

SIMPLIFIED, PRESCRIBING METHODOLOGIES BY PERFORMANCE AND RESILIENCE, IN THE STUDY OF SEISMIC RISKS OF INFORMAL STRUCTURES

Paola Villalba⁽¹⁾, Byron Guaygua⁽²⁾, Galo López⁽³⁾, Jéssica Verduga⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Universidad Central del Ecuador.
Av. Universitaria Quito Ecuador. pxvillalba@uce.edu.ec

⁽²⁾ Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Universidad Central del Ecuador.
Av. Universitaria Quito Ecuador. baguaygua@uce.edu.ec

⁽³⁾ Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Universidad Central del Ecuador.
Av. Universitaria Quito Ecuador. galol_1995@hotmail.com

⁽⁴⁾ Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Universidad Central del Ecuador.
Av. Universitaria Quito Ecuador. belenverduga@outlook.com

Received: Julio 2020. Accepted: Diciembre 2020. Published: December 2020.

ABSTRACT

In the Aloag parish belonging to the Mejia canton, around 90% of the houses are built with reinforced concrete in an informal way, "self-built". Twenty structures representing the typical geometric and structural plans of the area were evaluated in a radius of 430 meters, using two simplified methodologies, FEMA 154 and GNDT. A linear analysis was carried out considering four scenarios, soil type and different threat levels. The periods and drifts are compared with the results in previous evaluations, obtaining greater approximations with the GNDT methodology. Performance points were determined in two representative buildings, verifying the rehabilitation objectives they reach in accordance with the Ecuadorian Construction Norm NEC, using a non-linear static analysis. Additionally, a resilience analysis was performed, through the use of FEMA P58 methodology and PACT software, determining its classification according to the assessment system of the USRC (United States Resiliency Council). Finally, the post-reinforcement results are shown in the two structures, determining that with less than 5% investment of the total cost of the same, adequate performances are achieved for seismic resistance design.

Keywords: Limited ductility, USRC (United States Resiliency Council), PACT (FEMA Tool P58), rehabilitation goals, resilience.

METODOLOGÍAS SIMPLIFICADAS, PRESCRIPTIVAS, POR DESEMPEÑO Y RESILIENCIA, EN EL ESTUDIO DEL RIESGO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS INFORMALES

RESUMEN

En la parroquia de Alóag perteneciente al cantón Mejía, alrededor del 90% de las viviendas son construidas en hormigón armado de manera informal, "auto construidas". Se evaluaron 20 estructuras que representan las configuraciones

geométricas y estructurales típicas de la zona en un radio de 430 metros, donde se utilizaron dos metodologías simplificadas, FEMA 154 y GNDT.

Se realizó un análisis lineal considerando cuatro escenarios, tipos de suelo y diferentes niveles de amenaza. Los periodos y derivas se comparan con los resultados en las evaluaciones anteriores, obteniendo mayores aproximaciones con en la metodología GNDT.

Se determinó puntos de desempeño en dos edificaciones representativas, verificando los objetivos de rehabilitación que alcanzan de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC utilizando un análisis estático no lineal. Adicionalmente, se realizó un análisis por resiliencia, a través de la utilización de la metodología FEMA P58 con el software PACT, llegando a determinar su clasificación de acuerdo con el sistema de valoración USRC (United States Resiliency Council).

Finalmente se muestran los resultados post reforzamiento en las dos estructuras, obteniendo que con inversiones menores al 5% del costo total de las mismas se alcanzan desempeños adecuados para el sismo de diseño.

Palabras clave: Ductilidad limitada, USRC (United States Resiliency Council), PACT (Herramienta FEMA p58), objetivos de rehabilitación, resiliencia.

1. INTRODUCCIÓN

Según datos de la Cámara de la Industria de la Construcción de Quito (CAMICON) el porcentaje de construcciones informales en la ciudad de Quito es del 60%, mientras que, en las zonas periféricas este asciende al 90% (El Telégrafo, 2016), valor que es ampliamente superado en los cantones y parroquias colindantes.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, al igual que muchos entes de control del país, ha emitido varias ordenanzas que permiten regularizar las construcciones informales, a través de levantamientos arquitectónicos en los que no interviene ninguna etapa de evaluación estructural, ni siquiera a través de metodologías simplificadas para determinar la vulnerabilidad de las estructuras, por lo que no se tiene la certeza de si cumplen con la filosofía de diseño sismo – resistente que se establece en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC.

Las metodologías simplificadas ofrecen de manera rápida índices de vulnerabilidad que, de manera inicial, determinan la vulnerabilidad de una estructura. Métodos como el modal espectral ofrecerán valores que podrán ser verificados con los especificados en la norma, como es el control del periodo o las derivas inelásticas.

En la actualidad existen múltiples metodologías en la verificación del real desempeño de una estructura existente, como los análisis en el rango no lineal, adicional se complementan incluyendo criterios de resiliencia, a fin de que en el

proceso de evaluación y de ser el caso, reforzamiento de una estructura exista una interacción con el propietario, a través de parámetros de seguridad, economía y factibilidad.

2. EVALUACIONES EN EDIFICACIONES INFORMALES

2.1 EVALUACIONES SIMPLIFICADAS

En la Guía para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de la NEC consta la adaptación del formulario de evaluación visual rápida del FEMA 154. La metodología propone la selección de un puntaje básico, considerado a partir de la tipología del sistema estructural. Este puntaje es afectado de cuatro parámetros modificadores a fin de obtener el puntaje final *S* que determinará el grado de vulnerabilidad. En la Tabla 1 se muestran los parámetros modificadores y el grado de vulnerabilidad sísmica en función del puntaje final obtenido *S*.

PUNTAJE BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL <i>S</i>	
TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	
Puntaje básico	
1. ALTURA	3. CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN
Baja altura (menor a 4 pisos)	Pre código: Construido antes de 1977 o auto construcción
Mediana altura (4 a 7 pisos)	Etapas de transición: Construido entre 1977 y 2001
Gran altura (mayor a 7 pisos)	Post código moderno: Construido a partir de 2001
2. IRREGULARIDAD	4. SUELO
Irregularidad vertical	Tipo de suelo C
Irregularidad en planta	Tipo de suelo D
	Tipo de suelo E
PUNTAJE FINAL	
<i>S</i>	GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA
< 2	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación espacial
2.0 - 2.5	Media vulnerabilidad
>2.5	Baja vulnerabilidad

Tabla 1 Puntaje básico, modificadores y puntaje final FEMA 154

La metodología italiana GNDT, fue inicialmente desarrollada por Benedetti y Petrini en el año de 1984, y posteriormente modificada por el Grupo Nacional para la Defensa de los Terremotos en 1990. Consta de 11 parámetros a evaluarse en tres diferentes tipos: A, B y C en función de la vulnerabilidad, pudiendo tener valores intermedios, es decir, entre A y B o, a su vez, entre B y C (Aguiar & Bolaños, 2006). En la Tabla 2 se indican los parámetros a evaluar, y la vulnerabilidad en función del puntaje final obtenido.

PARÁMETRO			
1	Organización del sistema resistente	7	Configuración en elevación
2	Calidad sistema resistente	8	Conexión en elementos críticos
3	Resistencia convencional	9	Elementos de baja ductilidad
4	Posición del edificio y cimentación	10	Elementos no estructurales
5	Losas	11	Estado de conservación
6	Configuración en planta		
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD			
I.V.		ESTRUCTURA	
0 -30		Muy segura	
31 - 60		Medianamente segura	
61- 90		Muy vulnerable	

Tabla 2 Parámetros a considerar según Metodología GNDDT

2.2 EVALUACIONES PRESCRIPTIVAS, POR DESEMPEÑO Y RESILIENTES

El tipo de suelo considerado las recomendaciones constantes en el estudio realizado por Geoprocons en 2016 para la construcción de la Unidad Educativa del Milenio Alóag, el cual considera un suelo tipo E, localizado dentro de la zona de estudio. Adicionalmente, se incluyó los resultados con un suelo tipo D, en vista que arroja un espectro de respuesta en aceleraciones más crítico para estructuras de periodos cortos.

Para el análisis modal espectral realizado se consideró cuatro escenarios, suelos tipo D y E, así como periodos de retorno para el espectro de respuesta en aceleraciones de 72 y 475 años, con la finalidad de asociar el comportamiento de las edificaciones a la filosofía de diseño sismo resistente. En la Figura 1 se indican los espectros inelásticos de los escenarios usados.

