



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

División de Estudios de Maestría

MÉTODO PARA EVALUAR LA RESILIENCIA SISMICA DE
EDIFICIOS BASADO EN LA DISTORSIÓN PERMANENTE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA EN EL ÁREA DE
ESTRUCTURAS**

PRESENTA:

JOSÉ MANUEL RAMOS CRUZ

ASESOR:

Doctor en Ingeniería JORGE RUIZ GARCÍA



Morelia, Michoacán, marzo de 2020

ABSTRACT

The present research work is the basis to assess the seismic resilience of buildings, which are incorporated in a new methodology that takes explicitly into account the lateral permanent displacements (e.g., the maximum permanent interstorey drift, $RIDR_{max}$, or the roof permanent drift) of buildings under earthquake excitation. In the first step of the introduced methodology, it is necessary an estimation of the $RIDR_{max}$ for the case of new buildings, or its *in-situ* measurement after a seismic event for the case of existing buildings. For this task, predictive equations to estimate $RIDR_{max}$ are summarized in this paper. In the second step, from an estimation of $RIDR_{max}$, the maximum interstorey drift, IDR_{max} , is estimated using an adequate functional relationship between $RIDR_{max}$ and IDR_{max} . For this task, a new equation to estimate IDR_{max} from $RIDR_{max}$ is introduced in this paper, that it is suitable for buildings subjected to near-fault earthquake ground motions having forward directivity effects. In the third step, predicted maximum interstorey drift is associated to different damage states through fragility curves that express the probability that a structural element reach or exceeds a certain damage state. After that, component damage state-based recovery functions are built, which express not only the path of recovering the functionality through time, but also the residual capacity of each element after the seismic event (i.e., the residual capacity is equal to the full functionality minus the loss of functionality). At the last step, the individual component recovery functions are convolved to obtain the building's recovery function, which is a powerful tool to measure the seismic resilience of buildings. The introduced methodology is applied and illustrated through an existing 6-storey steel office building located in a region of high seismicity in California. The case-study building was carefully modeled using the computational platform *OpenSees*. The dynamic displacement response of the analytical model was calibrated with respect to its dynamic response measured during historical earthquakes. After that, the case-study building was subjected to a set of near-fault earthquake ground motions having forward-directivity effects. Results of this study revealed that the prediction of $RIDR_{max}$ and IDR_{max} was in good agreement with the analytical results. A discussion on the development of recovery functions and resilience metrics is offered at the end of this paper. It is suggested that the first step for measuring seismic resilience of new buildings is to determine if the building is repairable or not based on the estimation of $RIDR_{max}$. Once the building is determined to be repairable (i.e. it satisfies the reparability limit state), drift-based recovery

functions at the component level can be developed and, finally, convolved to obtain the building's recovery function.

Key words: Steel buildings, Resilience, near fault forward directivity, recovery function, residual capacity

