Silva, 2015), en la zona delimitada para su ejecución en el centro histórico de Portoviejo, mediante el análisis de los diversos parámetros que conforman la metodología se pudo determinar el índice de vulnerabilidad I_v para cada uno de los 110 edificios, obteniendo un índice de vulnerabilidad medio $I_{v\text{medio}}$ de 40.09 el cual se puede considerar como un valor medio-bajo, donde cerca del 18% de las edificaciones pasan de la media en el rango del índice de vulnerabilidad (0-100); además según los resultados se consiguió identificar que, de los parámetros con los cuales se evalúa las diversas vulnerabilidades de los edificios

son; el P6 que se refiere a la formación de mecanismo piso blando o “*soft storey*” y el parámetro P1, implantación del edificio, los que mayor influencia negativa tiene en el cálculo del I_v .

La credibilidad de estos resultados se fundamentó en la calidad y grado de confianza en la diversa información utilizada en las evaluaciones, estableciéndose en su mayoría una clasificación M (media), esto debido a la combinación de información de primer orden como la obtenida de estudios recientes y trabajo de campo, con la observación de fotografías.

Una vez establecidos los índices de vulnerabilidad I_v , de los edificios fue posible obtener el grado de daño medio μ_D en función de diversas intensidades de sismo I , permitiendo también la construcción de las curvas de vulnerabilidad, en donde se pudo establecer como se esperaba que el grado de daño que presentan las estructuras estudiadas aumentará conforme se incremente la intensidad con la que se percibirá un sismo.

Es así que con estos antecedentes y con la ayuda de una herramienta GIS, se hizo una representación cartográfica, donde se simulan varios escenarios de daños que presentarán los edificios ante la ocurrencia de un sismo de intensidad I (EMS-98), por medio de este análisis se logró determinar que a partir de un sismo con intensidad V y VI, la mayor parte de las estructuras presentaran niveles de daño D1 y D2, considerándose que la afectación estructural será leve y el nivel de daño D3 se dará en menor porcentaje, sin embargo cuando la intensidad sísmica aumenta en el rango de VII y VIII, se evidencia el dominio del nivel de daño D3 con grados de afectación moderada en las estructuras; es de ahí que a intensidades comprendidas entre IX a XI, el nivel de daño D4 y D5, sea mayoritario en los edificios, donde se considera que las estructuras presentan daños estructurales severos y muy severos respectivamente. Con esto se tiene que para una intensidad de sismo X, el 28.18% de las estructuras de la muestra ya estarán expuestas al colapso, cuyo porcentaje será razonablemente mayor a partir de intensidades XI y XII.

Basándose en el análisis de estos resultados, donde se aprecia que el grado de daño moderado y severo que pueden presentar los edificios de esta zona, bajo la

ocurrencia de un sismo de intensidad mayor o igual a VII y a la notoria influencia del parámetro P6 en el índice de vulnerabilidad de las estructuras, teniendo en cuenta que la formación de mecanismo de piso blando o “*soft storey*”, a diferencia de otros parámetros influyentes en el cálculo del índice de vulnerabilidad como el parámetro P1, el parámetro P6 se puede mejorar haciendo intervenciones a la estructura, con lo cual disminuiría el índice de vulnerabilidad debido al peso que este parámetro tiene en la metodología de evaluación.

Por lo tanto, en el capítulo siguiente será presentada una propuesta de intervención del parámetro P6 con el fin de obtener resultados favorables que representen soluciones para la disminución del índice de vulnerabilidad, así como la disminución del grado de daño en los edificios de la zona de estudio en el centro histórico de Portoviejo.

6. Análisis de la intervención de los edificios mediante la ejecución de un reforzamiento sísmico.

Conforme los resultados obtenidos en el capítulo anterior, los edificios que forman parte de la muestra en estudio, presentan valores medios-bajos de índice de vulnerabilidad los cuales se encuentran en su gran mayoría influenciados negativamente por la clase de vulnerabilidad D en el parámetro de evaluación P6 (existencia del mecanismo “*soft storey*”), lo cual se ve directamente reflejado en los grados de daño considerados como moderados D3 a partir de una intensidad de VII.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad sísmica así como los niveles de daño en estos edificios se puede optar por hacer un análisis con base en la alteración del índice de vulnerabilidad mediante la intervención del parámetro de evaluación P6, suponiendo una acción de refuerzo sísmico que controle los desplazamientos horizontales y la formación del mecanismo de piso blando o “*soft storey*”, por lo que se optó por realizar el análisis usando una técnica de reforzamiento, cuya aplicación se encuentra de manera más especificada en (Furtado, Rodrigues, Varum, & Costa, 2015). Esta solución se idealizó para cada una de las 100 edificaciones inicialmente evaluadas con una clase de vulnerabilidad D para el parámetro P6, pasen a tener una clase de vulnerabilidad A. En la Figura 6.1 y 6.2 se muestra unos ejemplos ilustrativos de este reforzamiento utilizando SB.



Figura 6.1: Edificio reforzado con Steel Bracing SB. Fuente: (Tohoku Japan Earthquake & Tsunami Clearinghouse, 2011)



Figura 6.2: Reforzamiento de planta baja con SB para controlar “soft storey”. Fuente: (SteelConstruction.info, 2018)

En la Figura 6.3 se puede apreciar la redistribución de la clase de vulnerabilidad para el parámetro P6, para el análisis de su influencia en la revalorización en el cálculo de los índices de vulnerabilidad de las estructuras.

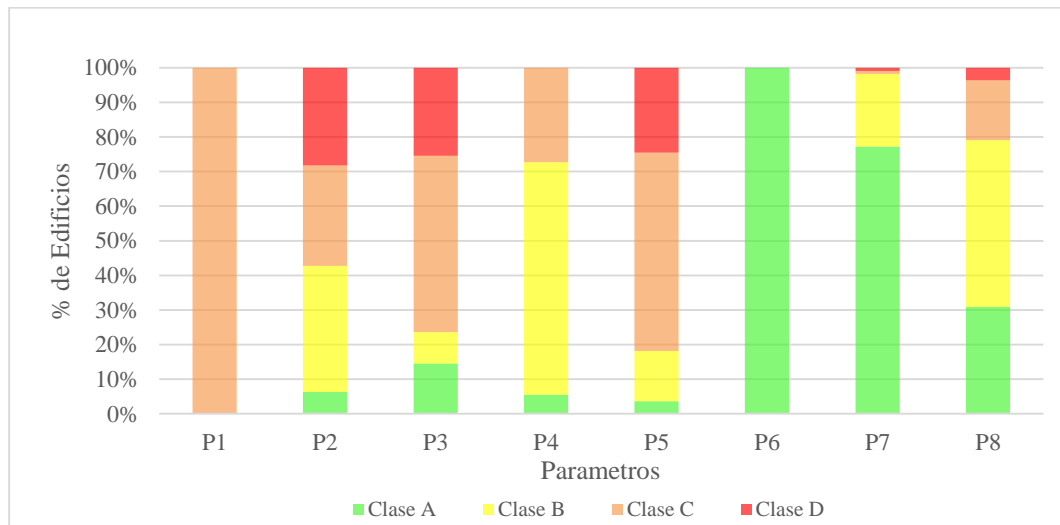


Figura 6.3: Redistribución de la clase de vulnerabilidad para el parámetro P6 (post- refuerzo).

6.1.Revalorización del índice de vulnerabilidad

I_v .

Mediante la modificación de la clase de vulnerabilidad del parámetro de evaluación P6, se logró obviamente la disminución de los valores de los índice de vulnerabilidad de las estructuras, con lo cual se obtuvo un índice de vulnerabilidad medio $I_{v\text{medio}}$ de 24.94 con una desviación estándar σ de 7.95, donde es evidente que estos valores son inferiores en un 37.8% y 23.6% respectivamente en referencia a los valores calculados inicialmente. En el

histograma que se aprecia en la Figura 6.4 se ha representado la distribución de los índices de vulnerabilidad de las estructuras analizadas donde claramente se evidencia una redistribución descendente en los rangos de los índices de vulnerabilidad I_v cuando se ha aplicado una solución de refuerzo en el parámetro P6, consiguiendo que un 98 % de los edificios tengan un $I_v \leq 40$ y apenas un 2% sobrepase este valor, condiciones que inicialmente con un índice de vulnerabilidad en escenarios normales sin ningún tipo de medida de refuerzo, no era posible de lograr; estableciéndose así, que el mayor valor de I_v obtenido aplicando una medida de refuerzo es 42.92 y el de menor valor es 7.50.

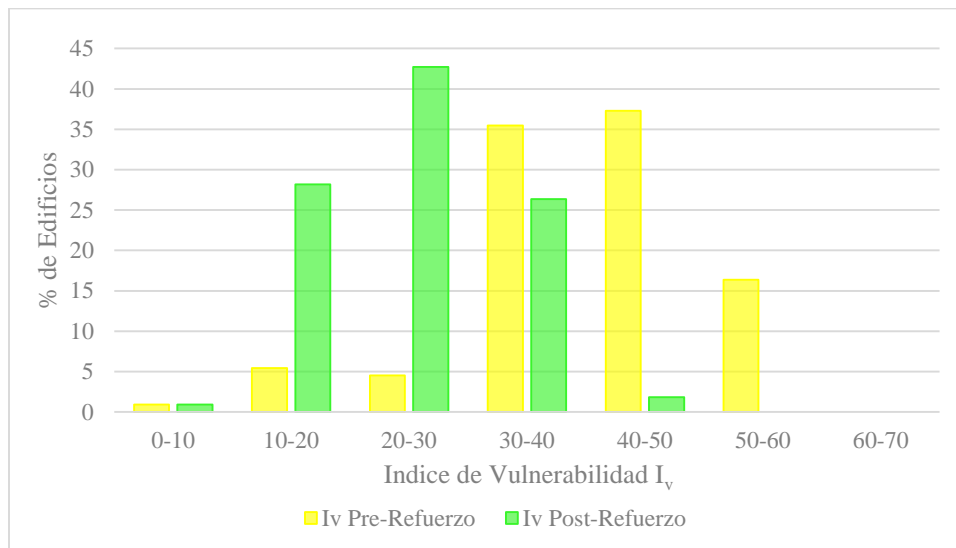


Figura 6.4: Comparación de la distribución de valores de los índices de vulnerabilidad (pre y post -refuerzo).

Luego de haber hecho el análisis y posterior comparación de los valores alfanuméricos de los resultados obtenidos anteriormente, se procedió a realizar la representación cartográfica y distribución espacial de estos resultados que se muestra en la Figura 6.5 donde se evidencia una significativa disminución en la gama de colores para los edificios con índice de vulnerabilidad post-refuerzo con relación a la establecida con índices de vulnerabilidad en condiciones normales.

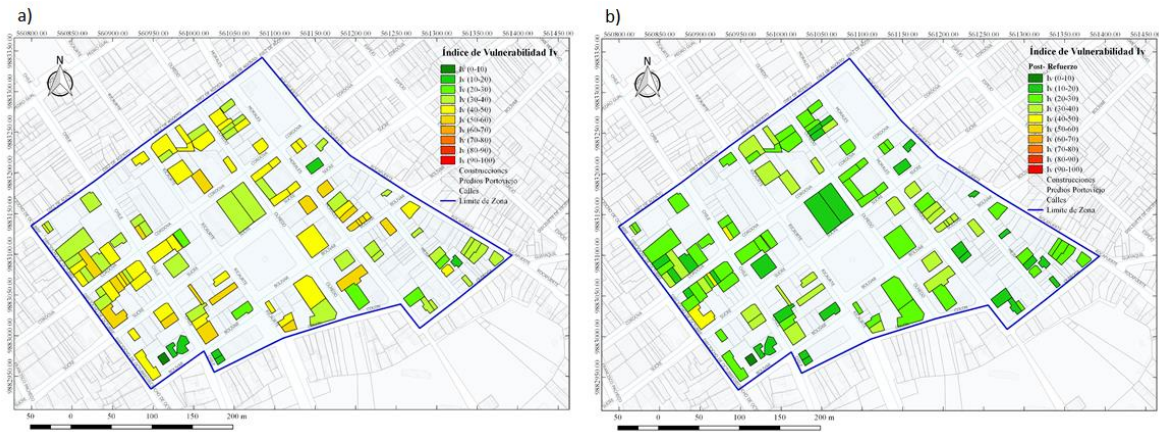


Figura 6.5: Comparación de la distribución espacial cartográfica de los índices de vulnerabilidad; a). -pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.

6.2. Estimativa de daños post-refuerzo del parámetro P6.

Después de haber hecho una revalorización de los índices de vulnerabilidad de cada una de las estructuras, es preciso establecer nuevos valores o grados de daño que se espera que presenten las edificaciones en consecuencia ante la ocurrencia de un sismo. Se procedió a elaborar la curva de vulnerabilidad considerando los nuevos valores de $I_{v\text{medio}}$, $I_{v\text{medio}} + \sigma$, $I_{v\text{medio}} - \sigma$, $I_{v\text{medio}} + 2\sigma$, $I_{v\text{medio}} - 2\sigma$.