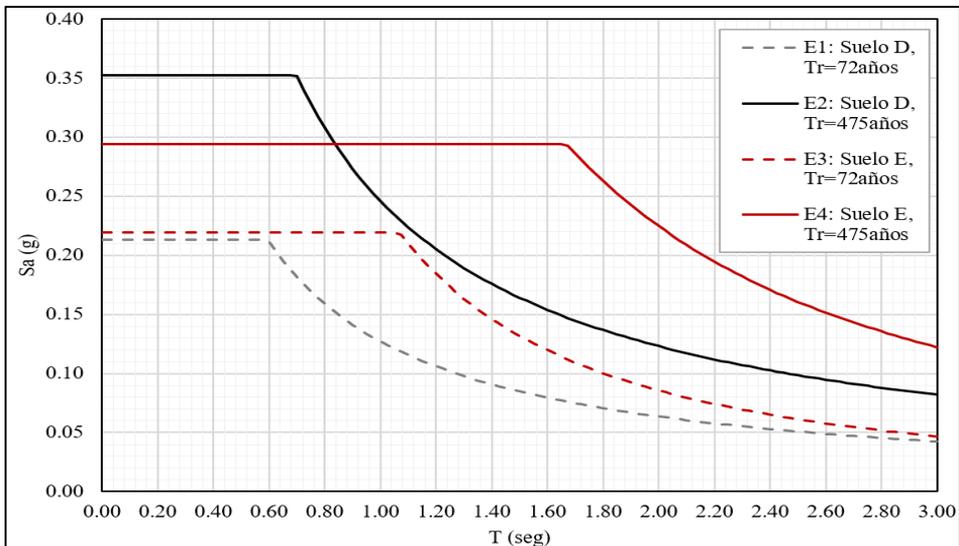


Figura 1 Espectros inelásticos

El factor de reducción de respuesta (y resistencia) R , se usa para reducir las fuerzas sísmicas constantes en una normativa, “lo cual es permitido siempre que las estructuras y sus conexiones se diseñen para desarrollar un mecanismo de falla previsible y con adecuada ductilidad, donde el daño se concentre en secciones especialmente detalladas para funcionar como rótulas plásticas” NEC. En el caso de las estructuras informales, este criterio no puede ser utilizado, insistiendo que no contaron con ningún criterio técnico, no encontrándose en esta normativa ninguna recomendación para su uso.

Autores como Aguiar han publicado criterios para la utilización apropiada y racional de este factor, sin embargo en este estudio se consideró lo dispuesto en la Normativa Colombiana NSR-10 en su Título A Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente, donde para evaluación de estructuras existentes que no tengan ningún tipo de información se permite utilizar los tres cuartos del valor recomendado en la norma, por lo que para este caso corresponde a $R=3,75$, en función del valor establecido para pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda en la NEC ($R=5$).

La NEC establece los parámetros y requerimientos mínimos para que una edificación cumpla con la filosofía de diseño sismo resistente, daño controlado, siendo el parámetro básico de control las derivas de piso. Sin embargo, esto no reflejará el real comportamiento de la estructura ante diferentes niveles de amenaza, si esta tendrá un desempeño operacional, seguridad a la vida ante un sismo determinado.

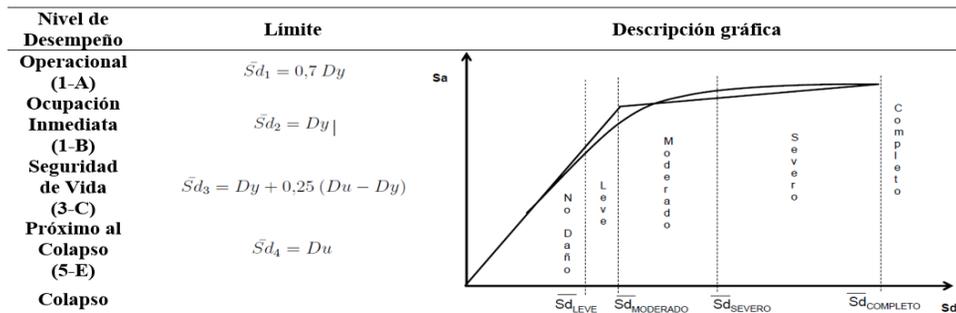


Figura 2 Umbrales de los estados de daño RISK-UE. Moreno R., 2006

Entre los análisis por desempeño podemos citar el estático no lineal, Pushover, que mediante el punto de desempeño nos permitirá verificar los objetivos de rehabilitación que cumple una estructura, es decir, el desempeño para un nivel de amenaza específico. En este estudio se utilizó para establecer los umbrales de daño lo dispuesto por Lagomarsino y Penna (2003) dentro del proyecto RISK-UE, a fin de establecer los niveles de desempeño en función del desplazamiento de fluencia Dy y el desplazamiento último Du de la representación bilineal de la curva de capacidad, conforme la Figura 2. Para encontrar el punto de desempeño, se utilizó la superposición de los espectros de demanda reducidos formato MADRS calculados a partir del FEMA 440, con los espectros de capacidad de las estructuras.

Basados en el concepto del desempeño de una estructura, y del daño que esperan los propietarios ante un sismo de gran magnitud, se han desarrollado

sistemas de valoración que permitan a todos ser conscientes del riesgo sísmico y de esta manera tomar mejores decisiones acerca de las estructuras que habitan, a través de análisis resilientes.

El sistema de valoración USRC (2018) (United States Resiliency Council) considera tres parámetros fundamentales: seguridad, daño y recuperación, catalogando a las estructuras desde una clasificación Platinum que representa el nivel más alto de desempeño, teniéndose costos de reemplazo menores al 5%, hasta una Certificación para estructuras que cumplen con códigos modernos, preservando la seguridad de vida de los ocupantes y costos de reemplazo menores al 40%; no se acepta pérdidas de vida, daños severos ni tiempo de recuperación mayor a un año. Para el análisis resiliente se utilizó la herramienta PACT cumpliendo con las disposiciones del FEMA P58. Se exponen las consideraciones generales usadas.

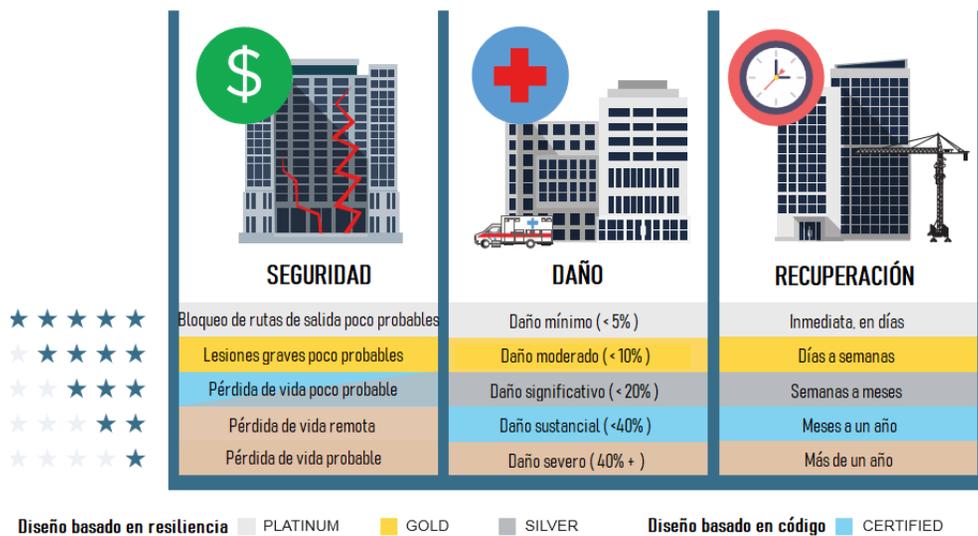


Figura 3 Clasificación USRC en función de la seguridad, daño y recuperación (USRC, 2018)

- ✓ *Multiplicadores de costo:* el programa PACT contiene funciones de consecuencia para costos de reparación basados en los costos de construcción para California del Norte al 2011; se realizó un análisis de costos promedio para la zona a fin de utilizar como factor multiplicador.
- ✓ *Información del edificio:* características de la estructura como número de pisos, altura y área; costo total de reemplazo que incluye el 25% de incremento por demolición y remoción de escombros.
- ✓ *Grupos de fragilidad:* grupos de desempeño y fragilidad de los pórticos de hormigón armado y la mampostería, considerando las recomendaciones de Aguiar (2018) para la curva de fragilidad de este componente no estructural.