RESUMEN

El presente trabajo de investigación propone bases para evaluar la resiliencia sísmica de edificios, incorporando una nueva metodología que tiene en cuenta explícitamente los desplazamientos laterales permanentes (por ejemplo, la distorsión máxima de entrepiso $RIDR_{max}$ o la distorsión permanente de azotea) de edificios bajo excitaciones sísmicas. El primer paso de la metodología, es necesario una estimación del $RIDR_{max}$ para casos de edificios nuevos, o su medición *in-situ* después de un evento sísmico para el caso de edificios existentes. Para esta tarea, las ecuaciones predictivas para estimar $RIDR_{max}$ se resumen en este trabajo. El segundo paso, a partir de una estimación de la distorsión máxima de entrepiso, $RIDR_{max}$, se estima una relación funcional adecuada entre $RIDR_{max}$ e IDR_{max} . Para esta tarea, se presenta una nueva ecuación para estimar IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ es este trabajo, que es adecuada para edificios sujetos a movimientos del terreno de fuente cerca con efectos de directividad. En el tercer paso, la distorsión máxima de entrepiso se asocia a diferentes estados de daño a través de curvas de fragilidad que expresan la probabilidad de que un elemento estructural alcance o supere cierto estado de daño. Después de eso, se construyen funciones de recuperación basadas en el estado de daño a nivel de elemento, que expresan no solo la recuperación de la funcionalidad a través del tiempo, sino también la capacidad residual de cada elemento después del evento sísmico (es decir, la capacidad residual es igual a la funcionalidad completa menos la pérdida de funcionalidad). En el último paso, las funciones de recuperación de los elementos individuales se combinan para obtener la función de recuperación del edificio, que son una buena herramienta para estimar la resistencia sísmica de los edificios. La presente metodología se aplica e ilustra a través de un edificio de 6 pisos ubicado en una región de alta sismicidad en California. El edificio de caso de estudio fue modelado cuidadosamente usando la plataforma computacional OpenSees. La respuesta de desplazamientos dinámico del modelo analítico se calibro con respecto a su respuesta dinámica medida durante terremotos históricos. Después de eso, el edificio de caso de estudio fue sometido a un conjunto de movimientos del terreno de fuente cercana con efectos de directividad. Los resultados de este estudio revelaron que la predicción de $RIDR_{max}$ e IDR_{max} tienen una buena aproximación con los resultados analíticos. Al final de este trabajo se ofrece una discusión sobre el desarrollo de funciones de recuperación y medidas de resiliencia. Se sugiere que el primer paso para medir la resiliencia sísmica de edificios nuevos es determinar si es el edificio es reparable o no en función de la estimación de $RIDR_{max}$. Una vez que se determina que el edificio es reparable (es decir, satisface el estado límite de reparabilidad), se pueden desarrollar funciones de recuperación

basadas en el nivel de distorsión a nivel de elemento y finalmente involucrarlas para obtener la función de recuperación del edificio.

Palabras clave: edificios de acero, resiliencia, registros de fuente cercana, funciones de recuperación, capacidad residual.

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo incondicional para este y todos mis objetivos.

A mis hermanos y mi familia por su compañía y por los ánimos dados.

A mi asesor por su amabilidad, consejos, orientación, paciencia y sobre todo por compartir sus conocimientos para lograr cumplir el presente trabajo de investigación.

A mis profesores por la confianza, enseñanza y consejos durante la maestría.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al CONACYT por contar con estos programas de investigación para desarrollar seres humanos de calidad.

ÍNDICE

Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	xiii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Estudios previos.....	3
1.3 Objetivos y alcances.....	8
1.4 Organización de la tesis.....	9
2 MÉTODO PARA EVALUAR LA RESILIENCIA SISMICA DE EDIFICIOS..	12
2.1 Descripción.....	12
2.2.1 Metodología.....	12
2.2 Estudios a realizar para completar la metodología propuesta.....	18
2.2.1 Relaciones predictivas IDR_{max} y $RIDR_{max}$	18
2.2.2 Uso de pulsos equivalentes.....	19
2.2.3 Funciones de recuperación.....	19
3 RELACIONES PREDICTIVA DE IDR_{max} y $RIDR_{max}$.....	21
3.1 Edificios considerados en este estudio.....	21
3.2 Movimiento del terreno.....	22
3.2.1 Registros de fuente cercana con efectos de directividad.....	22
3.2.2 Pulsos equivalentes.....	23
3.3 Análisis dinámico incremental.....	25
3.4 Perfiles de distorsión máxima IDR	26
3.5 Perfiles de distorsión permanente $RIDR$	28
3.5.1 Re-centramiento analítico.....	30
3.6 Relaciones predictivas IDR_{max} y $RIDR_{max}$	32
3.7 Respuestas de los pulsos equivalentes.....	38