En la Figura 6.6 se muestra una comparación entre las curvas de vulnerabilidad construidas tanto con los datos de los índices de vulnerabilidad medio $I_{v\text{medio}}$ de los edificios del pre refuerzo y post refuerzo, en donde se evidencia una disminución considerable de los grados de daño para todas las intensidades sísmicas en la curva de vulnerabilidad post refuerzo.

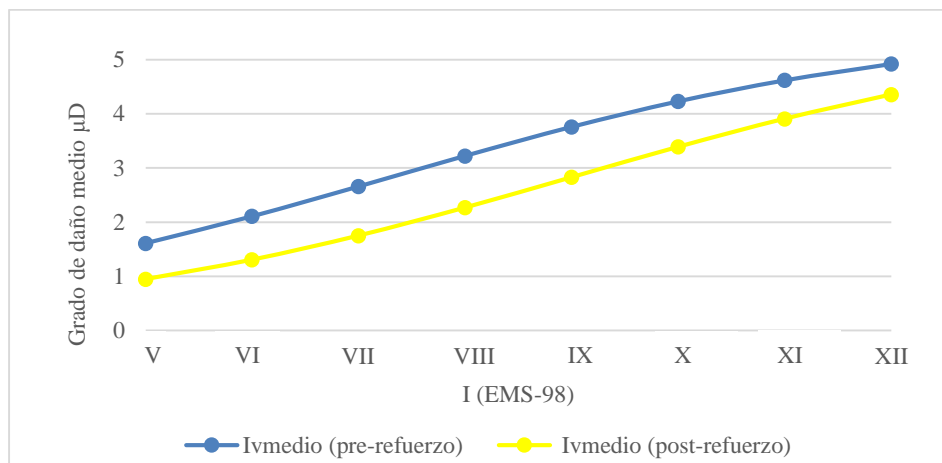


Figura 6.6: Comparación de curvas de vulnerabilidad de pre y post refuerzo.

En la Figura 6.7 se puede observar el histograma comparativo del grado de daño que presentarían las estructuras en condiciones normales inicialmente analizadas con respecto al grado de daño que se obtiene cuando se ha efectuado un refuerzo sísmico para solucionar la ocurrencia del mecanismo de falla tipo piso blando evaluada en el parámetro P6; como era de esperarse al hacer modificaciones positivas para mejorar la clase de vulnerabilidad del parámetro P6 de cada estructura, se denota una considerable disminución del daño en las edificaciones en función de las distintas intensidades sísmicas en análisis.

Es así que para un sismo con intensidad entre V y VI se puede apreciar una considerable redistribución y disminución de los grados de daño D1, D2, D3, los cuales se presentan en las condiciones normales ya que cuando se ha aplicado un reforzamiento sísmico apenas se presentan grados de daño D1 y D2 con un gran dominio del grado de daño D1 para ambas intensidades lo que significa que las probabilidades de daño estructural son mínimas. En el caso de presentarse un sismo con una intensidad entre VII a VIII la probabilidad de tener daños estructurales moderados serán menores ya que el porcentaje de daño D3 será minoritario cuando se aplique una solución de reforzamiento.

Los niveles de colapso D5 se reducen en su gran mayoría en las simulaciones con intensidades muy altas como son XI y XII, donde predomina el grado de daño estructural severo D4 una vez aplicado el refuerzo sísmico, dando un poco más de garantías para que el colapso de las edificaciones ante un sismo de intensidad XI y XII sea en menor porcentaje a los obtenidos inicialmente.

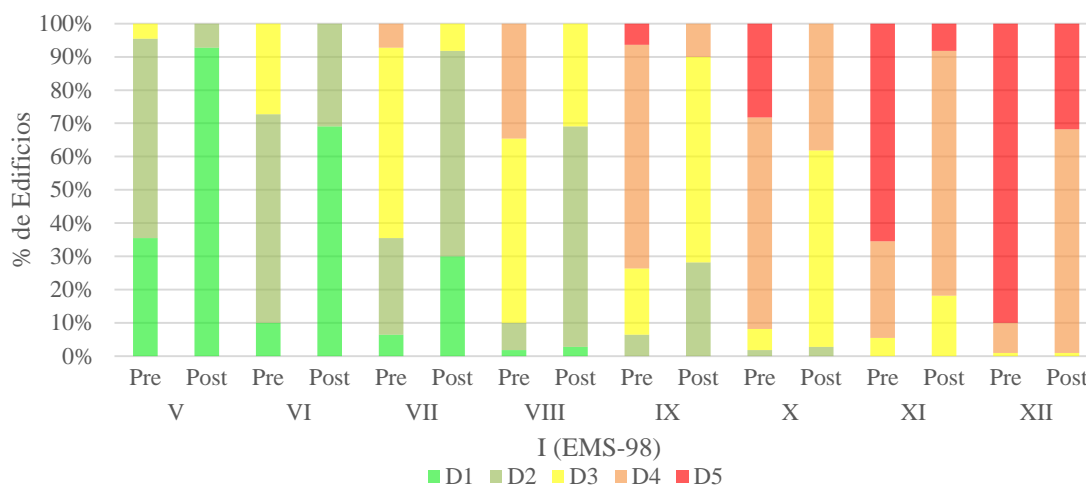


Figura 6.7: Distribución de los grados de daños para las distintas intensidades sísmicas; PRE= pre-refuerzo, POST= post-refuerzo.

6.3. Generación de escenarios de daños post-refuerzo del parámetro P6, utilizando una herramienta GIS.

Posterior a haber realizado la simulación para encontrar los grados de daño que presentarían las estructuras analizadas post refuerzo sísmico, es importante elaborar una representación cartográfica que permita por medio de la construcción de escenarios de daños graficados mediante escalas de colores, efectuar una comparación entre los modelos propuestos para este estudio, tanto para los escenarios obtenidos en condiciones normales y a los obtenidos mediante la implementación de una herramienta de refuerzo sísmico para mejorar las condiciones iniciales de las edificaciones estudiadas.

Se establece en el Anexo 4 los escenarios con los diferentes grados de daño que presentarían las construcciones evaluadas, una vez llevada a cabo la solución de refuerzo sísmico en función de las intensidades sísmicas determinadas.

En las Figuras 6.8-6.12, se muestran las comparaciones de los escenarios de daño para intensidades entre VII y XI establecidas en el capítulo anterior.

Como se puede observar hay una notable disminución en los niveles de daño representados en una gama de colores, en las edificaciones a las que se le ha aplicado un reforzamiento, con relación a los escenarios de daño obtenidos en condiciones normales, obtenidos a partir de una misma intensidad sísmica I (EMS-98).

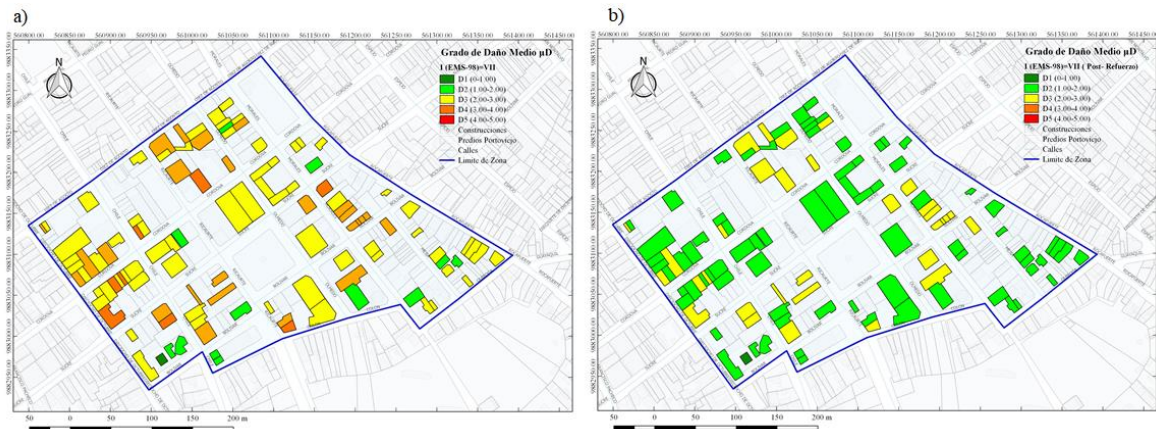


Figura 6.8: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VII; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.

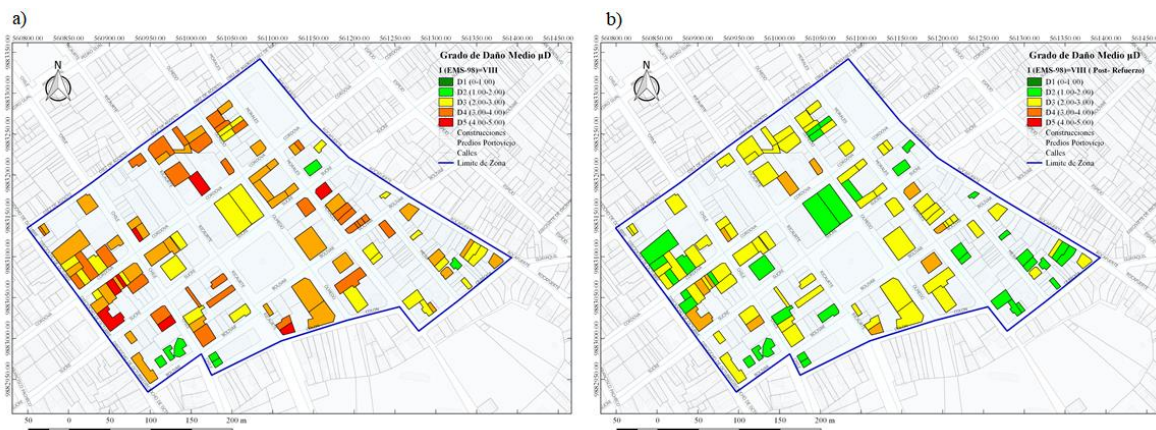


Figura 6.9: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de VIII; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.

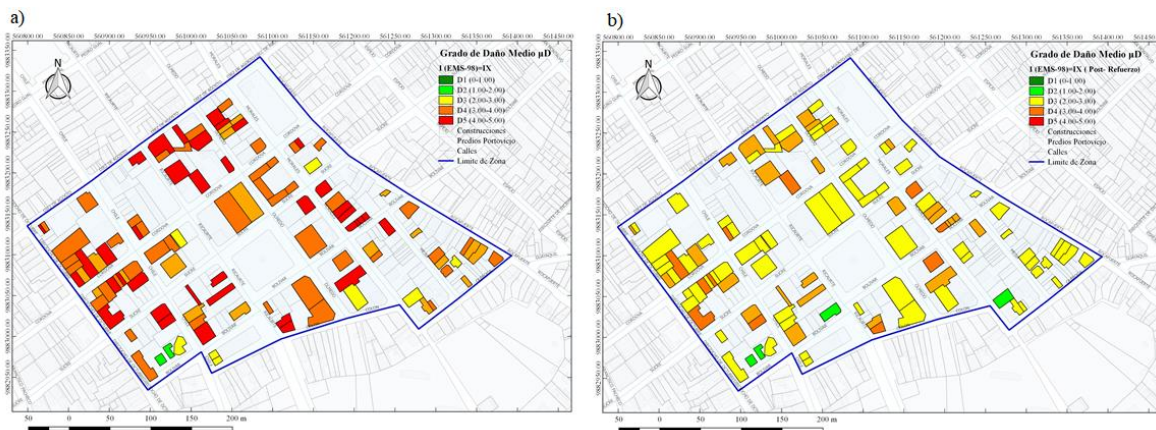


Figura 6.10: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de IX; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.

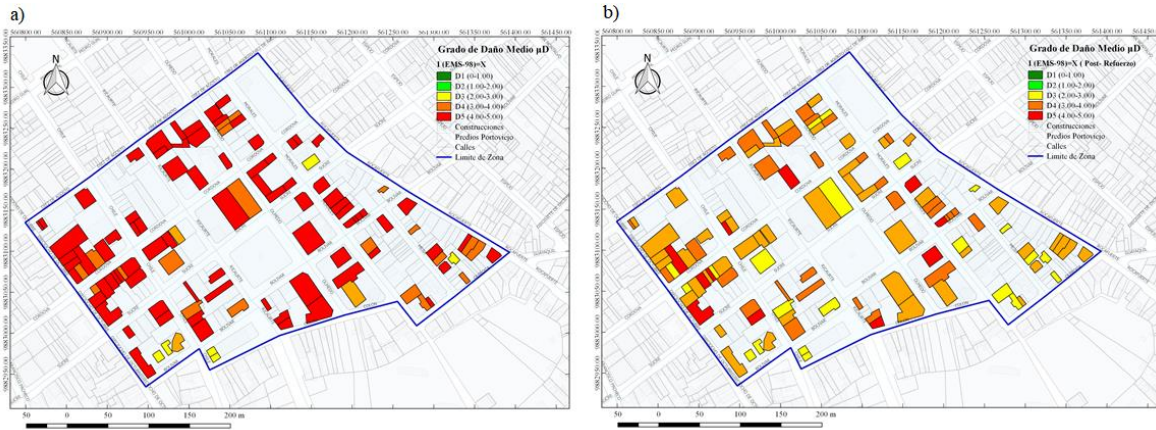


Figura 6.11: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de X; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.