- ✓ *Fragilidad de colapso*: mediante el uso de la herramienta SPO2IDA se realiza un análisis dinámico incremental (IDA) aproximado a partir de la curva obtenida en el análisis estático Pushover, lo que permite obtener la aceleración espectral de colapso $S_a(\bar{T})$, valor que indica la intensidad en fracción de la gravedad para la cual se alcanza el colapso en la estructura de manera probabilística.
- ✓ *Análisis estructural*: se emplea un análisis no lineal simplificado basado en intensidad, según lo especificado en los volúmenes 1 y 2 del FEMA P-58.

3. MUESTRA DEL ESTUDIO

La parroquia de Alóag pertenece al cantón Mejía, provincia de Pichincha, y está ubicada a 33 km al sur de la ciudad de Quito. Alrededor del 90 % de las viviendas en el sector son construidas en hormigón armado, por lo cual se analizaron estructuras que puedan representar a las configuraciones geométricas y estructurales típicas edificadas, considerando el análisis de 20 estructuras dispersas en un radio de 430 metros, de acuerdo con la Figura 4. Las tipologías corresponden a edificaciones de uno, dos, tres y cuatro pisos como se muestra en la Figura 5, siendo las mismas construcciones informales, es decir que no contaron con profesionales en ninguna etapa ni de diseño ni construcción.



Figura 4 Ubicación zona de estudio

Se realizaron visitas de campo a las viviendas analizadas, evidenciando que un 80% de las edificaciones evaluadas contaban con las regularizaciones de construcciones informales, en aplicación de las ordenanzas emitidas por el GAD Municipal del Cantón Mejía en los últimos años, donde se considera el levantamiento arquitectónico con el fin de evidenciar los m² construidos, sin

involucrar ningún estudio de evaluación estructural, ni siquiera la aplicación de metodologías simplificadas como la constante en la NEC (adaptación FEMA 154).



Figura 5 Viviendas evaluadas

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIONES PRE EVENTO

En la Figura 6 se muestra el puntaje final S de las 20 viviendas analizadas en aplicación de la adaptación del FEMA 154, evidenciando que no se sigue ningún patrón en esta metodología, donde el parámetro de mayor incidencia para estas

estructuras es el año de construcción (para este caso autoconstrucción), encontrándose que todas las edificaciones tienen alta vulnerabilidad. Con la utilización del GNDT se aprecia la variación de los resultados en función directa con la altura de la estructura, como se evidencia en la Figura 7, donde las viviendas de tres y cuatro pisos se acercan al límite del índice de vulnerabilidad de IV=60, que las cataloga como muy vulnerables.

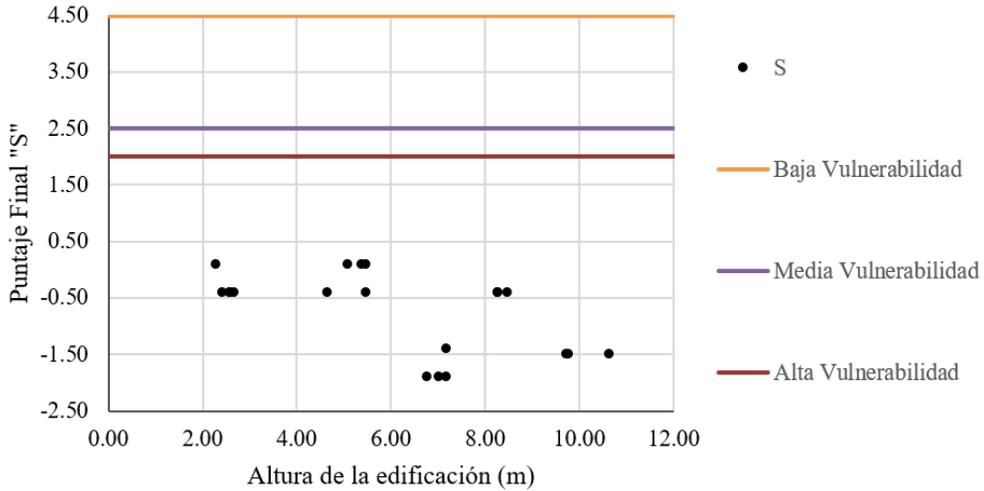


Figura 6 Puntaje final S FEMA 154

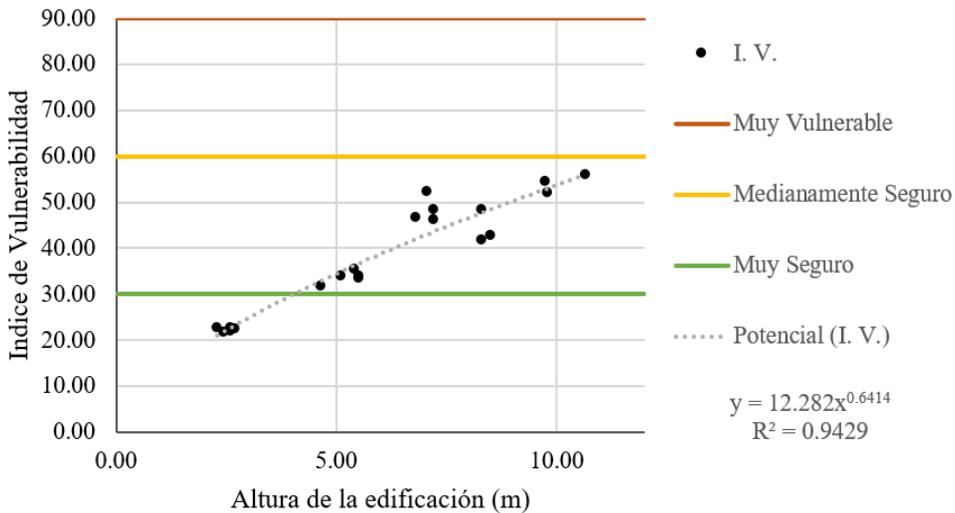


Figura 7 Índice de Vulnerabilidad IV GNDT

4.2 PERIODO Y DERIVAS INELÁSTICAS

De acuerdo con el periodo fundamental del método 1 establecido en la NEC T_n , así como el valor límite $1,30T_n$, en la Figura 8 se muestran los periodos obtenidos con el método de superposición modal considerando pórticos resistentes a momento de hormigón armado, evidenciando que todas las estructuras

sobrepasan los límites establecidos en la NEC, siendo el caso crítico las edificaciones de cuatro pisos.

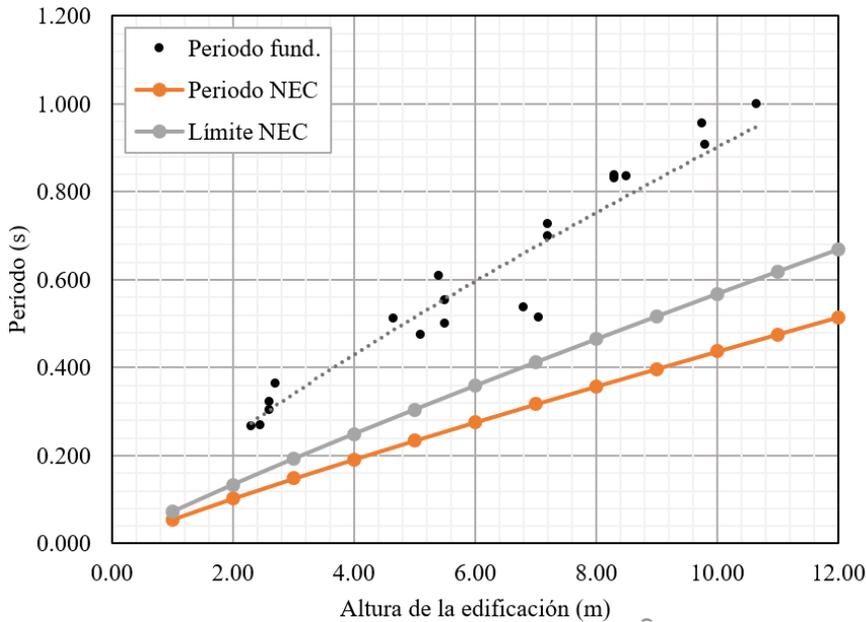


Figura 8 Periodo fundamental viviendas

En el análisis de las derivas inelásticas, se evidencia un buen comportamiento de las estructuras de un piso (Figura 9), teniéndose un valor promedio de 1,04% para el escenario 2 un suelo tipo D y un periodo de retorno de 475 años. El máximo valor encontrado corresponde a la vivienda T.O., de 1,46%. Para las estructuras de dos pisos (Figura 10) el porcentaje promedio de la deriva inelástica es de 1,93%, teniendo el caso crítico de la estructura O.T. que supera el límite de la NEC al tener un valor de 2,48%.