4 FUNCIONES DE RECUPERACIÓN.....	40
4.1 Metodología.....	40
4.2 Estados de daño y funciones de fragilidad.....	41
4.2.1 Estados de daño.....	41
4.2.2 Funciones de fragilidad.....	44
4.3 Distorsiones permanentes $RIDR_{max}$	45
4.4 Técnicas de reparación.....	47
4.5 Funciones de recuperación.....	49
4.3.1 Definición.....	49
4.3.2 Funciones de recuperación para cada ED.....	50
5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	56
6 CONCLUSIONES.....	74
APÉNDICE A EDIFICIOS CONSIDERADOS EN ESTE ESTUDIO.....	79
APÉNDICE B REGISTROS SISMICOS.....	89
APÉNDICE C PERFILES IDR y $RIDR$.....	94
APÉNDICE D FUNCIONES DE RECUPERACIÓN.....	109
APÉNDICE E PREDICCIÓN DE $RIDR_{max}$ y IDR_{max}.....	114
Referencias.....	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistemas y medidas de desempeños de una comunidad resiliente [adaptado de Brueneau et al. (2004)].	4
Figura 1.2 Diagrama de flujo para evaluar una comunidad o sistema resiliente [adaptado de Bruneau et al. (2004)]	5
Figura 1.3 Dimensiones de la resiliencia: a) Rapidez y b) Robustez [adaptado de Cimellaro et al. (2010)].	5
Figura 1.4 Representación conceptual de la evaluación de la resiliencia [adaptado de Burton et al., (2015)].	7
Figura 1.5 Estados límites para evaluar la rehabilitación de un edificio [adaptado de Burton et al., (2015)].	7
Figura 2.1 Curva de capacidad, obtención de C_y .	13
Figura 2.2 Espectros de respuesta: a) pseudo-aceleración y b) normalizado con respecto de g .	13
Figura 2.3 Espectros de respuesta, obtención de $S_d(T_1)$ y T_g ,: a) desplazamiento y b) pseudo-velocidad.	14
Figura 2.6- Metodología para evaluar la resiliencia sísmica de edificios.	18
Figura 3.1 Espectros de respuesta pseudo aceleración 40 registros FCDP, a) marco exterior y b) marco exterior e interior.	22
Figura 3.2 Northridge Rinaldi Receiving (RRS), a) registro de velocidad y b) acercamiento para visualizar la diferencia que existe entre ambos métodos.	23
Figura 3.3 Northridge Sepulveda VA (SPV), a) registro de velocidad, c) registro de aceleración, b) y d) acercamiento para visualizar la diferencia que existe entre ambos métodos.	24
Figura 3.4 Técnica de escalamiento $S_a(T_1)$, a) 3NmE y b) 9NmE.	25
Figura 3.5 Perfil de distorsión del edificio de 6 niveles a) Permanentes y b) Máximas.	26

Figura 3.6 Perfiles de distorsión máxima IDR asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) 3NmE, b) 6NmE, c) 9NmE y d) 13NmE.....	27
Figura 3.6 continuación Perfiles de distorsión máxima IDR asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) 3NmEI y b) 9NmEI.....	27
Figura 3.7 Distribución de los desplazamientos permanentes $RIDR$ a) 3N, b)9N y c)18N (modelos rígidos) [Adaptado de Ruiz-García y Miranda (2006)].....	28
Figura 3.8 Perfiles de distorsión permanente $RIDR$ asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) 3NmE, b) 6NmE, c) 9NmE y d) 13NmE.....	29
Figura 3.8 Continuación perfiles de distorsión permanente $RIDR$ asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) 3NmEI y b) 9NmEI.....	30
Figura 3.9 Perfiles de distorsión edificio 6 niveles registro NWH a) Permanentes y b) máximas.....	31
Figura 3.10 Relación momento-rotación viga 3 nivel del modelo 6NmE ante ADI del registro NWH a)-e) $M - R$ en relación a $M.I.S_a(T_1)$ y f) R_p	31
Figura 3.11 Rotación viga del tercer nivel modelo 6NmE ante registro NWH a) permanente y b) máxima.....	32
Figura 3.12 Distorsión de entrepiso del tercer nivel del modelo 6NmE en relación a $M.I.S_a(T_1)$ ante registro NWH.....	32
Figura 3.13 Perfiles de distorsión modelo 6NmE registro PCD: a) permanentes y b) máximas.....	33
Figura 3.14 Historia de distorsiones de entrepiso modelo 6NmE registro PCD a) Nive 1 y b) Nivel 4.....	33
Figura 3.15 Ecuaciones predictivas modelo 6NmE a) IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ y b) $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max}	34
Figura 3.16 Relación distorsiones máxima con respecto a $M.I.S_a(T_1)$ edificio 6 niveles: a) $RIDR_{max}$ y b) IDR_{max}	34
Figura 3.17 Mediana distorsiones permanentes $RIDR_{max}$ a) mE y b) mEI.....	35