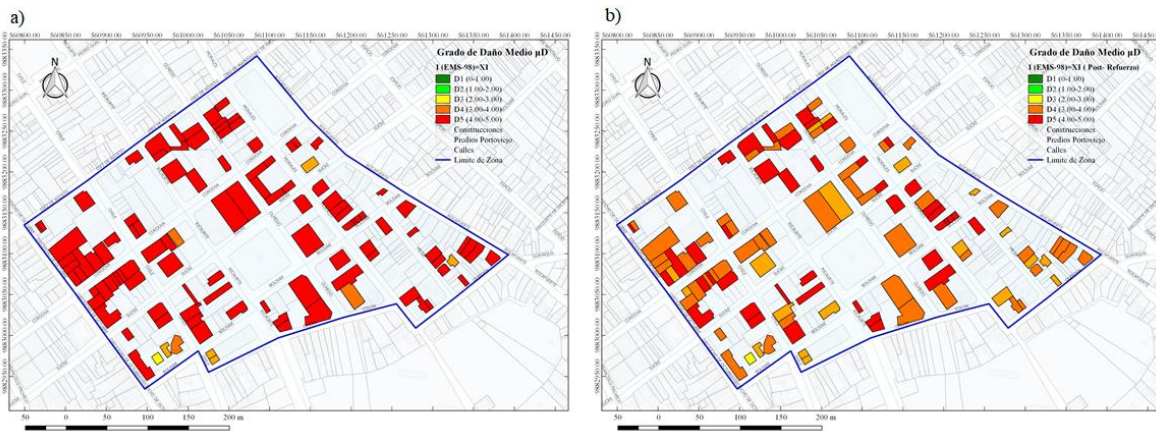


Figura 6.12: Escenario de daño para una intensidad sísmica I (EMS-98) de XI; a). - pre-refuerzo, b). - post-refuerzo.

6.4. Construcción de curvas de fragilidad.

Las curvas de fragilidad representan la probabilidad de excedencia de un determinado grado de daño D_k (0 a 5), encontrado mediante la utilización de una función beta acumulativa.

Al igual que las curvas de vulnerabilidad, la estimación de curvas de fragilidad es otra forma de representar la relación entre intensidad sísmica I y el nivel de daño en condiciones de una función de probabilidad continua, expresando así las posibilidades acumuladas de superar un grado de daño establecido.

Con la implementación de la Ecuación 6.1, según (Ferreira, 2010), las posibilidades discretas $P(D_k = d)$, pueden ser encontradas a través de la diferencia de probabilidades acumuladas $PD [D_i \geq d]$.

$$P(D_k = d) = PD[D_k \geq d] - PD[D_{k+1} \geq d] \quad \text{Ec. (6.1)}$$

En la Figura 6.13 se hace una representación de las curvas de fragilidad construidas a partir de los $I_{v\text{medio}}$ en condiciones normales del estudio 40.09 y del $I_{v\text{medio}}$ obtenido posterior a haber aplicado un refuerzo sísmico 29.94.

Haciendo una interpretación de los resultados obtenidos se puede mencionar que las probabilidades que se exceda un grado de daño establecido, decrecen sustancialmente en todos los niveles en el modelo donde se aplicó un reforzamiento sísmico con respecto al modelo inicial estudiado. Es así que para unas intensidades de VII y VIII las probabilidades de que ocurra una excedencia del grado de daño estructural moderado D3 el cual comprometía mayoritariamente los edificios en condiciones normales; disminuirán alrededor de un 45 y 48% respectivamente.

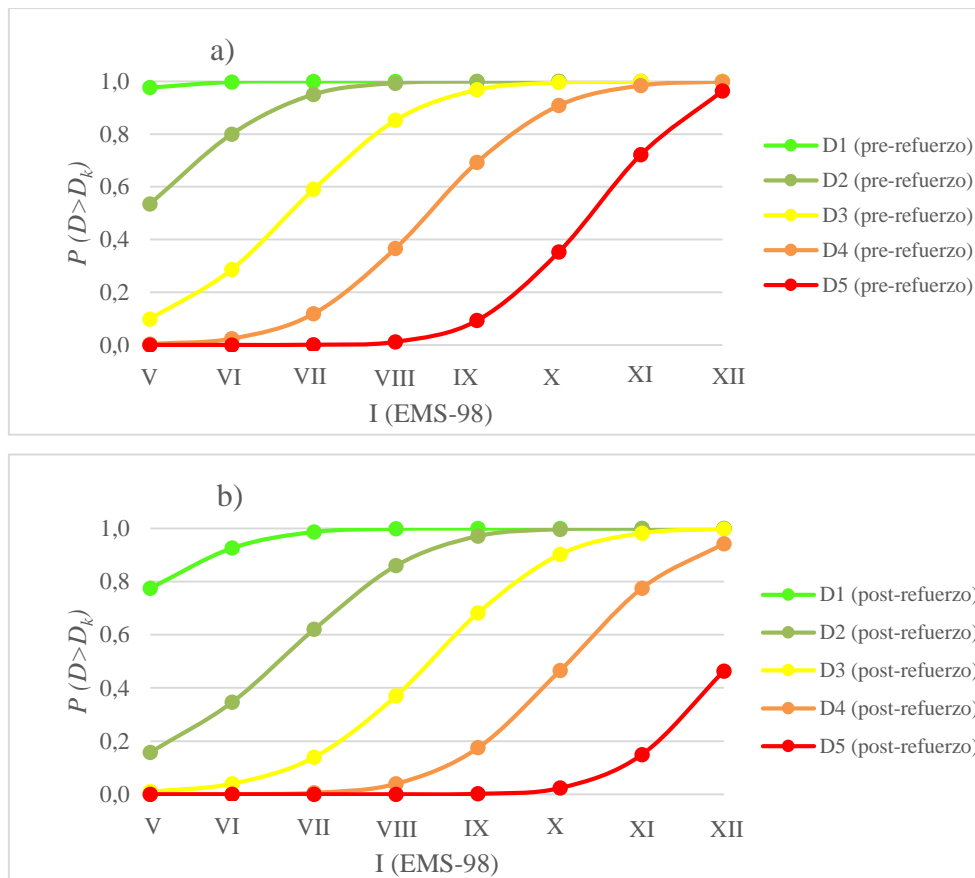


Figura 6.13: a).- Curva de fragilidad pre-refuerzo. b).- Curva de fragilidad post-refuerzo.

6.5. Estimación de costos de reforzamiento y reparación de daños.

Mediante la estimación de los costos que implican aplicar el reforzamiento anteriormente descrito, de manera que se puedan hacer las relaciones de costos/ benéficos que se obtendrían mediante esta intervención estructural y así establecer su viabilidad económica.

Con la ejecución de la Ecuación 6.2 se busca establecer lo que sería el costo relativo entre el costo total que generaría hacer el reforzamiento y el costo total o avalúo de la construcción.

$$\text{Costo relativo} = \frac{\text{Costo del refuerzo} \times \text{Área en PB.}}{\text{Área de construcción} \times \text{Costo de la construcción}} \quad \text{Ec. (6.2)}$$

Es importante especificar que el reforzamiento será hecho exclusivamente en la planta baja del edificio, utilizando una técnica abrazaderas de acero o “*Steel Bracing SB*” cuya aplicación es la más eficiente en el control de derivas de piso y por efecto, de la formación del mecanismo de piso blando o “*soft storey*” como se encuentra detallado en (Furtado, Rodrigues, Varum, & Costa, 2015), aquí se establece que el valor de esta solución es de alrededor de 96.00 \$/m².

La determinación del valor inmobiliario de las construcciones es bastante complejo ya que es un valor fluctuante que depende en su gran mayoría de la calidad y tipo de la mano de obra utilizada en la construcción, por lo cual se recurrió a la consulta de constructores y a la revisión de distintos proyectos ejecutados en la ciudad de Portoviejo con lo cual se estableció un valor 450.00 \$/m² para edificaciones con estructura de hormigón armado, mampostería de bloque o ladrillo, enlucidos, pisos de cerámica, revestimientos de cerámica en baños y cocina, muebles de cocina, clósets y más acabados.

En la Figura 6.14 se representa la distribución de los costos relativo obtenidos para los 100 edificios a los cuales sometieron a una reforzamiento mediante la interpretación de los resultados mostrados, se obtuvo que el costo relativo entre los costos de las construcciones y el costo del reforzamiento de la planta baja varía entre el 21% para edificios de una sola

planta y hasta valores que representan entre el 1% 4% del valor total del edificio para estructuras entre 7 y 10 pisos.

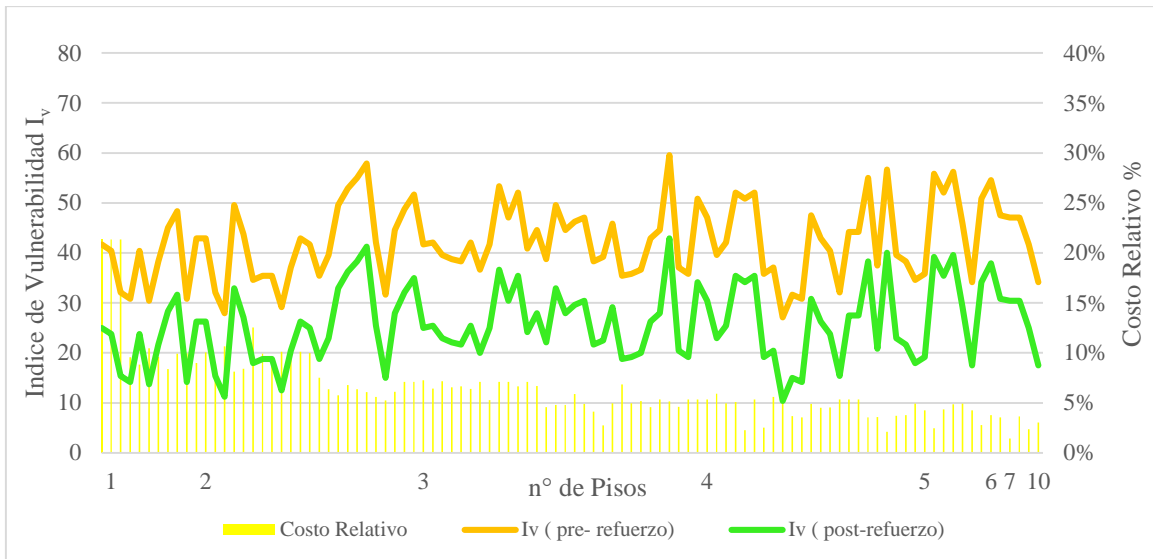


Figura 6.14: Relación entre los índices de vulnerabilidad (pre y post) refuerzo y el costo relativo

Una vez obtenido los grados de daño medio es factible y razonable interpretar estos valores mediante un índice económico aplicándose un cociente entre el costo de reparación y el de sustitución (Benedetti & Petrini, 1984). La correlación entre los grados de daño y los costos de reparación y la reconstrucción es obtenida por el procesamiento y tratamiento de datos post-sismos. (Dolce, Kappos, Masi, Penelis, & Vona, 2006)

A través de la implementación de la Ecuación 6.3 se puede obtener una estimativa de los costos de reparación para un dado evento sísmico de intensidad I , $P [R] [I]$ mediante el producto de la probabilidad condicionada del costo de reparación al nivel de daño $P [R \setminus D_k]$ con la probabilidad condicionada del daño a la vulnerabilidad del edificio y la intensidad sísmica, $P [D_k \setminus I_v, I]$. (Ferreira, 2010)

$$P [R] [I] = \sum_{D_k=1}^5 \sum_{I_v=0}^{100} P [R \setminus D_k] \times P [D_k \setminus I_v, I] \quad \text{Ec. (6.3)}$$

Con el fin de calcular una estimación de los costos de reparación relacionados con los índices de vulnerabilidad medios de pre y post refuerzo $I_{v\text{medio}} 40.09$ e $I_{v\text{medio}} 24.94$ respectivamente. En la Figura 6.15 se muestran los costos de reparación estimados para los 110 edificios de la muestra en estudio en función de la intensidad sísmica I .