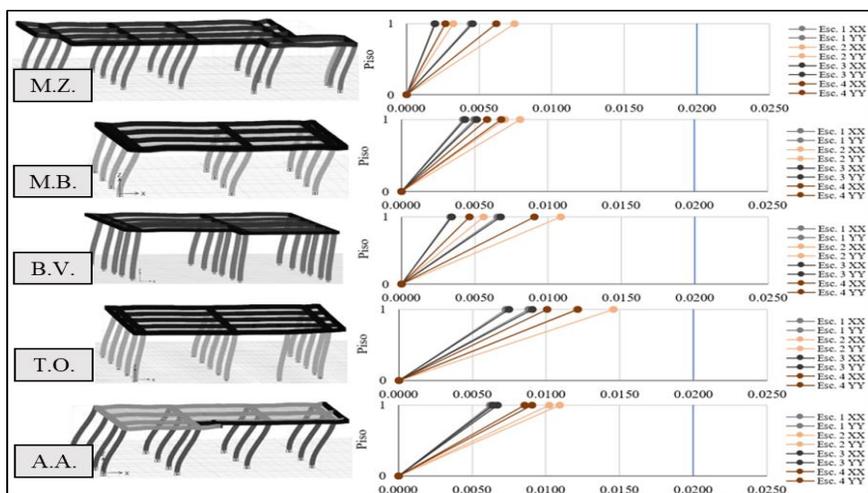


Figura 9 Derivas inelásticas tipología 1

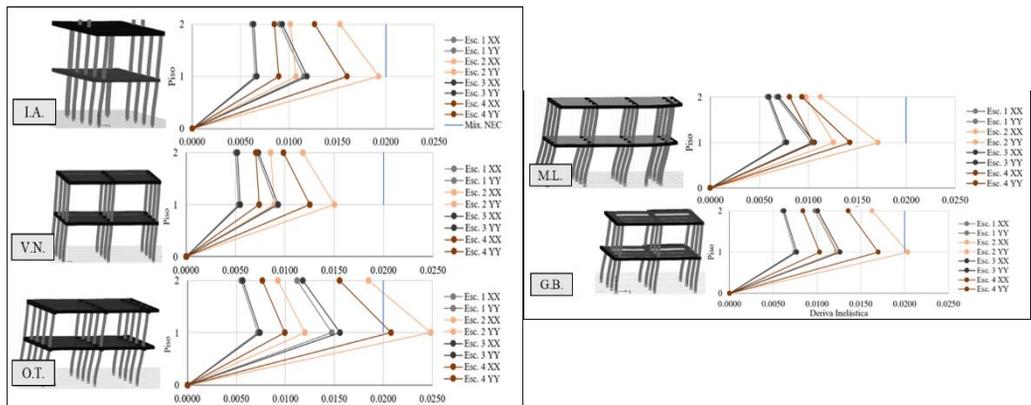


Figura 10 Derivas inelásticas tipología 2

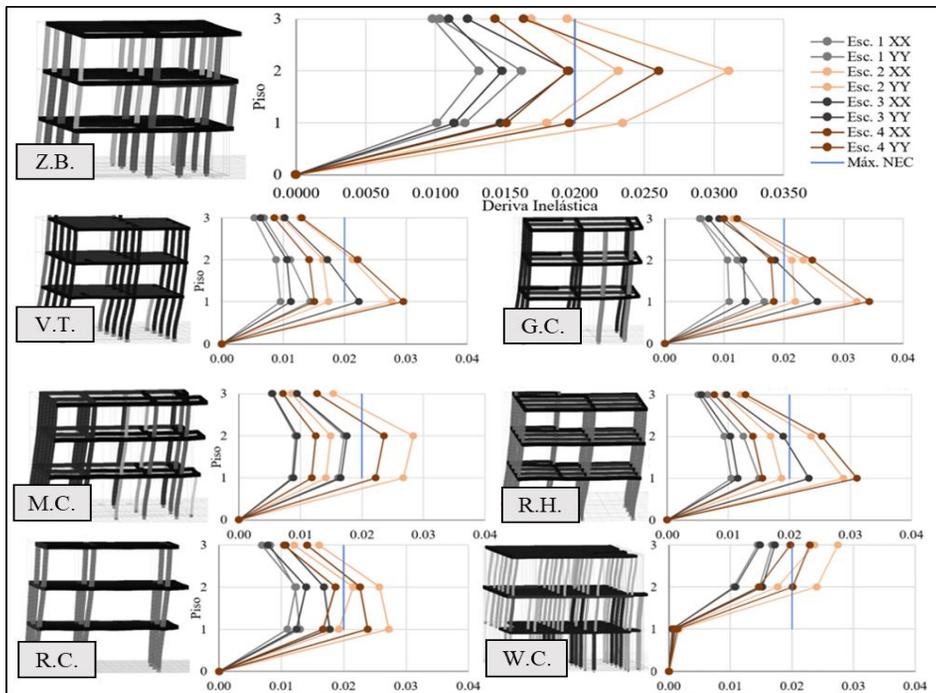


Figura 11 Derivas inelásticas tipología 3

En las estructuras de tres pisos los mayores valores se obtienen para el escenario que considera suelo tipo D y periodo de retorno de 475 años, teniéndose valores promedio de 2,90%, mientras que en las edificaciones de cuatro pisos el escenario más desfavorable corresponde al considerar suelo tipo E con un valor promedio de derivas inelásticas de 3,85%. El caso crítico se evidencia en la vivienda M.L. donde la deriva inelástica es del 4,02%; incluso para el sismo de 225 años de periodo de retorno, la deriva sigue siendo alta, de 2,99%. Los resultados se muestran en las Figuras 11 y 12.

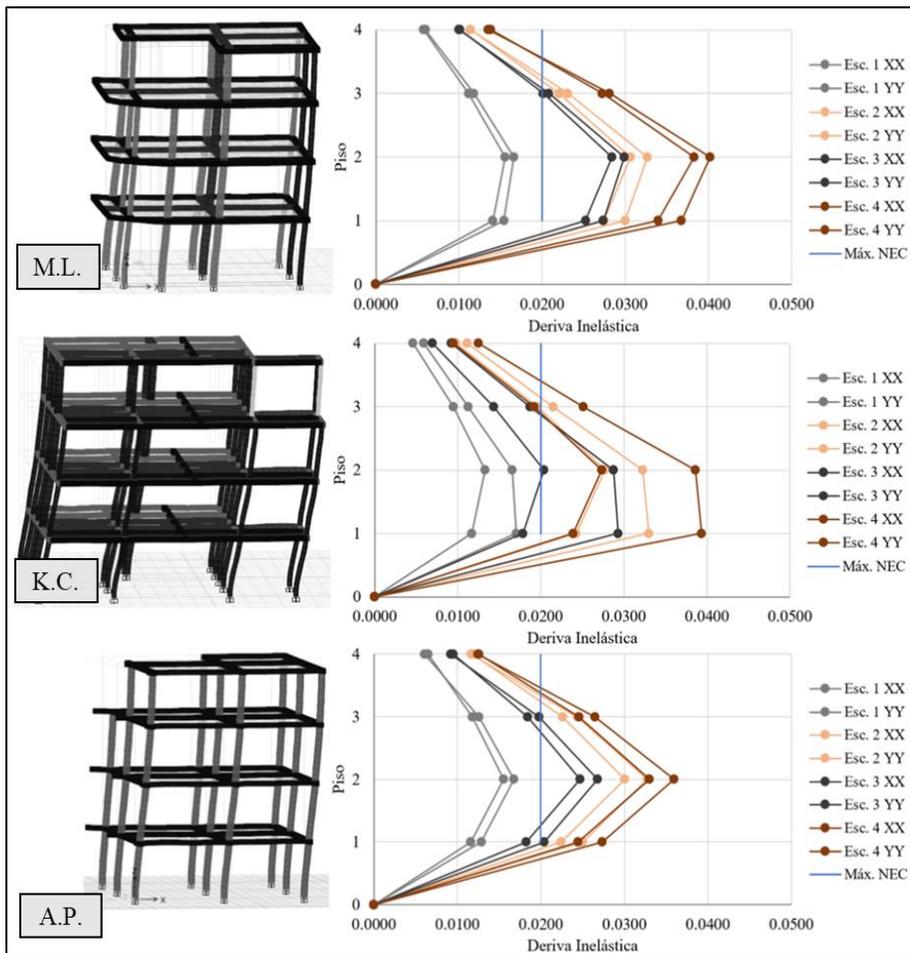


Figura 12 Derivas inelásticas tipología 4

En la Figura 13 se muestra un resumen de las derivas inelásticas encontradas en función del periodo fundamental evidencia el incremento drástico de las derivas de piso para las estructuras de tres y cuatro pisos.