Figura 3.18 Mediana distorsiones máxima IDR_{max} a) mE y b) mEI.....	35
Figura 3.19 Ecuación predicativa 3.11: a) marco exterior y b) marco exterior e interior.....	36
Figura 3.20 Ecuación predictiva 3.12: a) marco exterior y b) marco exterior e interior.....	37
Figura 3.21 Perfiles de distorsión permanente edificio 6 niveles (6NmE) con $M.I.S_a(T_1)$ a) 0.3g, b) 0.6g, c) 0.9g y d) 1.2g.....	38
Figura 3.21 Continuación perfiles de distorsión máxima edificio 6 niveles (6NmE) con $M.I.S_a(T_1)$ a) 0.3g, b) 0.6g, c) 0.9g y d) 1.2g.....	39
Figura 3.22a Distorsión permanente máxima 6NmE: a) Fu & Menun y b) Mavroeidis & Papageorgiou.....	39
Figura 3.22b Distorsión máxima 6NmE: a) Fu & Menun (2004)y b) Mavroeidis & Papageorgiou (2002,2004)	39
Figura 4.1 Fluencia o fractura: a) soldadura y b) viga. [Adaptado de FEMA352 (2000)].....	41
Figura 4.2 Fluencia o fractura: a) patín de la columna y b) placa a cortante. [Adaptado de FEMA352 (2000)].....	41
Figura 4.2 Fluencia o fractura en zona del panel. [Adaptado de FEMA352 (2000)].....	42
Figura 4.3 Condición deformada en la conexión pre-Northridge: a) fluencia (pandeo) y b) fractura.....	42
Figura 4.4 Curvas de fragilidad asociadas al ED de fluencia del acero: a) A36 y b) A572. [Adaptado de Ramírez et al. (2012)].....	44
Figura 4.3 Curvas de fragilidad asociada al ED de fractura del acero A36 y A572. [Adaptado de Ramírez et al. (2012)].....	45
Figura 4.4 Técnica de reparación fractura: a) patín columna y b) patín de la viga. [Adaptado de FEMA352 (2000)].....	47
Figura 4.5 Técnica de reparación fluencia o fractura: a) Viga y b) columna. [Adaptado de FEMA352 (2000)].....	48

Figura 4.6 Refuerzo mediante la aplicación de placas en perfiles I y rectangular. [Adaptado de Ito y Mori (2016)].	48
Figura 4.7 Continuación refuerzo aplicación de placas en perfiles I y rectangular. [Adaptado de Ito y Mori (2016)].	49
Figura 4.8 Función de recuperación ED0 (Daño cosmético).	50
Figura 4.9 Función de recuperación ED1.1 fluencia en viga.	51
Figura 4.10 Función de recuperación ED1.2 fluencia en viga y columna.	51
Figura 4.11 Función de recuperación ED2.1 fractura en viga y fluencia en columna.	51
Figura 4.12 Función de recuperación ED2.2 Fractura en viga y columna.	52
Figura 4.13 FR para cada ED considerados para una conexión viga-columna.	52
Figura 4.14 Edificio 6 niveles: a) estado original, b) distorsión permanente y c) distorsión máxima.	53
Figura 4.15 Uso de las FR para los ED en relación con <i>IDR</i> : a) Predicción de <i>IDR</i> , b) FR_ED2.1 y c) FR_ED2.2.	54
Figura 4.16 Función de recuperación a nivel de edificio.	55
Figura 5.1 Edificio de 6 niveles. Google Maps (2019).	56
Figura 5.2 Vista en planta del edificio de 6 niveles. [adaptado de Carlos Chora (2014)].	57
Figura 5.3 Marco resistente a momento del edificio de 6 niveles. [Adaptado de Carlos Chora (2014)].	57
Figura 5.4 Modelo analítico del marco resistente a momento del edificio de 6 niveles. [Adaptado de Carlos Chora (2014)].	58
Figura 5.5a Detalle técnica de modelado de las vigas y columnas. [Adaptado de Carlos Chora (2014)].	58
Figura 5.5b Detalles técnica de modelado de la zona del panel. [Adaptado de Carlos Chora (2014)].	59