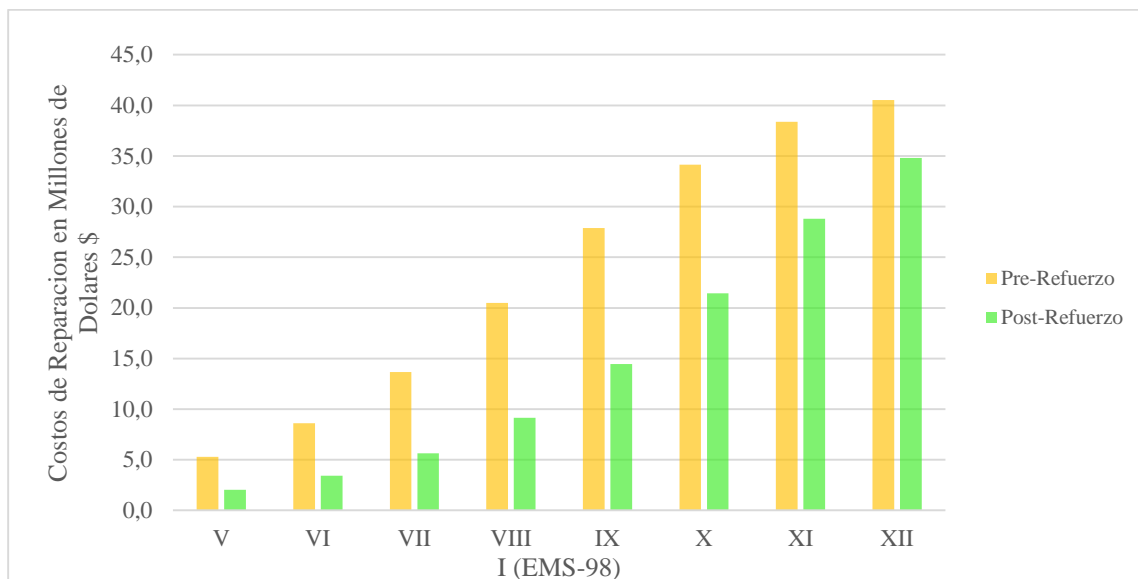


Figura 6.15: Estimativa de costos de reparación

Mediante la interpretación de la Figura 6.15, se denota una considerable variación de los valores de costos de reparación en las estructuras de la muestra en condiciones normales sin ningún tipo de reforzamiento y las estructuras a las que se le aplicó una solución de refuerzo, para todas las intensidades de sismo I analizadas, esta diferencia se acentúa en las intensidades de IX y X, donde la diferencia entre los costos de reparación entre estructuras con pre y post refuerzo serán alrededor del 48.15% y 37.12% respectivamente.

También es importante efectuar un análisis sobre la viabilidad económica, haciendo un balance económico donde se analicen las variables de costos de las reparaciones post sismos de las estructuras pre y post refuerzo.

A través de la diferencia entre el costo de reparación sin refuerzo, $C R_{pre-refuerzo}$, y el costo total de la reparación con refuerzo, $C R_{post-refuerzo}$ y el costo del refuerzo, C_{Ref} , como se representa en la Ecuación 6.4 (Magalhães, 2017)

$$\text{Balance Económico} = C R_{pre-refuerzo} - [C R_{post-refuerzo} + C_{Ref}] \quad \text{Ec. (6.4)}$$

En la Figura 6.16 se presenta el balance económico efectuado en función de todos los edificios del área en estudio, en el cual se puede mencionar que si bien la opción de reforzar las estructuras para disminuir los desplazamientos horizontales en planta baja reduciendo la posible formación del mecanismo de falla “*soft storey*” es eficaz para todas las intensidades

de sismo I estudiadas, se alcanza una máxima eficiencia en términos de ahorro económico para un sismo de I (EMS-98) = IX.

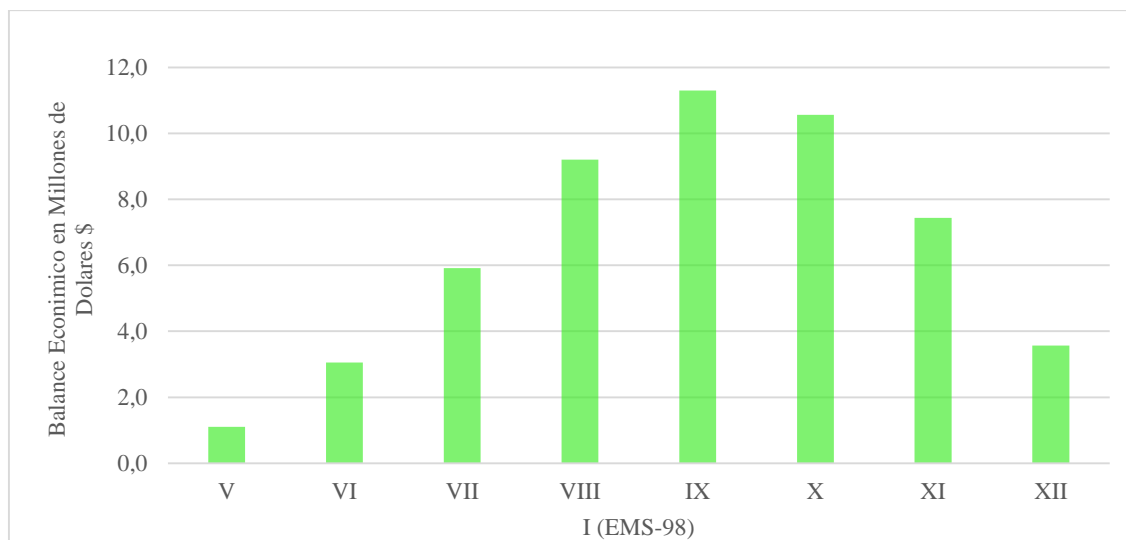


Figura 6.16: Balance económico de la implementación de una solución de reforzamiento sísmico

6.6.Comentarios Finales.

A lo largo del desarrollo de este capítulo se procuró analizar el impacto positivo que tendría implementar una técnica de reforzamiento sísmico en las estructuras en cuya evaluación de vulnerabilidad sísmica efectuada en el capítulo anterior se haya determinado que cuentan con la presencia de la posible formación del mecanismo de falla de piso blando o "soft storey"; con la finalidad de disminuir los índices de vulnerabilidad de las edificaciones ligado directamente con el nivel de daño que sufren las estructuras ante una determinada intensidad sísmica. Además de realizar un análisis a los costos de reparación pre y post refuerzo de las estructuras y determinar la eficiencia económica de hacer este tipo de refuerzo a través de un balance económico.

Es así que se mediante la asignación de la clase de vulnerabilidad A en el parámetro P6 de la metodología de evaluación en los 100 edificios cuya clase de vulnerabilidad era D, obtuvo como resultado la redistribución significativa de los intervalos de los índices de vulnerabilidad de cada estructura reflejándose directamente en disminución del valor del índice de vulnerabilidad medio $I_{vmedio \text{ pre-refuerzo}}$ igual a 40.09 a tener un índice de vulnerabilidad medio $I_{vmedio \text{ post-refuerzo}}$ de 24.94.

Este decrecimiento no solo generó un impacto positivo en los índices de vulnerabilidad de las estructuras, sino que también se consiguió una disminución significativa en los grados de daño medio μ_D sobre todo en la exposición al colapso de la estructura o grado de daño medio D5, para intensidades muy altas de XI y XII cuyo porcentaje en las condiciones iniciales del análisis sin aplicar un refuerzo, llegaba a estar presente en el 65 % de los edificios para $I(\text{EMS-98})=\text{XI}$ y en el 90% de las estructuras para $I(\text{EMS-98})=\text{XII}$; una vez aplicado el refuerzo se obtuvo que para las mismas condiciones de intensidades sísmicas, el grado de daño medio D5 había descendido significativamente al 8% de estructuras en peligro de colapso para $I(\text{EMS-98})=\text{XI}$ y al 32% de los edificios que presentarían esta situación en $I(\text{EMS-98})=\text{XII}$.

También fue analizado el costo relativo que tendría aplicar el refuerzo en las plantas bajas de las estructuras donde se estableció que el cual varía alrededor del 21% del valor total del edificio en estructuras de 1 piso al 1% en estructuras de más de 7 pisos, con lo cual se puede decir que resultaría más caro reforzar una estructura de 1 piso que una de más de 7 pisos.

Mediante la estimación de costos de reparación en función de las intensidades sísmicas y de los índices de vulnerabilidad medio de pre y post refuerzo, se logró realizar un balance económico en el cual se estimó que la técnica de refuerzo tendrá su mayor eficiencia económica cuando se tenga una intensidad de $I(\text{EMS-98})=\text{IX}$, cuya eficacia disminuirá cuando se presenten sismos más severos; esto debido que una mayor intensidad conducirá a elevar los niveles de daño de las edificaciones.

7. Conclusiones y propuestas de trabajos futuros.

A través del desarrollo de esta disertación se logró implantación de la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificios de hormigón armado en el centro histórico de la ciudad de Portoviejo, en la cual se consiguió obtener los principales objetivos planteados mediante de la superación de varias etapas de investigación y aplicación de diversos criterios y metodologías de estudio.

La primera etapa logro hacer una caracterización del lugar donde se realizó el estudio, pasando por el estudio de la sismicidad del Ecuador y el análisis de los principales daños que se presentaron a efectos del terremoto de 16 de abril del 2016, en la ciudad de Portoviejo, con el fin de identificar las principales causas de daños en los edificios para así poder integrarlas dentro de la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica que se implementó.

En la segunda fase se hizo una revisión literaria sobre el riesgo sísmico y las diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, enfatizándose en la descripción y comprensión de la metodología escogida para desarrollar el estudio y la adaptación de los diferentes parámetros al medio local, para posteriormente llevar a cabo la evaluación de los edificios seleccionados en la zona del centro histórico de Portoviejo.

En la tercera fase se prosiguió a analizar los diferentes resultados siendo el grado de daño medio de los edificios y su representación en herramientas GIS, unos de los principales resultados obtenidos.

Por ultimo en base a los resultados preliminares se analizó la posibilidad de implementar una técnica de refuerzo, argumentándose en disminuir la vulnerabilidad sísmica mediante la identificación y mejoramiento del parámetro predominante y más vulnerable en las estructuras siendo este el parámetro P6 presencia del mecanismo de piso blando “*soft storey*” además de analizar la viabilidad económica de aplicar este refuerzo a través de un balance económico establecido en función de los costos de reparación y la intensidad sísmica de pre y post refuerzo sísmico.

7.1.Principales conclusiones

Del análisis de la sismicidad del Ecuador y análisis de los principales daños que se presentaron por efectos del sismo del 16 de abril del 2016, se puede mencionar que una de las principales causas de la destrucción de edificaciones y pérdidas de vidas humanas fue el incumplimiento de las normas técnicas construcción, sustentado sobre todo en el que el Ecuador no contó con una norma sísmica propia hasta el año 2000.

La consolidación urbana de la zona céntrica y el tipo de ordenanza municipal que regula el diseño arquitectónico y estructural de las edificaciones en esta área, son en su mayoría edificios entre 30 y 40 años de vida útil con presencia de soportales mezzanines y locales comerciales en planta baja, lo que contribuyó al mal comportamiento de las edificaciones durante el evento sísmico.

En lo que se refiere a la caracterización de los principales daños observados en las estructuras, los más comunes fueron del tipo constructivo, siendo el más evidenciado el daño por columna corta, piso blando o “*soft storey*”, la falta de confinamiento en nudos, así como estructuras que forman el modelo estructural viga fuerte columna débil.

El análisis de los principales daños observados permitió realizar un encuadramiento de estos daños en los parámetros de evaluación de la metodología aplicada así como la adaptación de ciertos parámetros a la norma ecuatoriana de la construcción vigente, con lo cual se procedió a evaluar los edificios seleccionados en el área de estudio en el centro histórico de Portoviejo, obteniéndose así los índices de vulnerabilidad I_v los cuales son de vital importancia y derivan en grados de daño medio μ_D moderados y severos, con intensidades sísmicas relativamente moderadas

A través de esta evaluación de vulnerabilidad sísmica de los edificios y de una adecuada gestión e interpretación de los resultados, fue posible generar escenarios que permitan representar espacialmente, con la ayuda de una herramienta GIS, los distintos niveles de daño que pueden sufrir los edificios, lo cual representa una herramienta rápida y eficaz, de gran utilidad para la identificación y control de zonas vulnerables, y la disminución de los riesgos sísmicos

Basándose en el análisis de estos resultados, producto de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, se obtuvieron valores de índices de vulnerabilidad en medios – bajos que generan sin embargo daños estructurales moderados y severos en una gran parte de los edificios evaluados, ante la ocurrencia de un sismo de intensidad mayor o igual a I (EMS)=VII.

Se identificó que esta zona es altamente vulnerable ya que según la simulación de daños, al presentarse un sismo de intensidad sísmica X, alrededor de un 28% presentaría riesgo de colapso, lo cual se debe de tener muy en cuenta, con el fin de prevenir futuras pérdidas de vidas humanas y de realizar una adecuada gestión de riesgos en la ciudad.