Este comportamiento obedece a la forma tradicional de las construcciones informales en el país, donde las viviendas de un piso son realizadas con la experiencia de personal no calificado, utilizando dimensiones estándar de columnas de 20 y 20 cm de dimensión por lado, luces libres de hasta 5,0 y losas planas con viga banda de 20 cm de espesor. Los elementos estructurales de alguna manera se acercan a las recomendaciones de la NEC, en su capítulo Vivienda.

Sin embargo, al no contar con el asesoramiento técnico profesional, estas prácticas se conservan en la ampliación de varios pisos, teniendo el caso crítico de conservar las dimensiones apropiadas para un piso en edificaciones de cuatro plantas. Esto se pudo evidenciar en todas las viviendas evaluadas.

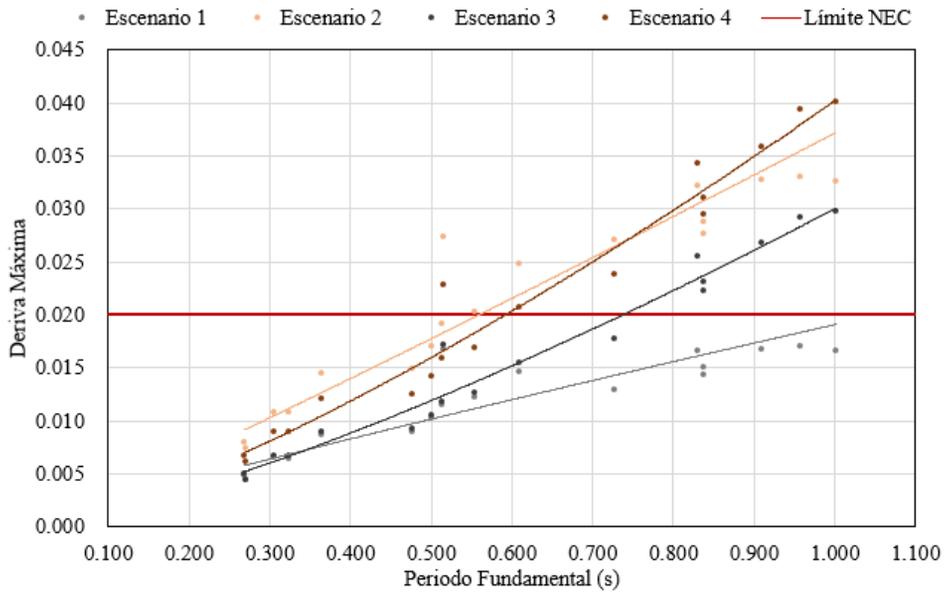


Figura 13 Derivas inelásticas tipología 4

4.3 OBJETIVOS DE REHABILITACIÓN

Se seleccionaron dos estructuras representativas del grupo, las viviendas WC y RH, como niveles de amenaza los establecidos en la NEC. Se incluyó los sismos de VISIÓN 2000 a fin de tener desempeños de las estructuras con niveles de amenaza menores a los establecidos en la normativa.

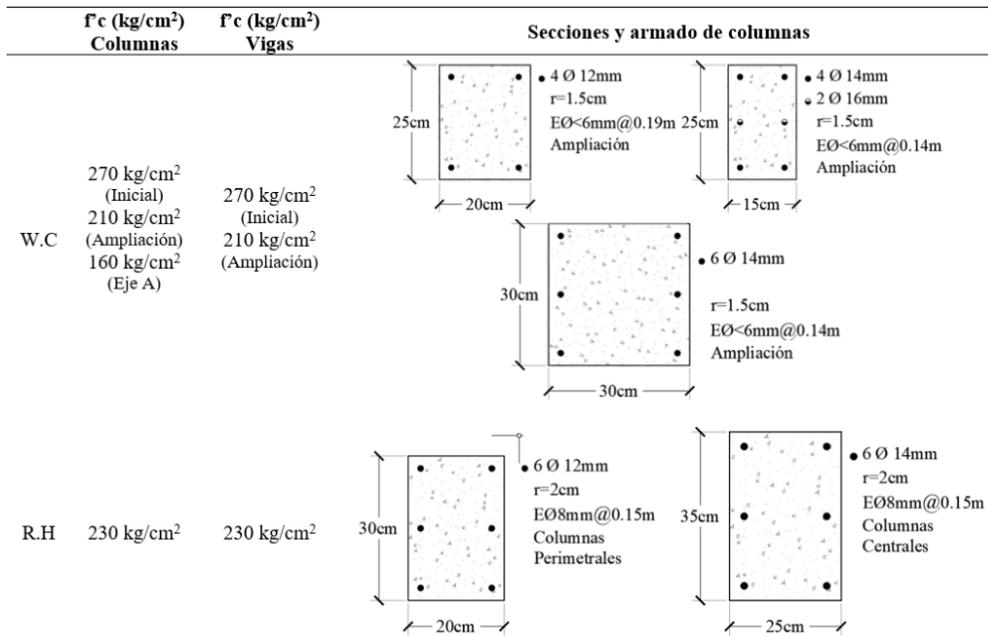


Figura 14 Resultados ensayos semi destructivos

Para el análisis por desempeño se utilizaron los modelos constitutivos de Mander confinado, en el hormigón, y el de Park en el acero. La histéresis consideró el modelo de Takeda. Las propiedades de los materiales utilizados en el análisis se obtuvieron mediante ensayos semi destructivos en los elementos estructurales, esclerometrías para encontrar la resistencia a la compresión del hormigón en columnas y vigas, y escaneo de armaduras para determinar el acero longitudinal y transversal de las secciones. Los resultados de los ensayos se presentan en la Figura 14.

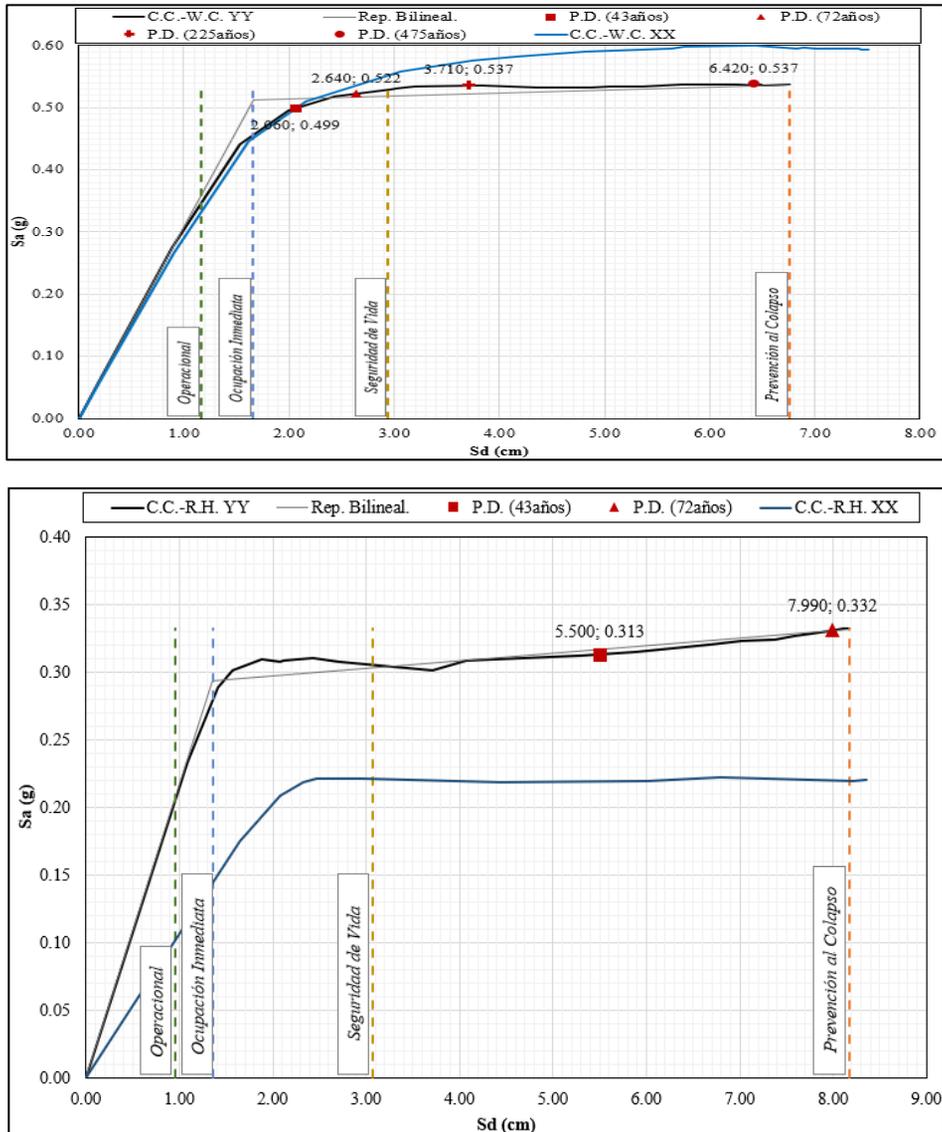


Figura 15 Puntos de desempeño viviendas W.C. y R.H.