Figura 5.6 Curva de capacidad del edificio de 6 niveles producto del AENL.....	59
Figura 5.7 Espectro de respuesta pseudo aceleración RRS, obtención del valor $S_a(T_1)$	61
Figura 5.8 Ecuación C_1 Ruiz-García (2011), relación de θ en función de R : a) θ_1 , b) θ_2 y c) θ_3	63
Figura 5.9 Ecuación C_1 Iervolino et al. (2012), relación de θ en función de R : a) θ_1 , b) θ_2 , c) θ_3 , d) θ_4 y e) θ_5	63
Figura 5.10 Espectros de respuesta del registro RRS: a) desplazamiento espectral $S_d(T_1)$ y b) periodo dominante, T_g	64
Figura 5.11 Predicción de $RIDR_{max}$ edificio de 6 niveles: a) registros FCDP y b) $RIDR_{max} < 1.0\%$	67
Figura 5.12 Predicción de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ edificio 6 niveles: a) Christidis et al (2013), b) García (2015), c) Bravo-Haro & Elghzouli (2018) y d) Ruiz-Garcia & Ramos-Cruz (2019).....	70
Figura 5.13 Predicción del perfil de distorsión IDR a partir de RIDR para el registro RRS.....	71
Figura 5.14 Función de recuperación asociada al ED con relación z/H para el edificio de 6 niveles.....	72
Figura 5.15 Función de recuperación del edificio 6 niveles.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Coeficiente de desplazamiento máximo inelástico, C_R , [adaptado de Ruiz-García et al., (2019)].....	16
Tabla 2.2 Ecuaciones predictivas IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ Ruiz-García et al. (2019).....	17
Tabla 3.1 Valores de α_1 y α_2 de la ecuación predictiva 3.11 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos mE.....	35
Tabla 3.1 continuación valores de α_1 y α_2 de la ecuación predictiva 3.11 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos con mEI.....	36
Tabla 3.2 Valores de β_1 y β_2 de la ecuación predictiva 3.12 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos con mE.....	36
Tabla 3.2 continuación valores de β_1 y β_2 de la ecuación predictiva 3.12 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos con mEI.....	36
Tabla 4.1 Descripción de la simbología empleada en figura 4.4.....	43
Tabla 4.2 Estados de daño (ED).....	43
Tabla 4.3 Relación de distorsiones permanentes y máximas FEMA-356 (2000).....	46
Tabla 4.4 Distorsiones permanentes objetivo $RIDR_o$. [Adaptado de Aguilar (2014)].....	46
Tabla 4.5 Estimación de la pérdida de funcionalidad, p_f , asociada a cada ED.....	53
Tabla 5.1a Datos del cálculo del factor de participación modal procedimiento Ayala (2001). [Adaptado de Chora (2014)].....	60
Tabla 5.1b Datos para determinar C_y y SE1GL. [Adaptado de Chora (2014)].....	60
Tabla 5.2 Valores de $\theta_1 - \theta_3$ ecuación 2.7 Ruiz-García (2011).....	62
Tabla 5.3 Valores de $\theta_1 - \theta_5$ ecuación 2.8 Iervolino et al. (2012).....	62
Tabla 5.4 resultados de la predicción de $RIDR_{max}$ para el registro Rinaldi (RRS).....	66
Tabla 5.5 Predicción de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$	70

Tabla 5.6 Obtención de los estados de daño correspondientes a $P(ED IDR)$ en relación al ANLHT del registro RRS.....	72
--	----

1 Introducción

1.1 Motivación

Los movimientos del terreno se consideran como un evento aleatorio por su variabilidad en ocurrencia, ubicación e intensidad. Por lo tanto, es necesario evaluar el sistema estructural de un edificio ante un catálogo amplio de registros sísmicos considerando sus características como los efectos de directividad en registros de fuente cercana (Fu y Menun, 2004). Para ello, los sistemas de información como el Servicio Sismológico Nacional (SSN), la Red Acelerográfica de la Ciudad de México (RACM), o el CESMD en los EU, nos permiten tener acceso a un catálogo extenso de registros sísmicos.

Como ejemplo de los efectos destructivos de los temblores se puede mencionar el sismo del 17 de enero de 1994 en Northridge, California, EU, con magnitud de momento ($M_w = 6.7$) el cual causó daños en 150 edificios de acero, de los cuales 90 experimentaron fractura en la soldadura de sus conexiones a momento (Ramírez et al., 2012). Asimismo, el sismo del 19 de septiembre de 2017, ($M_w = 7.1$) que afectó principalmente a la Ciudad de México, ocasionó daño estructural en 8405 edificios (donde 4766 fue considerado como ligero, 1446 fue considerado como moderado y 2193 fue considerado como grave; asimismo se identificó que 1193 eran sujetos a rehabilitación y el resto se consideró su demolición (Excelsior, 2017).