Se logró identificar que cerca del 90% de los edificios evaluados pueden presentar el mecanismo de piso blando debido a la presencia de soportales y de locales comerciales en sus plantas bajas, así que se procedió a simular la evaluación del índice de vulnerabilidad sísmica I_v idealizando la clase de vulnerabilidad A mediante la aplicación de un refuerzo con *steel bracing SB*, con lo cual se logró.

Se pudo constatar que mediante la ejecución de una técnica de refuerzo sísmico se logró mejorar significativamente los valores de los índices de vulnerabilidad de las estructuras intervenidas y en consecuencia que los niveles de daños en las edificaciones sean de menor consideración, también se comprobó que la medida de reforzamiento es económicamente viable para aplicar en la zona realizando una inversión relativamente baja en función del costo total de las edificaciones, además que el balance económico de los costos de reparación post sismo, entre las estructuras sin reforzamiento y con un reforzamiento en planta baja es eficiente en intensidades hasta IX ya que superando este valor su eficiencia disminuye.

7.2.Propuestas de trabajos futuros

Ante la carencia de estudios relacionados con la mitigación del riesgo sísmico así como aplicación de metodologías que permitan conocer las vulnerabilidades sísmicas de los edificios de la ciudad de Portoviejo, también considerándose que se encuentra implantada en una zona de alta sismicidad, es importante seguir con el estudio de la vulnerabilidad sísmica de edificios por lo que se recomienda lo siguiente:

- Promover el cumplimiento estricto de las normas de construcción vigentes así como la fiscalización de obras que se ejecuten en la ciudad , también la revisión ordenanzas y normativas municipales que rigen en la zona para evitar edificaciones sean construidas con vulnerabilidades sísmica
- Dar a conocer a las autoridades correspondientes sobre las ventajas y versatilidad de la aplicación de esta metodología para vincularlas al desarrollo y continuación de este trabajo en otras zonas de la ciudad de Portoviejo
- Ampliar el estudio a otras tipología de construcción, sustentándose en que en el centro histórico de la ciudad existen buena cantidad de edificios cuya estructura es distinta al hormigón armado, como madera, acero y mixtas.
- Mejorar la calidad de información necesaria para evaluar los parámetros, pese a no ser tan extensa la información empleada, se requiere de tener información sobre todo actualizada como es por ejemplo las características constructivas estados de conservación y edad de los edificios
- Fomentar por medio de este estudio el reforzamiento principalmente de las estructuras que presentan la posible formación del mecanismo “*soft storey*”, para disminuir la vulnerabilidad sísmica de los edificios y así disminuir daños ante futuros eventos sísmicos a manera de prevenir grandes pérdidas económicas y humanas.

Bibliografía

- ACI-318-05, A. C. (2005).** *ACI-318. Building Code Requirements for Structural Concrete.* Farmington Hills, Michigan: ACI committee 318.
- ACI-318-95, A. C. (1995).** *ACI-318 Building Code Requirements for Structural Concrete.* Farmington Hills, Michigan: ACI Committee 318.
- Aguiar, R., & Miele, Y. (2016).** *Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016* (Vols. Vol. 21,3, 257-282 (2016)). Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras.
- ATC-13. (1985).** *Earthquake damage estimation data for California. Applied Technology Council.* Redwood City, California.
- ATC-21. (2002).** *Rapid Visual Screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook (FEMA154).* Redwood City:: Applied Technology Council, FEMA 154, Edition 2.
- Benedetti, D., & Petrini, V. (1984).** *Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: Proposte di un metodo di valutazione.* L'industria delle Costruzioni.
- Bhatt, C. A. (2007).** *Análise Sísmica de Edifícios de Betão Armado segundo o Eurocódigo 8 – Análises Lineares e Não Lineares.* Lisboa, Portugal.: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa.
- Chunga, K. (2016).** *Geologia de Terremotos y Tsunamis.* Quito: Sección Nacional del Ecuador del Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH.
- Correa, C. (2004).** *Sismicidad Histórica del Ecuador.* Quito: Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional.
- D'Ayala, D., & Speranza, E. (2002).** *An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings* (Vols. disp, 3(1), 3-3). London, UK.: 12th European Conference on Earthquake Engineering, University of Bath, UK.
- Dolce, M., Kappos, A., Masi, A., Penelis, G., & Vona, M. (2006).** *Vulnerability assessment and earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies.* (Vols. 28:357-371.). Elsevier, Engineering Structures.
- EC8. (2011).** *Proyecto de Estructuras Sísmoresistentes.* España: UNE-EN 1998-1.

- Ecuador Inmediato. (2011, Noviembre 30).** *70 % de construcciones en Ecuador son informales, advierte Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo.* Retrieved from http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=162607
- El Diario Manbita. (2017, Enero 9).** *Casas patrimoniales: 30% Con graves daños o demolidas.* Retrieved Diciembre 19, 2017, from <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/418582-casas-patrimoniales-30-con-graves-danos-o-demolidas/>
- El Telegrafo, D. (2015, Marzo 15).** *Portoviejo, una ciudad con dos historias.* Retrieved Diciembre 15, 2017, from : <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-manabi/1/portoviejo-una-ciudad-con-dos-historias>
- El Universo, D. (2016, Abril 17).** *Sismos más potentes que han afectado Ecuador.* Retrieved Diciembre 23, 2017, from <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/17/nota/5531580/sismos-mas-potentes-que-han-afectado-ecuador>
- EPN, E. P. (2017).** *Estudio de la microzonificación sísmica del área urbana de Portoviejo y sus cabeceras parroquiales rurales*”. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- EPN, E. P. (2017).** *Estudio estadístico de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones y equipamiento urbano afectados por el terremoto del pasado 16 de Abril.* Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Ferreira, T. M. (2010).** *Avaliação da vulnerabilidade sísmica de núcleos urbanos antigos: Aplicação ao núcleo urbano antigo do Seixal.* Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Retrieved 03 20, 2018
- Furtado, A., Rodrigues, H., Varum, H., & Costa, A. (2015).** *Evaluation of different strengthening techniques' efficiency for a soft storey building.* Journal of Environmental and Civil Engineering.
- GAD de Portoviejo. (2017).** *Dirección de Información, Avaluos, Catastros y Permisos Municipales.* Portoviejo.
- GNDT-SSN. (1994).** *Scheda di esposizione e vulnerabilità e di rilevamento danni di primo e secondo livello (murata e cemento armato).* Gruppo Nazionale per La Difesa Dai Terremoti. Roma: Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma.

- Grünthal, G. (1998).** *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*, European Seismological Commission, Subcommittee on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales. European Seismological Commission, Subcommittee on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales, Conseil de l'Europe.
- IG-EPN. (2011).** *Sismo de Bahia de Caraquez: 4 de Agosto de 1998*. Escuela Politecnica Nacional, Instituto Geofisico. Retrieved Diciembre 13, 2017, from Instituto Geofisico- EPN: <http://www.igepn.edu.ec/noticias/457-sismo-de-bah%C3%ADa-de-car%C3%A1quez-4-de-agosto-de-1998>
- IG-EPN. (2016).** *Informe Sismico Especial N. 18 - 2016*. Escuela Politecnica Nacional, Instituto Geofisico. Retrieved 12 15, 2017, from Instituto Geofisico- EPN: <http://www.igepn.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html>
- Jaramillo Guerra, G., & Rocha Andino, M. (2013).** *Comparación entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC11 y la norma American Society of Civil Engineers 07-10, para diseño sismo resistente: cortante basal*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Lantada Zarzosa, M. N. (2007).** Aspectos Generales del Riesgo Sísmico. In E. d. Barcelona. Barcelona, Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica.
- Lopez Muñoz, C. (2017).** *Evaluación y análisis estadístico de las principales causas que incidieron en el colapso y daño estructural de las edificaciones en la ciudad de Portoviejo por causa del terremoto del 16 de abril del 2016*. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Escuela de Ingeniería Civil.
- Magalhães, S. R. (2017).** *Vulnerabilidade Sísmica em edifícios em betão armado: aplicação á area urbana da cidade de Faro*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Marques, D. F. (2012).** *Comportamento Sísmico de Edifícios Antigos de Beatõ. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*. Lisboa, Portugal: Universidade Técnica de Lisboa.
- Martínez Cuevas, S. (2014).** *Evaluación de la Vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la*

- Ciudad de Lorca, Region de Murcia. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid, Departamento de Ingenieria Topografica y Cartografia.*
- Medvedev, S. V., & Sponheuer, W. (1969).** *MSK Scale of seismic intensity. In Proc. .* Santiago, Chile.: IV World Conference of the Earthquake Engineering.
- Mieles, Y. (2014).** *La evolución y tendencia de la percepción social en torno al tipo de construcciones en Manabí, Ecuador y sus riesgos.* La Havana, Cuba, Cuba: Facultad de Ingeniería Civil del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
- Molina Cedeño, R. (2009).** *Historia de Portoviejo.* Portoviejo: Ediciones La Tierra.
- Molina Garcia, G. (2004).** *El capitán Francisco Pacheco en la conquista de América, fundador de la ciudad la Villa de Puerto Viejo.* Casa de la Cultura Ecuatoriana de Manabí.
- NEC, N. E. (2015).** *Peligro sismico- Diseño sismoresistente.* Quito: Direccion de Comunicacion MIDUVI.
- NEC, N. E. (2015).** *Riesgo sismico-Evaluación-Rehabilitación de estructuras.* Quito: Direccion de Comunicacion MIDUVI.
- OPS. (1993).** *Mitigation of disasters in health facilities: volume 4 - engineering issues.* Evaluation and Reduction of Physical and Functional Vulnerability. Retrieved from <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Mitigasalud/Mitigacion/Contenidos/english/>
- Plan Reconstruyo Ecuador, C. P. (2016).** *Informe Trimestral de Gestion (mayo- agosto de 2016).* Quito: Plan Reconstruyo Ecuador.
- Rodrigues, H. (2005).** *Desenvolvimento e Calibração de Modelos Numéricos para a Análise Sísmica de Edifícios.* Porto, Portugal.: Dissertação de mestrado. Estruturas de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.
- Rojahn, C., & Sharpe, R. (1985).** *ATC-13: Earthquake Damage Evaluation Data for California. .* Redwood City, CA: Applied Technology Council.
- Romãozinho, M. (2008).** *Dimensionamento para a Ação do EC8, Análise das Prescrições da EN 1998-1 Aplicadas a Estruturas de Edifícios de Betão Armado com Recurso a um Exemplo prático. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. .* Lisboa, Portugal.: Universidade Técnica de Lisboa.

- Sandi, H., & Floricel, I. (1994).** *Analysis of seismic risk affecting the existing IX building stock.* In Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering.
- Santos, R. R. (2011).** *Modelação de paredes resistentes em edifícios de betão armado. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.* Lisboa Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Silva, J. M. (2015).** *Metodologia de Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios em Betão Armado.* Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- Stahlin, W. (1997).** Seismic design and performance of nonstructural components in hospitals In ATC-29-1 (Ed.),. In W. Stahlin, *Proceedings of Seminar on Seismic Disign, Retrofit, and Performance of Nonstructural Components.* (pp. 469–473).
- SteelConstruction.info. (2018, 07 12).** *Framing schematics.* Retrieved from Framing schematics: https://www.steelconstruction.info/Framing_schematics
- Sucuoglu, H., & Yazgan, U. (1999).** *Simple Survey Procedures for Seismic Risk Assessment In Urban Building Stocks.* *Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings.* NATO Science Series IV.
- Tohoku Japan Earthquake & Tsunami Clearinghouse. (2011, 03 11).** *Steel braces as part of the 2003 seismic retrofit of the Civil Engineering Building in Tohoku University.* Retrieved from Steel braces as part of the 2003 seismic retrofit of the Civil Engineering Building in Tohoku University: <http://www.eqclearinghouse.org/2011-03-11-sendai/2011/08/03/eeri-steel-structures-reconnaissance-group/braceretrofit-ceebuilding/>
- Vicente, R. (2008).** *Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana.* *Avaliação da vulnerabilidade e do risco sísmico do edificado da Baixa de Coimbra.* Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Whitman, R., Reed, J. W., & Hong, S. (1973).** *Earthquake damage probability matrices.* Rome, Italy: Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering , 2; 1973. p. 2531–2540.
- Yakut, A., Erberik, A., Akkar, S., & Sucuoglu, H. (2012).** *Rapid Seismic Assessment Procedures for Turkish Building.* In *Seismic Evaluation and Rehabilitation of Structures.* Springer International Publishing.

Yepez, F., Barbat Barbat, H. A., & Canas Torres, J. A. (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería.* Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE).