Los puntos de desempeño de las estructuras analizadas se muestran en la Figura 15. La vivienda WC en el sentido de análisis más crítico demuestra un

comportamiento de seguridad a la vida para el sismo frecuente, y para el sismo raro el punto de desempeño está cercano al colapso. La estructura RH presenta un comportamiento más crítico, encontrándose un desempeño de prevención al colapso para el sismo frecuente, 72 años de periodo de retorno.

En la Figura 16 se muestran los objetivos de rehabilitación que las dos estructuras cumplen en función de lo establecido en la normativa, evidenciándose el inadecuado comportamiento: la vivienda WC seguridad a la vida para un sismo frecuente, y la estructura RH prevención al colapso para el mismo sismo. Este desempeño es preocupante para sismos de periodo de retorno de 72 años.

VIVIENDA WC



		Niveles de desempeño			
		Operacional (1-A)	Ocupación inmediata (1-B)	Seguridad de vida (3-C)	Prevención al colapso (5-E)
Nivel del terremoto	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

VIVIENDA RH



		Niveles de desempeño			
		Operacional (1-A)	Ocupación inmediata (1-B)	Seguridad de vida (3-C)	Prevención al colapso (5-E)
Nivel del terremoto	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

Figura 16 Objetivos de rehabilitación NEC

4.4 VALORACIÓN URSC

Vivienda W.C.: El mayor daño se evidenció en el tercer nivel debido a la discontinuidad de las columnas. En la Figura 17 se evidencia daño moderado para un sismo de $T_r=43$ años en la mampostería. El costo de reparación para un sismo frecuente es del 23.0 %. Para un sismo ocasional ($T_r=225$ años) el daño en nudos empieza a ser importante, sin embargo, la mampostería sigue presentando mayor daño. Para el sismo raro la estructura presenta un costo de reparación que

representa el 47.30 % del costo total de reemplazo, presentando daño muy alto en nudos, mientras que la mampostería presenta mucho daño.

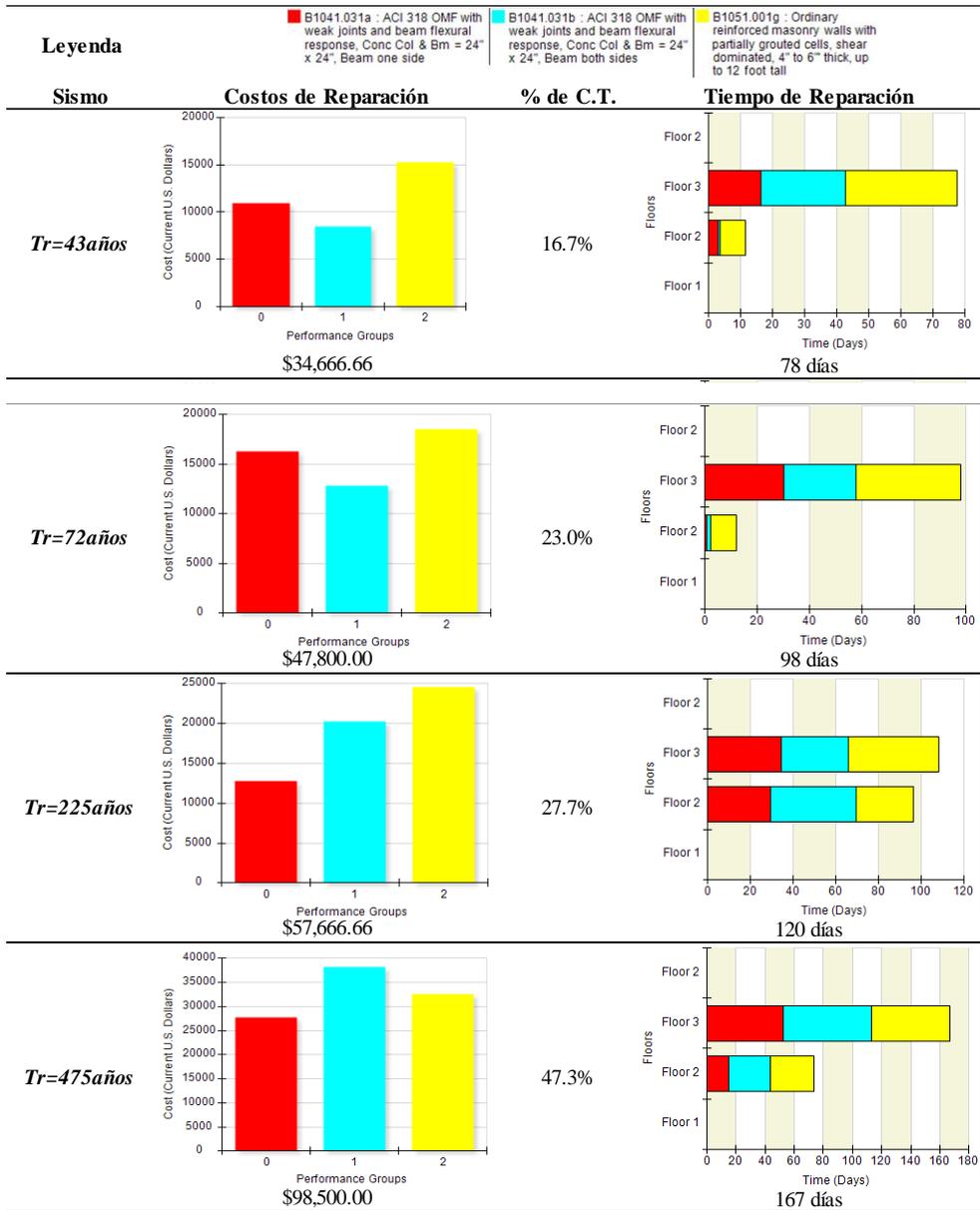


Figura 17 Porcentajes costos reparación estructura W.C.

Vivienda R.H.: En la Figura 18 se muestran costos de reparación más críticos para niveles de amenaza de 43 y 72 años de periodo de retorno. Para el sismo ocasional el porcentaje alcanza el 39,9% mientras que para el sismo de diseño se

tiene un valor muy alto: 69,9%. Estos resultados guardan relación directa con los obtenidos en el análisis Pushover.