Conociendo el potencial destructivo de los eventos sísmicos, es importante desarrollar una metodología que nos permita evaluar los sistemas estructurales que forman parte de un edificio sometidos a las fuerzas laterales ocasionadas por los movimientos del terreno. Los sistemas estructurales comúnmente utilizados en la práctica profesional como sistema sismorresistente son los marcos resistentes a momento (MRM) de concreto o acero. Los MRM de acero disipan energía a través de sus elementos vigas, columnas y zona del panel (unión viga-columna) deformándose su sección transversal (fluencia o fractura). La suma de las deformaciones y fractura de los elementos origina la distorsión permanente de entrepiso, *RIDR*, variando su amplitud en relación con la altura del edificio.

Los métodos disponibles en la literatura para evaluar la respuesta sísmica de los sistemas estructurales a base de concreto reforzado, acero, mampostería confinada o una combinación de ellos que forman parte de un edificio. Utilizan los niveles de distorsión máxima de entrepiso, IDR_{max} , en relación con el pico de aceleración de un registro sísmico PGA (Peak Ground Acceleration por sus siglas en inglés), estados de daño (Ligero, moderado, severo y colapso) FEMA 352 (2000) y la pseudo aceleración espectral, S_a .

Recientemente se ha explorado la estrecha relación que existe entre la distorsión máxima de entrepiso permanente, $RIDR_{max}$, con la distorsión máxima de entrepiso, IDR_{max} , de un edificio. Es decir, $RIDR_{max}$ es la respuesta final del sistema estructural después del movimiento del terreno y durante la duración del evento sísmico el edificio alcanza una IDR_{max} . Christidis et al., (2013), García (2015), Bravo-Haro y Elghazouli (2018) proponen ecuaciones que nos permiten calcular IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ para edificios de acero. Sin embargo, las ecuaciones propuestas por los autores son para eventos ordinarios (fuente lejana) con relaciones funciones con tendencia lineal. El presente trabajo de investigación también estudiara la relación calcular IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ proponiendo una relación funcional con tendencia exponencial para eventos de fuente cercana con efectos de directividad positiva Fu y Menun (2004).

Ante este panorama, es importante estimar el impacto económico de los eventos sísmicos futuros en las estructuras civiles que forman parte de una ciudad, o comunidad. Particularmente, se ha resaltado la necesidad de evaluar su resiliencia sísmica; es decir, evaluar si las estructuras civiles pueden permanecer funcionales, o bien el tiempo para recuperar su funcionalidad después de un movimiento del terreno. Dada su importancia, las estructuras que deben tener una alta resiliencia son las esenciales, tales como hospitales y escuelas. El concepto de resiliencia se ha utilizado recientemente en la ingeniería estructural como una forma para evaluar el desempeño sísmico de un edificio. La resiliencia a manera de individuo se describe como la capacidad de sobreponerse ante una enfermedad o desgracia, desde el punto de vista de un material como la capacidad de recuperar su forma de después de ser doblado, estirado o comprimido.

Wildavsky (1991) define la resiliencia como la capacidad de hacer frente a peligros imprevistos después de que se hayan manifestado, aprendiendo a recuperarse.

Comonfort (1999) define la resiliencia sísmica como el conjunto de medidas de prevención que buscan prevenir daños y pérdidas relacionadas con los peligros (sismos) como las estrategias posteriores al evento diseñadas para hacer frente y minimizar los impactos del desastre.

Por lo tanto, es importante proponer una metodología que nos permita evaluar la resiliencia sísmica de edificios basada explícitamente en la $RIDR_{max}$ como un indicador de la pérdida de la funcionalidad y la capacidad residual (remanente). Es decir, evaluar los posibles daños que pueda experimentar el sistema estructural de un edificio ante un panorama sísmico, eventos de fuente cercana con efectos de directividad positiva. Así como también, por medio de funciones de recuperación (FR) evaluar el tiempo de recuperación, T_R , y el costo de reparación para que el edificio recupere el 100% de su funcionalidad.