Anexo 1

Tabla A. 1: Ficha Técnica del Edificio Familia Arteaga Macías, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)




FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Familia Arteaga Macías	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	Más de 30 años
Dirección:	9 de octubre y Rocafuerte	Nº de Pisos:	5
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	-
a)			b)
			
c)			
			
<p>Fallas: Falla de columnas por falta de confinamiento, remodelación con agresión estructural al cortar una viga para ventana.</p>			
<p>Observaciones: Se le quitó una viga de arrostramiento al nivel del mezzanine para abrir ventanas, se añadió losa al mezzanine 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.</p>			

Tabla A 2: Ficha Técnica del Edificio de la Farmacia Comercio, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)

FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Farmacia Comercio	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	Más de 30 años
Dirección:	9 de octubre y Ricaurte	N° de Pisos:	5
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	-
a)	b)		
			
<p>Fallas: Falla de columnas del primer nivel por piso blando y falta de confinamiento, viga fuerte columna débil.</p>			
<p>Observaciones: El edificio tenía columnas esbeltas en el primer nivel. Edificio tenía mezanine</p>			

Tabla A 3: Ficha Técnica del Edificio de la Farmacia San Gregorio, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)

FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Farmacia San Gregorio	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	Más de 30 años
Dirección:	Av. Manabí y Alhajuela	Nº de Pisos:	4
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	Plintos Aislados conectados con vigas
a)	b)		
			
<p>Fallas: 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.</p>			
<p>Observaciones: Los pisos superiores habían sido reforzados con una columna de acero por la deflexión del volado, el edificio cayó hacia la esquina por la posición que quedaron las columnas. El edificio tenía mezzanine.</p>			

Tabla A 4: Ficha Técnica del edificio del IEES, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)

FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social IEES	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	Más de 20 años
Dirección:	Chile y Pedro Gual	Nº de Pisos:	6
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	Vigas de cimentación superficiales
a)			b)
			
c)			d)
			
<p>Fallas: Edificio Flexible. Fallo por efecto $P - \Delta$. Columnas esbeltas y débiles con relación a la carga, colapso hacia una esquina por problemas de torsión.</p>			
<p>Observaciones: Edificio de ocupación pública que le fue cambiado el uso, con nuevas cargas al tener oficinas públicas.</p>			

Tabla A 5: Ficha Técnica del Edificio Pillin, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)

FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio El Pillin	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	Más de 25 años
Dirección:	10 de Agosto y Morales	Nº de Pisos:	6
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	-
a)		b)	
c)		d)	
<p>Fallas: Edificio abierto, falla por torsión, colapsó en sentido diagonal. Falla en los nudos.</p>			
<p>Observaciones: Edificio con altura de primer piso de 5 m, con Mezzanine. Confinamiento en cabeza de columna con un solo núcleo de estribo de 8 mm cada 20 cm</p>			

Tabla A 6: Ficha Técnica del Edificio Coop. Magisterio Manabita, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)

FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Cooperativa del Magisterio Manabita	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	Más de 25 años
Dirección:	Morales y 9 de Octubre	Nº de Pisos:	5
Ubicación:	Banda media	Cimentación:	Directa; vigas de cimentación en dos sentidos
a)			b)
c)			
<p>Fallas: Estructura flexible que falló en el sentido E-W por efecto $P - \Delta$, falla a compresión</p>			
<p>Observaciones: Al colapsar destruyó casa vecina de 3 pisos de Hormigón estructural. Altura del primer piso de 5 m, con mezzanine. Fachadas cargadas en exceso por motivos arquitectónicos.</p>			

Tabla A 7: Ficha Técnica de Edificio Mutualista Pichincha, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)





FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio Mutualista Pichincha	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	Más de 15 años
Dirección:	9 de Oct. Y Rocafuerte	N° de Pisos:	9
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	Directa (sin pilotes) con losa de cimentación
a)			b)
			
c)			d)
			
<p>Fallas: 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</p>			
<p>Observaciones: 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.</p>			

Tabla A 8: Ficha Técnica del Edificio Súper colchón 1, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)


FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio Super Colchon 1	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	-
Dirección:	Calle Alajuela y Av. Manabí	Nº de Pisos:	4
Ubicación:	Banda Media	Cimentación:	-
a)			b)
			
<p>Fallas: Falla a cortante en columnas debido a configuración Piso blando</p>			
<p>Observaciones: Cambio de uso de la edificación, utilizaban como bodegas la planta superior, se eliminaron las paredes de la planta baja para poner un local comercial</p>			

Tabla A 9: Ficha Técnica Edificio Vasquez, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)



FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio Vásquez	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	-
Dirección:	Calle Pedro Gual y Av. Olmedo	Nº de Pisos:	6
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	-
a)		b)	
			
Falla: Falla en columnas a flexión			
Observaciones: Edificio colapsa en su propio eje, colapsaron las columnas internas primeramente, lo que produjo un efecto de torsión en las demás columnas			

Tabla A 10: Ficha Técnica del Edificio Dr. Villacreses, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)

FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio Villacreses	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	-
Dirección:	Calle Sucre y Calle Espejo	Nº de Pisos:	3
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	-
a)			b)
			
Fallas: Falla a corte en columna			
Observaciones: Edificio esquinero se produjo martilleo con edificios colindantes, que ocasionaron sobrecarga a las columnas			

Tabla A 11: Ficha Técnica del Edificio El Bellaco, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)



FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio El Bellaco	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Hormigón Armado	Edad edificio:	-
Dirección:	Av. Manabí y Av. América	Nº de Pisos:	2
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	-
a)			b)
			
<p>Fallas: Piso blando.</p>			
<p>Observaciones: Se removieron columnas y paredes por cuestiones arquitectónicas y de funcionalidad</p>			

Tabla A 12: Ficha Técnica del Edificio Movistar, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)



FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio Movistar	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Madera	Edad edificio:	-
Dirección:	Pedro Gual y Ricaurte	N° de Pisos:	3
Ubicación:	Esquinero	Cimentación:	Plinto Aislado
a)			b)
			
<p>Fallas: Corte en uniones</p>			
<p>Observaciones: Las columnas inferiores tenían un encamisado de mampostería ocasionando una rigidez mayor al resto de la estructura</p>			

Tabla A 13: Ficha Técnica del Edificio Super colchón 2, adaptada de (Lopez Muñoz, 2017)

FICHA TECNICA DE INSPECCION			
Nombre:	Edificio Super Colchon 2	Tipología:	Columnas-Vigas
Material:	Acero	Edad edificio:	-
Dirección:	Calle Alajuela y Av. Manabí	Nº de Pisos:	2
Ubicación:	Banda media	Cimentación:	-
a)		b)	
c)			
Fallas: Pandeo en vigas y columnas			
Observaciones: Pandeo en vigas y columnas debido a sobre carga por colapso de edificio adyacente			

Anexo 2

INFORMACIÓN GENERAL

1.- PRESENTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Clave Catastral:

Dirección:

Propietario:

Inquilino:

Año de Construcción:

Edificio Abandonado Sí No

Utilización del edificio: Habitacional Comercio

Institucional

Fecha de inspección:

Inspectores:

Nombre:

Email:

Nombre:

Email:

2.- INGRESO DE INFORMACION

El llenado de las fichas tiene como fin el cálculo de la vulnerabilidad sísmica del edificio inspeccionado. Las fichas P1 a la P8, inciden sobre los aspectos del edificio, relevantes en la evaluación de su vulnerabilidad, correspondiéndole a cada ficha un parámetro de evaluación. El índice de vulnerabilidad es posteriormente calculado teniendo en cuenta el análisis de cada parámetro. Para ayuda, en el " handbook", esta descrito el procedimiento de evaluación de cada parámetro con más detalles.

En el llenado de las fichas se atiende las siguientes orientaciones

_Existen 4 clases de vulnerabilidad por parámetro de evaluación. La clase A es la más favorable, o sea un edificio clase A, en relación a un determinado parámetro presenta mejores condiciones, respecto a los aspectos en análisis, para responder a un eventual sismo, en cuanto a la clase D, esta es la más desfavorable;

_ En cada parámetro señalar con una "X" la clase a que pertenece el edificio en frente de la respectiva letra;

_En caso de duda entre dos clases, opte siempre por la más desfavorable, indicando en las observaciones esta duda.

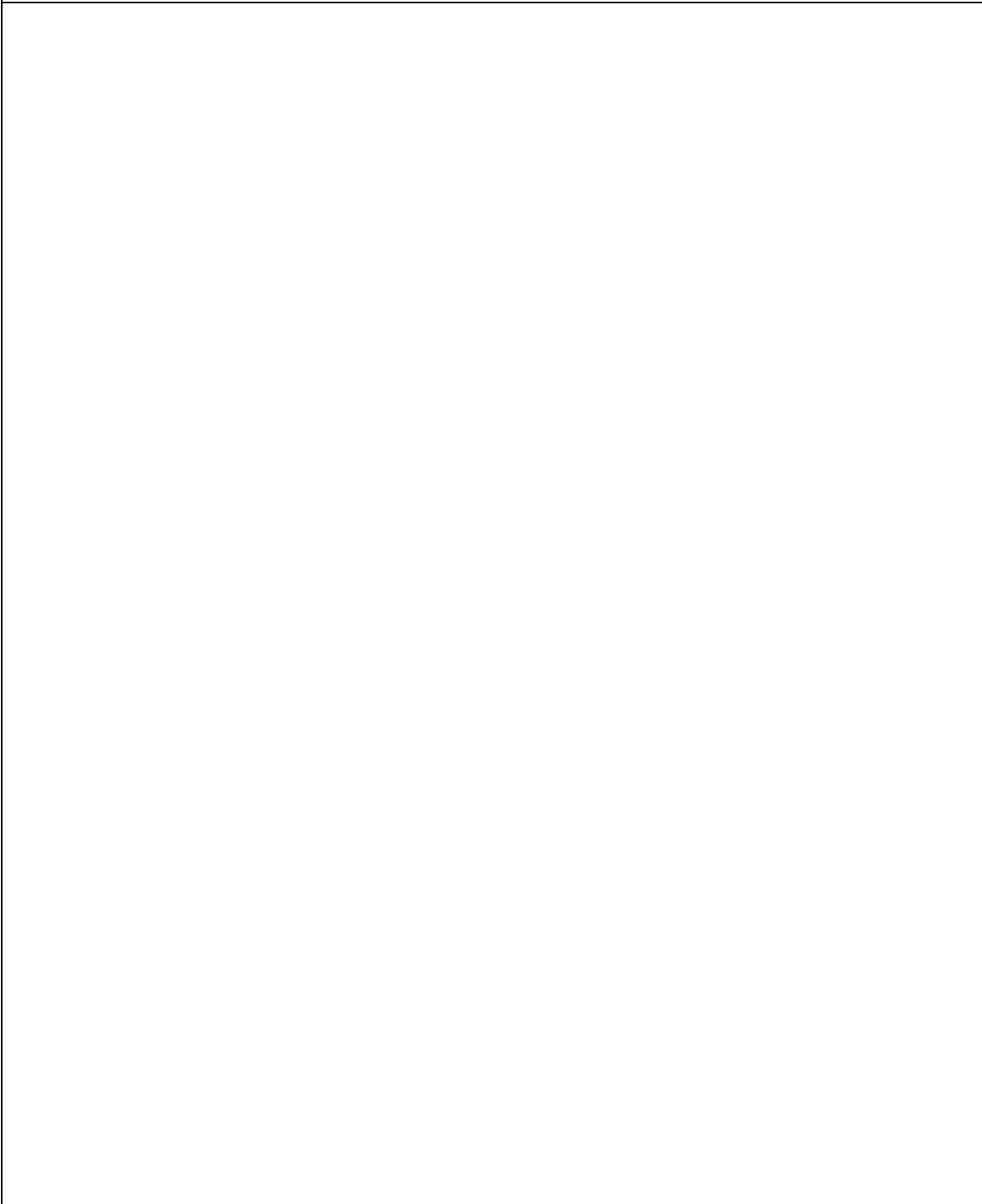
_Existe una clasificación designada de EMBA, la cual se debe de utilizar para indicar el grado de confianza de cada parámetro. Para eso señale con una "X" en el espacio correspondiente al grado de confianza en causa.