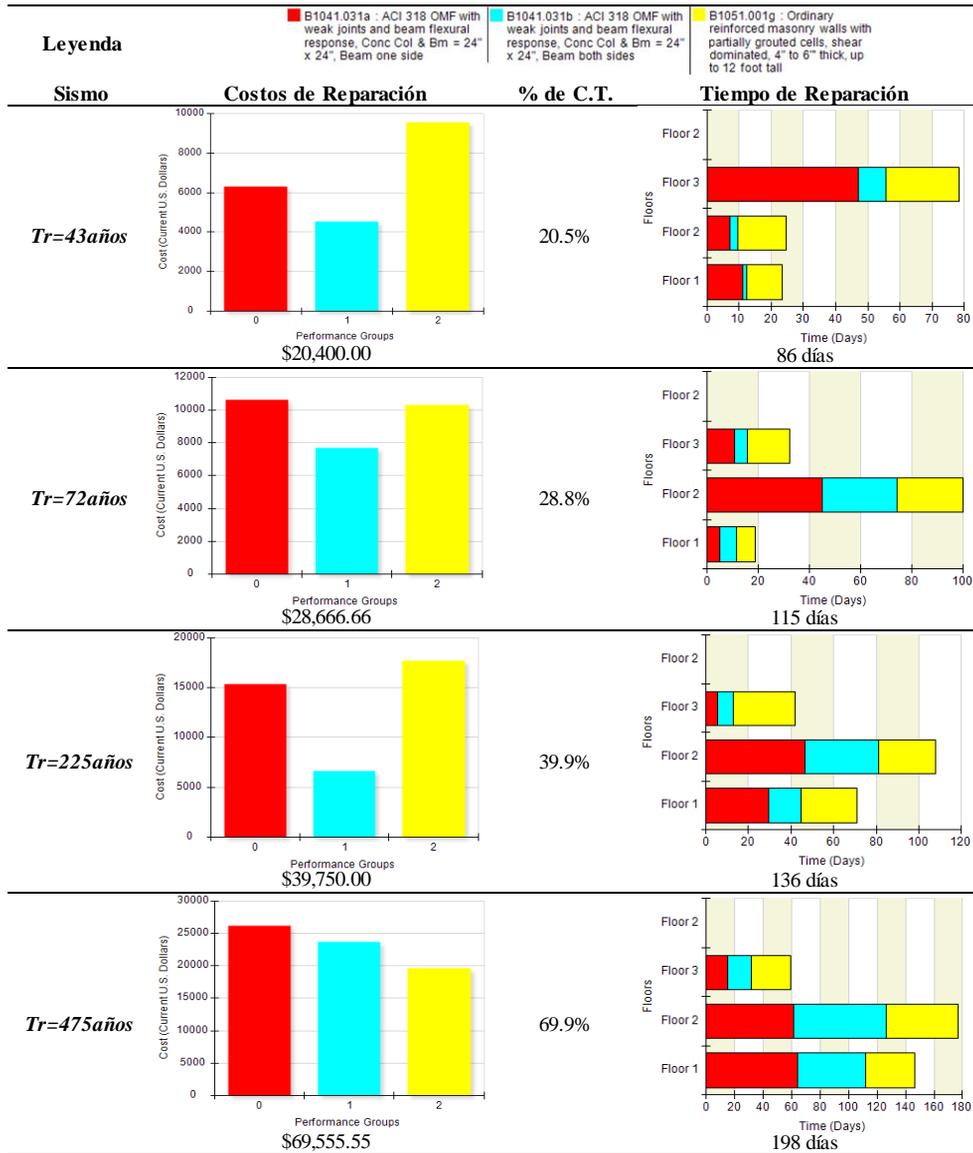


Figura 18 Porcentajes costos reparación estructura R.H.

Las estructuras presentan valores demasiados altos de costos de reparación, por lo que la recomendación de presentarse escenarios menores al nivel de amenaza de diseño sería el derrocamiento de las edificaciones. Las estructuras requieren ser reforzadas, evidenciándose que aún para sismos menores a los estipulados en la normativa (VISION 2000, 43 años de periodo de retorno), éstas representan un peligro para sus ocupantes.

4.6 EVALUACIÓN POST REFORZAMIENTO

En las dos viviendas analizadas se consideró como estrategia de reforzamiento la incorporación de encamisado en columnas con placas de acero. Esta estrategia de rehabilitación mejoró las irregularidades encontradas en planta y elevación.

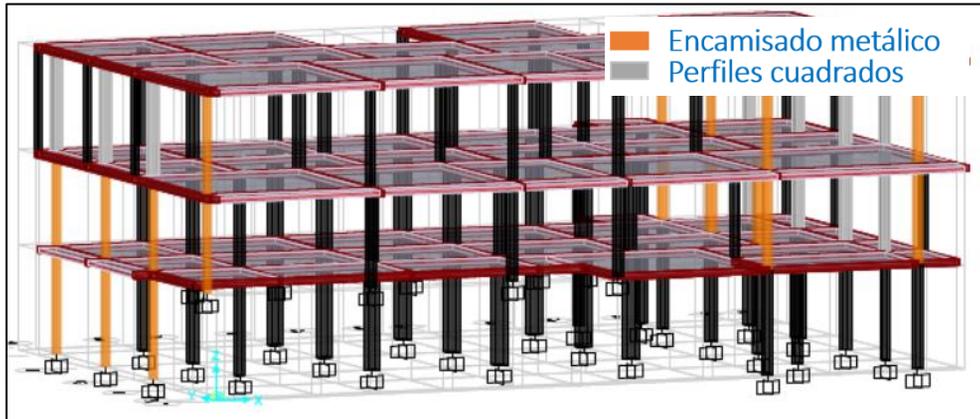


Figura 19 Propuesta reforzamiento estructura W.C.

En la estructura WC, a fin de garantizar la continuidad de columnas, por encontrarse ejes verticales discontinuos, se adicionó perfiles de acero cuadrados como se muestra en la Figura 19. Al tener un gran número de pórticos con luces menores, solucionando la irregularidad vertical, presenta puntos de desempeño apropiados, incluyendo prevención al colapso para el sismo de 2500 años.

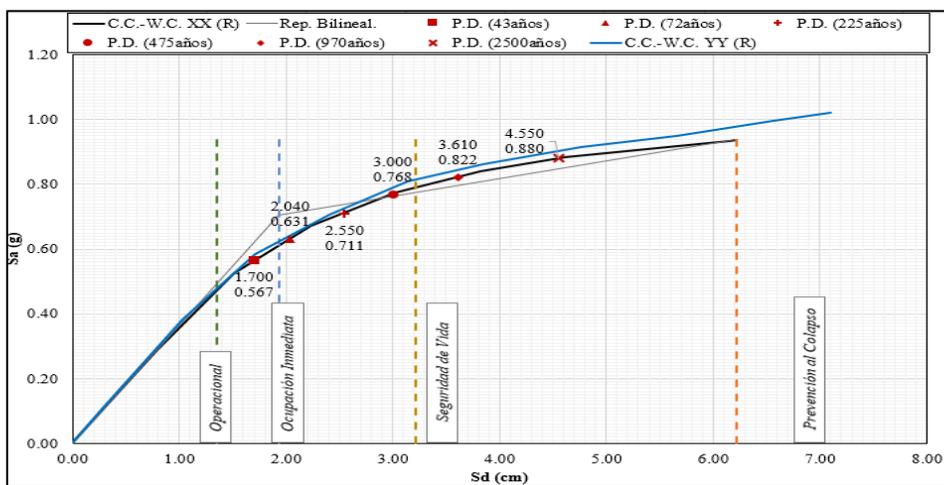


Figura 19 Puntos de desempeño post – reforzamiento estructura W.C.

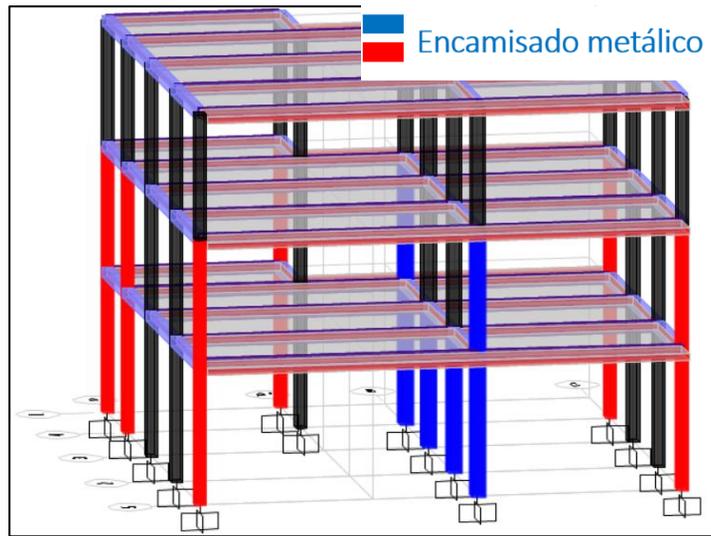


Figura 20 Propuesta reforzamiento estructura R.H.

En las figuras 20 y 21 se tiene la ubicación de los reforzamientos planteados y los puntos de desempeño alcanzados para la estructura RH, alcanzando desempeño en el límite entre ocupación inmediata y seguridad a la vida para un sismo de 42 años de periodo de retorno.

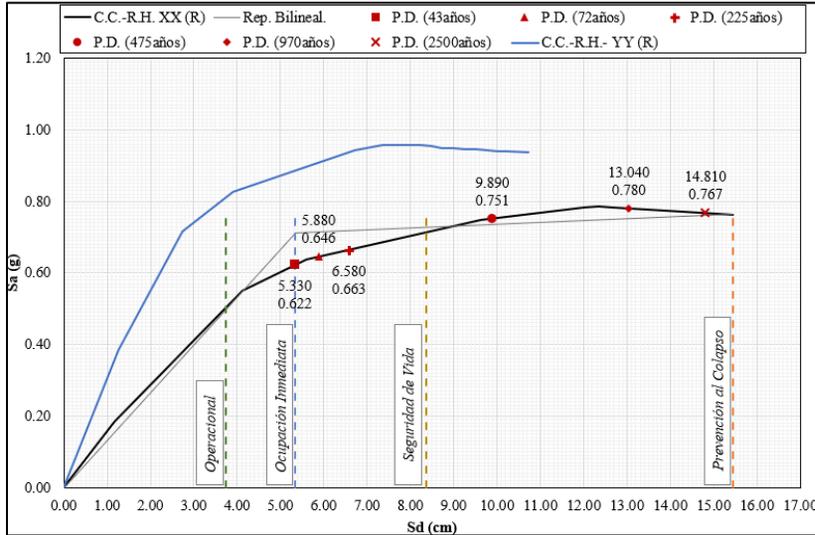


Figura 21 Puntos de desempeño post – reforzamiento estructura R.H.