1.2 Estudios previos

Bruneau et al., (2004) define la resiliencia como la capacidad de resistencia y adaptabilidad ante un evento extremo o precursores, manteniendo sus funciones después de un evento sísmico o la capacidad de respuesta mediante estrategias preventivas para recuperar la funcionalidad. Es decir, reduciendo la pérdida de vidas humanas y económicas. Proponiendo cuatro parámetros que permiten evaluar la resiliencia:

a) Robustez como la capacidad de los sistemas de resistir y mantenerse sin daños, durante y después de un desastre natural.

b) Redundancia aquellos sistemas que presentan daños (pérdida de rigidez y resistencia) pero aún pueden continuar en funciones.

c) Ingenio o iniciativa de evaluar, para diagnosticar y aplicar los recursos económicos, físicos, humanos, sociales y tecnológicos.

d) Rapidez como la capacidad de volver a retomar su funcionalidad en el menor tiempo posible conteniendo las pérdidas e interrupciones futuras. En la figura 1.1 y 1.2 se presenta un diagrama donde se ejemplifica los sistemas que forman parte de una comunidad y son vitales para evaluar su resiliencia.

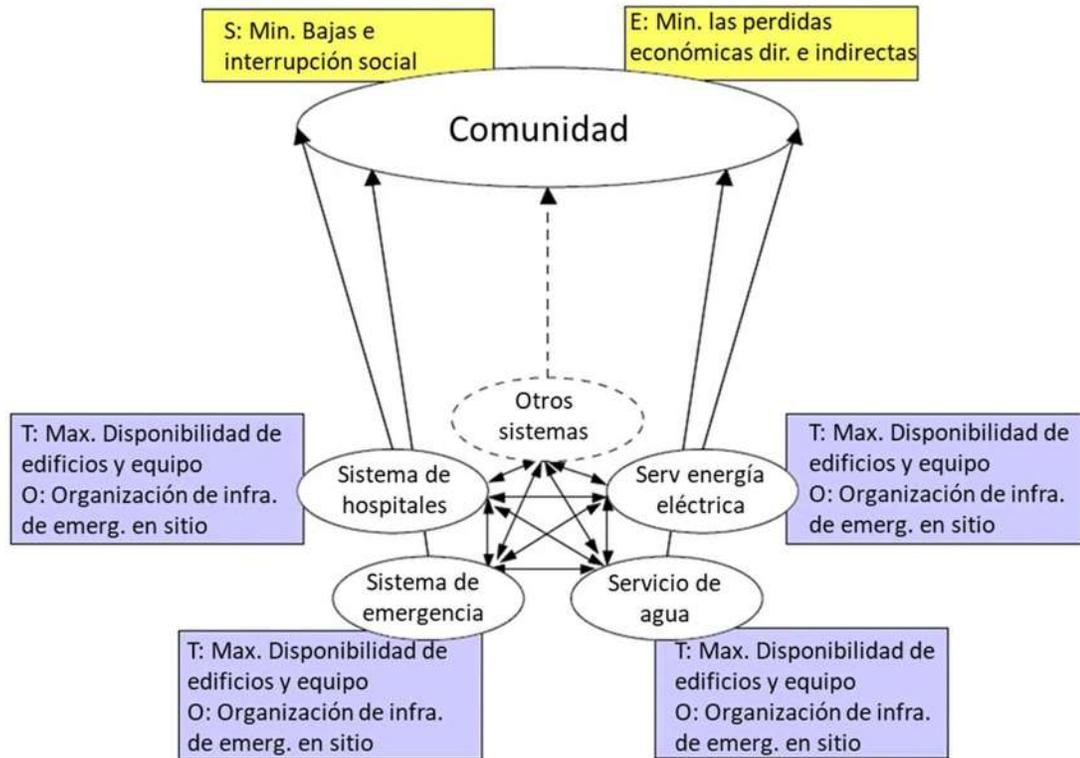


Figura 1.1 Sistemas y medidas de desempeños de una comunidad resiliente [adaptado de Bruneau et al., (2004)].