FICHAS DE INSPECCIÓN

HOJA n°

1

3.-REGISTRO FOTOGRAFICO



FICHAS DE INSPECCIÓN

HOJA nº

2

PARAMETRO P1- IMPLANTACION DEL EDIFICIO			
1.1.- Localización			
	Construcción en terreno plano	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	Construcción en relleno	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	Construcción en terreno inclinado	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
1.2.- Tipo de Suelo			
	Suelo tipo A	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	Suelo tipo B	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	Suelo tipo C	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	Suelo tipo D	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	Suelo tipo E	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	Suelo tipo F	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
Notas			
<i>Suelo tipo A (Roca Dura)</i> - Perfil de roca competente $V_s \geq 1500$ m/s			
<i>Suelo tipo B (Roca Media)</i> - Perfil de roca de rigidez media 1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s			
<i>Suelo tipo C (Roca Blanda)</i> - Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, 760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s			
que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, $N \geq 50.0$, $S_u \geq 100$ Kpa			
o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios			
<i>Suelo tipo D (Suelo Rígido)</i> - Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, 360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s			
o Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones $50 > N \geq 15.0$; 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa			
<i>Suelo tipo E (Suelo Blando)</i> - Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas $V_s < 180$ m/s			
$IP > 20$, $w \geq 40\%$, $S_u < 50$ kPa			
<i>Suelo tipo F (Suelo Pobre)</i> - Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases: F1, F2, F3, F4, F5, F6.			
Grado de confianza (EMBA)	E(Elevado)	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	M(Medio)	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	B (Bajo)	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
	A (Ausente)	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
FICHAS DE INSPECCIÓN			HOJA n°
			3

PARAMETRO P2- CONTEXTO URBANO

2.1.- Posición del edificio

Banda del medio (BM)	<input type="text"/>
Banda extrema (BE)	<input type="text"/>
Gaveto (G)	<input type="text"/>
Aislado (A)	<input type="text"/>

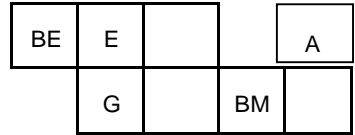
2.2.- Interacción con otros edificios

Interacción con apenas un edificio pequeño(Solo aplicado para el caso BM)	<input type="text"/>
Interacción con 2 edificios pequeños (Solo aplicado para el caso BM)	<input type="text"/>

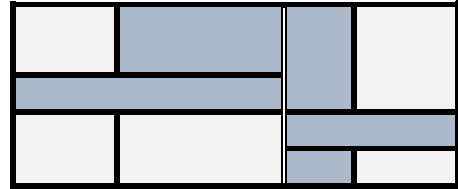
2.3.- Desniveles del piso superior a 0,5metros con otro edificio adyacente

Notas:

Posición del edificio:



Desniveles del piso con el edificio adyacente:



Grado de confianza (EMBA)

E (Elevado)	<input type="text"/>
M (Medio)	<input type="text"/>
B (Bajo)	<input type="text"/>
A (Ausente)	<input type="text"/>

FICHAS DE INSPECCIÓN

HOJA n°
4

PARAMETRO P3- EDAD DEL EDIFICIO

3.1.- Consideración de la acción sísmica del proyecto

Construido después 2011 - NEC 11	<input type="text"/>
Construido entre 2001 a 2011-CEC	<input type="text"/>
Construidos con norma extranjera antes del 2001	<input type="text"/>
Construidos sin norma sísmica	<input type="text"/>

3.2.- Estado de la construcción

Buena	<input type="text"/>
Regular	<input type="text"/>
Mala	<input type="text"/>

3.3.- Parcialmente abandonado

Notas:

Calidad de la construcción del edificio:

Configuración de la armadura, espaciamientos bien distribuidos entre las varillas o estribos y armaduras longitudinales

Garantizar una buena calidad del hormigón y cuidado en la aplicación en obra, asegurando así una buena capacidad de resistencia también como la adecuada adherencia a las armaduras

Buena ligación sobre todo en las extremidades de vigas y columnas, así como el correcto amarre entre todos los elementos estructurales

Grado de confianza (EMBA)	E (Elevado)	<input type="text"/>	
	M (Medio)	<input type="text"/>	
	B (Bajo)	<input type="text"/>	
	A (Ausente)	<input type="text"/>	

FICHAS DE INSPECCIÓN	HOJA n°
	5

PARAMETRO P4- IRREGULARIDAD EN PLANTA			
4.1.- Excentricidad del elevador		<input type="text"/>	
4.2.- La esbeltez del edificio, λ		<input type="text"/>	
4.3.- Configuración no compacta(Discontinuidades de piso, retrocesos en las esquinas		<input type="text"/>	
4.4.- Ejes no paralelos o irregularidad torsional		<input type="text"/>	
Notas:			
<p>Tipo 1.-La esbeltez del edificio, λ, en planta deberá respetar la siguiente condición</p> <p>La esbeltez $\lambda = L_{max}/L_{min}$ del edificio en planta no de ser mayor a 4, donde L_{max} y L_{min} son respectivamente la mayor y menor dimensión en planta del edificio medidas en direcciones ortogonales</p>		$\lambda = \frac{L_{max}}{L_{min}} \leq 4$	
<p>Para garantizar una forma compacta en planta, es decir, cada piso debe ser delimitado por una línea poligonal convexa (en lo que se refiere a la forma estructural en planta definida por los distintos elementos verticales no contando, por lo tanto, siendo que, si existen reentrenadas o bordes recaudos, éstas no deberán afectar la rigidez del piso en planta y el área entre la línea exterior del piso la línea poligonal convexa no deberá exceder en el 5% del área del piso</p>			
<p>Tipo 2 Retrocesos excesivos en las esquinas</p> <p>$\Phi_i=0,9$, $A>0,15B$ y $C >0,15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15%de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>			
<p>Tipo 3 Discontinuidades en el sistema de piso</p> <p>$\Phi_i=0,9$, a) $CxD > 0,5BxB$ b) $[CxD+CxE] >0,5AxB$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>			
<p>Tipo 4 Ejes estructurales no paralelos</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son párelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>			
Grado de confianza (EMBA)	E (Elevado)	<input type="text"/>	HOJA n°
	M (Medio)	<input type="text"/>	
	B (Bajo)	<input type="text"/>	
	A (Ausente)	<input type="text"/>	
FICHAS DE INSPECCIÓN			6

PARAMETRO P5- IRREGULARIDAD EN ELEVACIÓN			
5.1.- Tipo 1 - Diferencia de altura entre pisos		<input type="text"/>	
5.2.- Tipo 2 - Distribución de masa y / o ejes verticales discontinuos		<input type="text"/>	
5.3.- Tipo 3 - Irregularidad geométrica(recuos) o mezzanine		<input type="text"/>	
Notas:			
Tipo1 $\Phi E_i=0,9$ Rigidez $K_c < 0,70$ Rigidez K_d Rigidez $< 0,80 \frac{K_d + K_g + K_f}{3}$ La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menos que el 80% del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.			
Tipo 2 $\Phi E_i=0,9$ $m_d > 1,50 m_e$ o $m_d > 1,50 m_c$ La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior			
Tipo 3 $\Phi E_i=0,9$ $a > 1,3 b$ La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso			
Grado de confianza (EMBA)	E (Elevado) M (Medio) B (Bajo) A (Ausente)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
FICHAS DE INSPECCIÓN			HOJA n°
			7

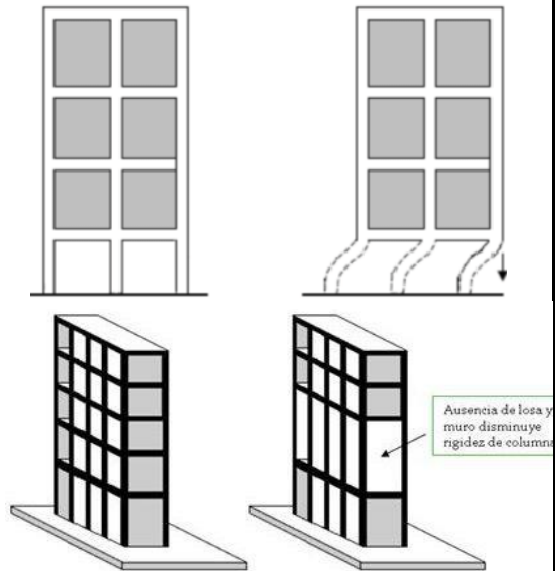
PARAMETRO P6- EXISTENCIA DEL MECANISMO *SOFT- STOREY*

6.1.- Edificio con posible formación de mecanismo *soft- storey*

6.2.- Edificio sin formación de mecanismo *soft- storey*

Nota.-

Formación de mecanismo *soft- storey*



Grado de confianza (EMBA)

- E (Elevado)
- M (Medio)
- B (Bajo)
- A (Ausente)

HOJA n°

FICHAS DE INSPECCIÓN

8

PARAMETRO P7- PRESENCIA DE PILARES CORTOS

7.1.- Sin mecanismo del tipo pilar corto

7.2.- Posible mecanismo tipo pilar corto en el piso superior

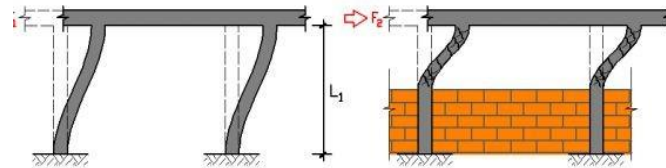
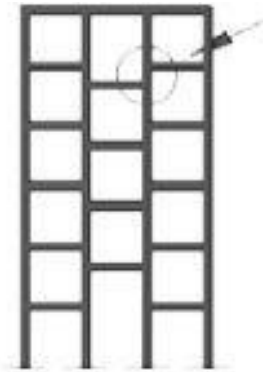
7.2.1.- Más de un piso superior con presencia de pilares cortos

7.3.-Posible mecanismo tipo pilar corto en la base del edificio

7.3.1.- n° depilares cortos suficientes para crear un mecanismo de piso

Notas:

Mecanismo de piso creado por los pilares cortos presente en la base del edificio



Grado de confianza (EMBA)

E (Elevado)

M (Medio)

B (Bajo)

A (Ausente)

HOJA n°

FICHAS DE INSPECCIÓN

9

PARAMETRO P8-OTROS ELEMENTOS

8.1- Presencia de parapetos

En la cobertura

En las barandas

8.2.-Acabados

Notas:

Tipos de Acabados

Empty space for notes and observations.

Grado de confianza (EMBA)

E (Elevado)

M (Medio)

B (Bajo)

A (Ausente)

HOJA n°

FICHAS DE INSPECCIÓN

10

EVALUACIÓN DEL EDIFICIO

	Clase	Grado de confianza	Observaciones
Parámetro 1			
Parámetro 2			
Parámetro 3			
Parámetro 4			
Parámetro 5			
Parámetro 6			
Parámetro 7			
Parámetro 8			

I_v Final

I_v Normalizado

Notas:

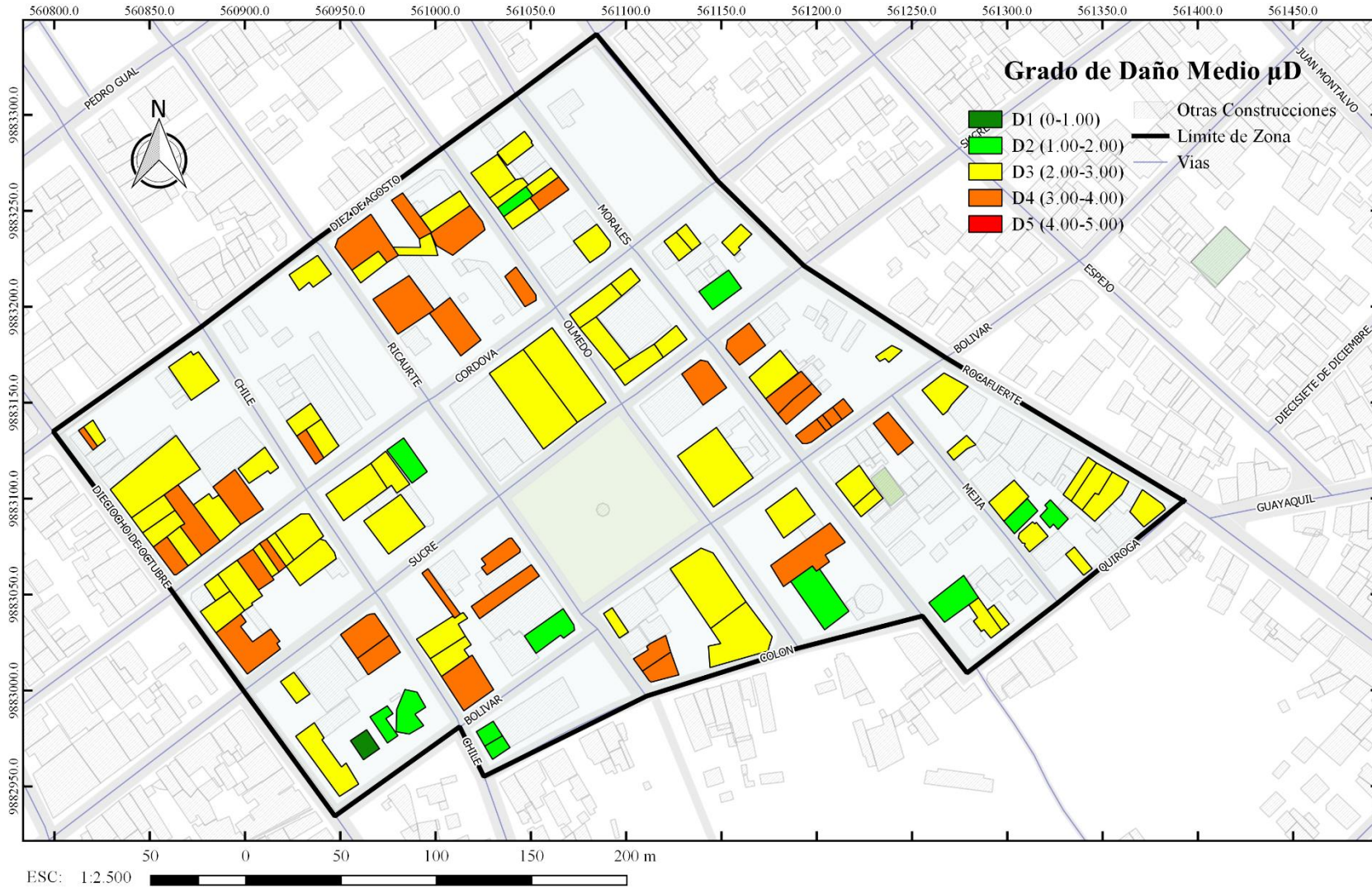
FICHAS DE INSPECCIÓN

HOJA n°

11

Anexo 3

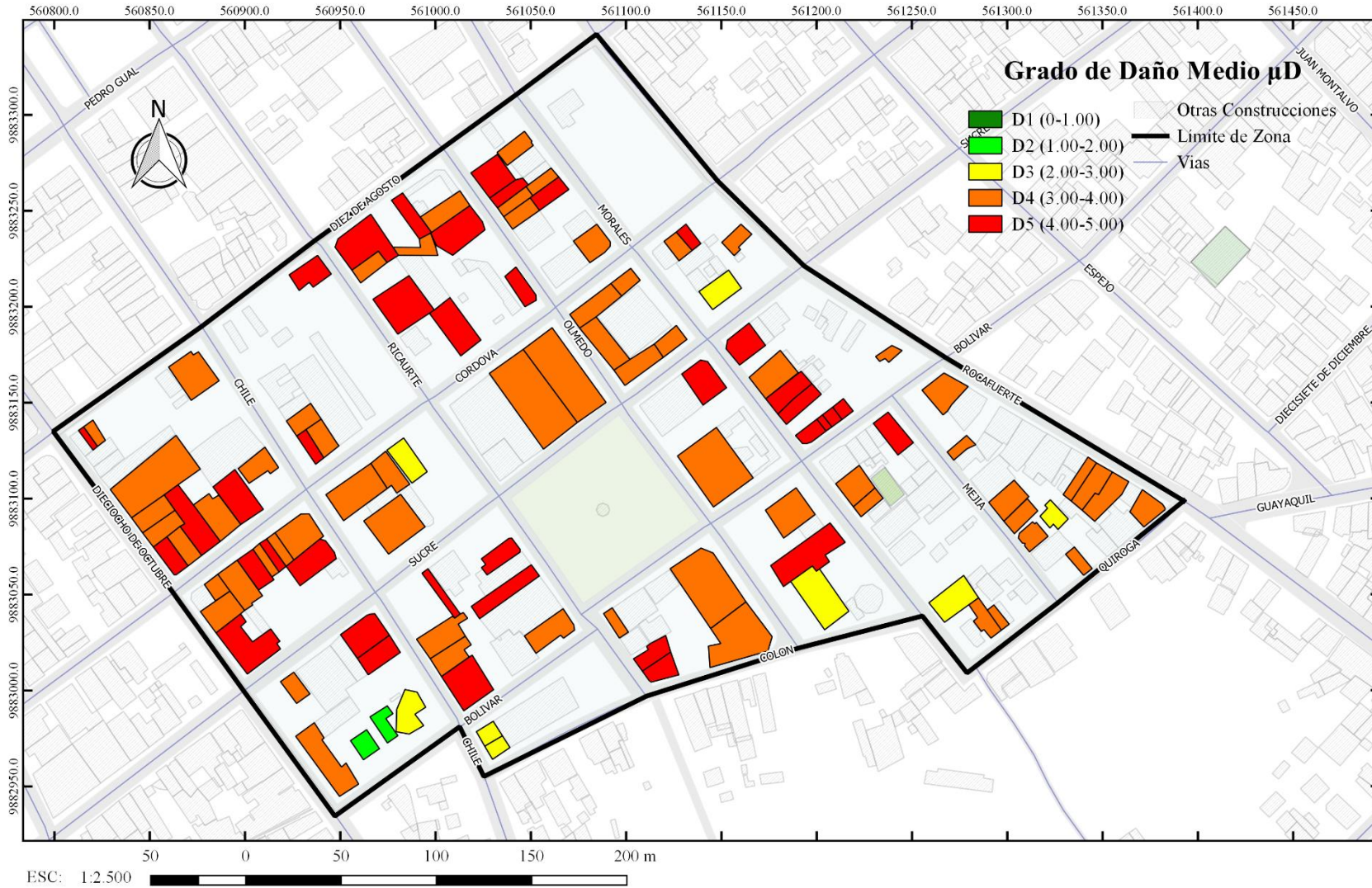
ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =VII (PRE - REFUERZO)



ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =VIII (PRE - REFUERZO)



ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =IX (PRE - REFUERZO)



ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =X (PRE - REFUERZO)



ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =XI (PRE - REFUERZO)

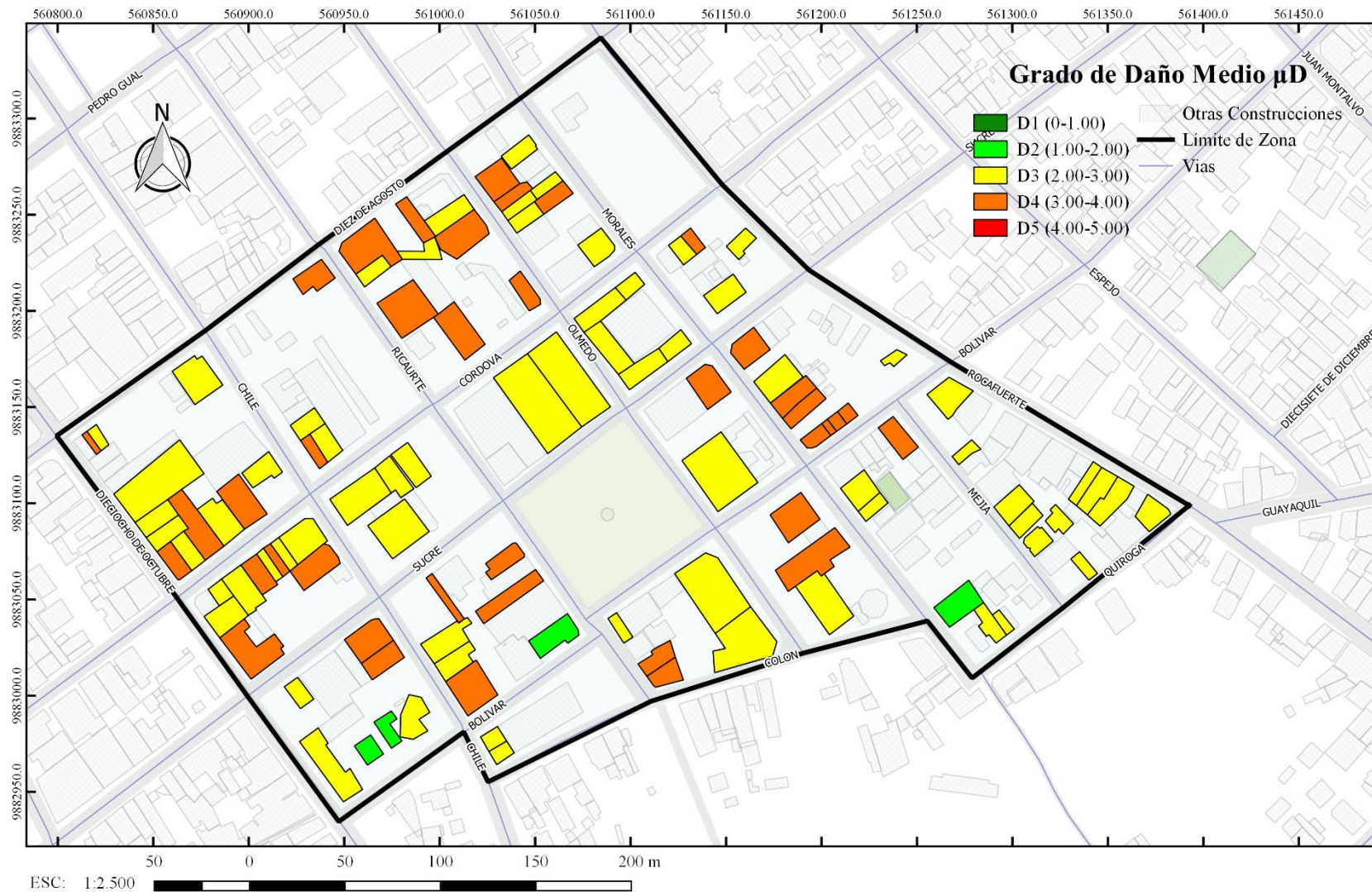


Anexo 4

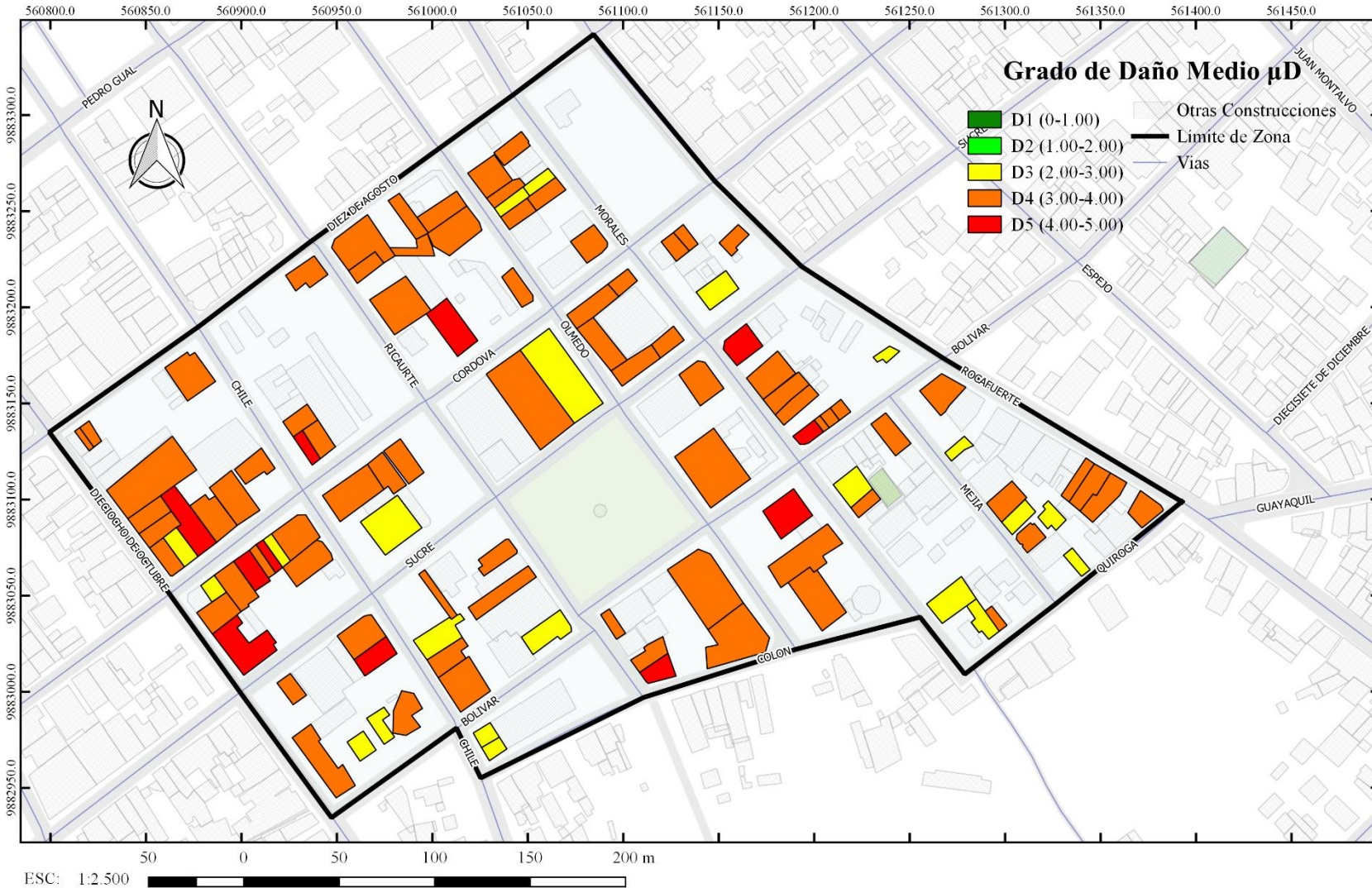
ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =VIII (POST - REFUERZO)



ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =IX (POST - REFUERZO)



ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =X (POST - REFUERZO)



ESCENARIO DE DAÑO PARA I (EMS-98) =XI (POST - REFUERZO)