En la Figura 22 se tienen los costos de reparación alcanzados post reforzamiento para el sismo de diseño, teniéndose porcentajes del 23,2% y 38,7% para las estructuras W.C. y R.H. respectivamente. Esto se logrará con costos de reforzamiento relativamente bajos: para la vivienda W.C. una inversión del 1,51% del costo total de la edificación, y para la estructura R.H. 5,04%.

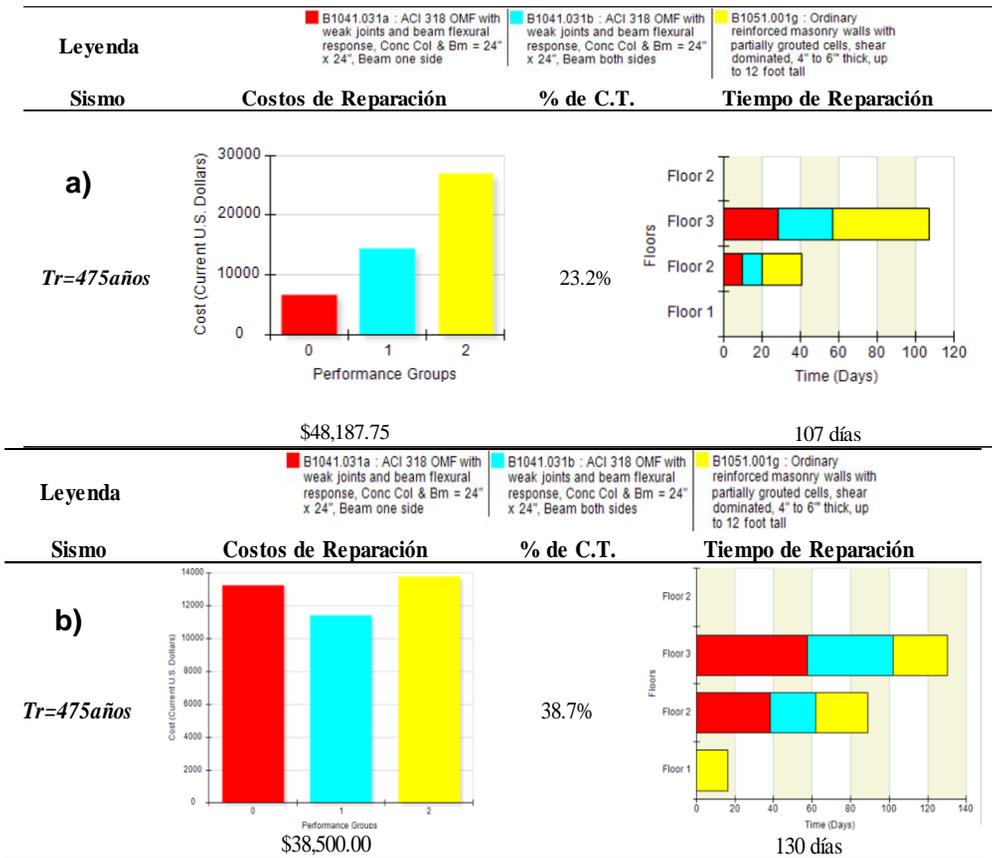


Figura 22 Costos de reparación post reforzamiento a) vivienda W.C., b) vivienda R.H.

Mediante la implementación de estrategias de rehabilitación basadas en la modificación local de componentes, se mejoró notablemente el comportamiento de las dos viviendas, logrando objetivos de rehabilitación apropiados y mejorando su comportamiento resiliente, por lo que, en las estructuras rehabilitadas se logró alcanzar una clasificación “CERTIFIED” en la escala del USRC. Es decir, las dos estructuras cumplirán con una normativa moderna, cumpliendo con la filosofía de diseño sismo resistente con costos de reemplazo menores al 40%, para el sismo de 475 años de periodo de retorno.

5. CONCLUSIONES

La adaptación del FEMA 154 propuesta en la NEC, no es aplicable en estructuras informales, ya que solo considera como parámetro incidente el código de construcción, mientras que la metodología italiana al incluir parámetros como organización y calidad del sistema resistente, la resistencia convencional, conexión

de elementos críticos entre otros, presenta resultados que guardan relación directa con los obtenidos al utilizar un análisis prescriptivo (modal espectral).

EDIFICACIÓN REHABILITADA	
	CERTIFIED
	VIVIENDA W.C.
	SEGURIDAD Pérdida de vida remota DAÑO Daño sustancial (< 40%) RECUPERACIÓN Meses a un año
EDIFICACIÓN REHABILITADA	
	CERTIFIED
	VIVIENDA R.H.
	SEGURIDAD Pérdida de vida remota DAÑO Daño sustancial (< 40%) RECUPERACIÓN Meses a un año

Figura 23 Certificaciones alcanzadas USRC post - reforzamiento

Las estructuras representativas seleccionadas, requieren ser reforzadas a fin de que cumplan con una filosofía sismo resistente, ya que se encontraron desempeños de prevención al colapso para un sismo frecuente, costos de reparación de hasta el 70% para el sismo de 475 años de periodo de retorno. Analizando un nivel de amenaza menor a la normativa, de acuerdo a VISION 2000, se evidencia un comportamiento crítico.

Posterior a la propuesta de reforzamiento, las estructuras presentan un excelente comportamiento alcanzado en el sistema de valoración URSC una certificación, es decir el comportamiento corresponde a una estructura que cumple con una normativa moderna, con costos de reparación menores al 40% para el sismo de diseño, teniéndose una inversión de hasta el 5% del monto total de la construcción, incrementando su vida útil.

REFERENCIAS

1. Aguiar, R., & Bolaños, D. (2006). Evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica en edificios de hormigón armado. XIX Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural: Quito, Ecuador.

2. Aguiar, R., Freire, C., & Yáñez, G. (2018). Sistema de calificación de costos REDITM utilizando la metodología FEMA P-58, aplicada a edificaciones de mediana y gran altura. *Ciencia* 19(1).
3. FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Redwood City, California.
4. FEMA p58-v1. (2012). *Seismic Performance Assessment of Buildings. Volume 1 - Methodology*. Washington, D.C.
5. FEMA p58-v2. (2012). *Seismic Performance Assessment of Buildings. Volume 2 - Implementation Guide*. Washington, D.C.
6. GEOPROCONS. (2016). *Recomendaciones para el diseño de cimentaciones proyecto "UNIDAD EDUCATIVA DEL MILENIO ALÓAG"*. Alóag, Pichincha.
7. López, G., & Verduga, J., (2019). Estudio técnico: Evaluación del riesgo sísmico de estructuras de ductilidad limitada en la parroquia de Alóag, Provincia de Pichincha. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador.
8. Mayes, R., & Reis, E. (2015). *The U.S. Resiliency Council® (USRC) and the Building Rating System*. San Francisco.
9. Moreno, R. (2006). *Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona*. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica: Cataluña, España.
10. Moreno, R., & Bairán, J. (2010). *Curvas de fragilidad para evaluar el daño sísmico en edificios de concreto armado con losas reticulares*. Caracas, Venezuela.
11. Rodríguez, E. (2015). *Estudio de riesgo sísmico en la localidad de Buenos Aires, Trujillo*. Tecnología y desarrollo.: Perú.
12. USRC. (2015). *Implementation Manual. USRC Building Rating System for Earthquake Hazards*. Obtenido de <http://usrc.org/files/technicalresource/USRC%20Implementation%20Manual%2010022017.pdf>
13. USRC. (2018). *USRC Dimensions and Definitions*. Obtenido de <http://usrc.org/rating-definitions>
14. Wang, Z. (2008). Understanding Seismic Hazard and Risk: A Gap Between Engineers and Seismologists. *In The 14th world conference on earthquake engineering*. Kentucky, USA