Cimallero et al., (2010) propone funciones de recuperación en relación al periodo de vida de la estructura (edificios, puentes, líneas de comunicación, etc.), el tiempo de recuperación, T_R , de su funcionalidad después de un desastre natural, definiendo la suma de ellos como la capacidad y resistencia de una comunidad resiliente. En la figura 1.3 se muestran dos funciones de recuperación basadas en rapidez (es decir, acción inmediata, recuperar su funcionalidad en el menor tiempo) y robustez (es decir, mantener sus funciones después de un desastre natural o causado por el hombre).

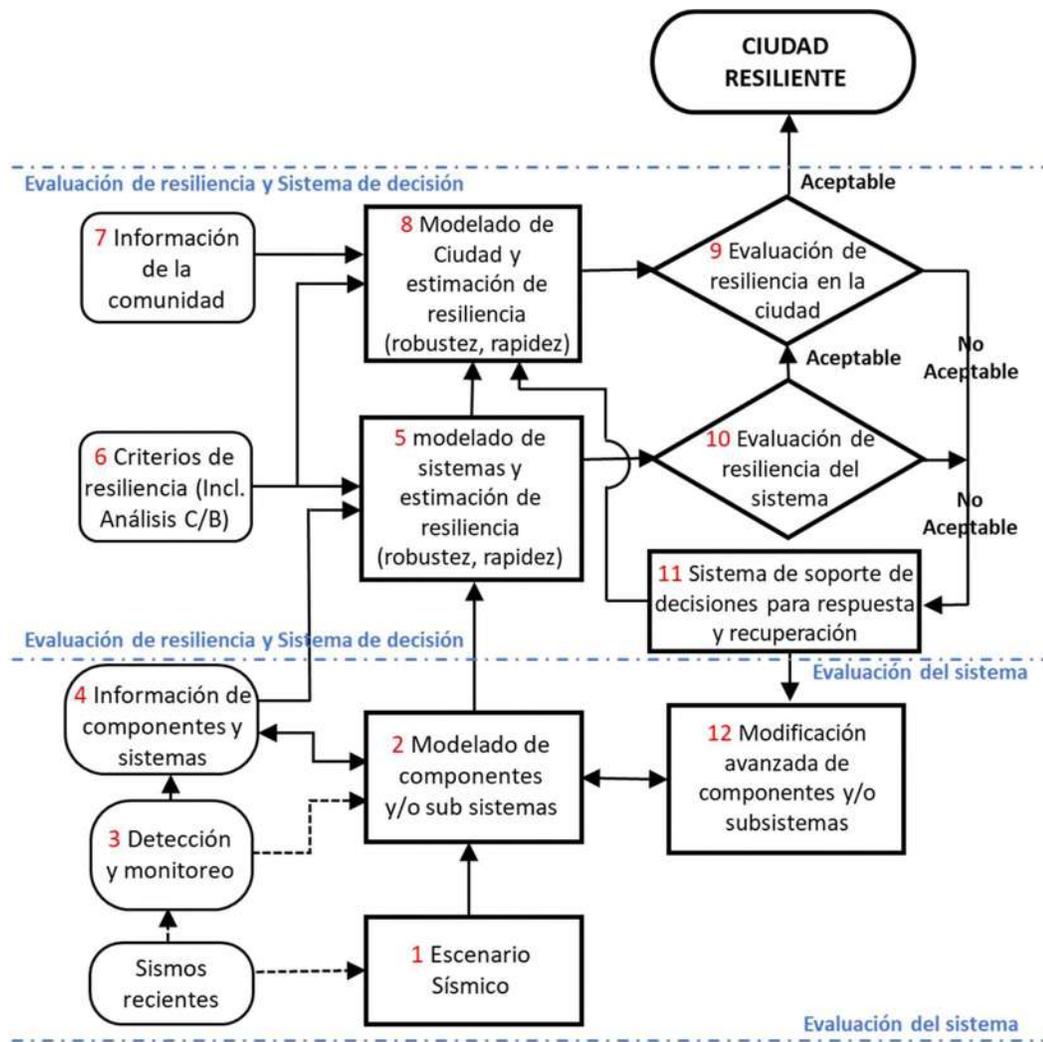


Figura 1.2 Diagrama de flujo para evaluar una comunidad o sistema resiliente [adaptado de Bruneau et al., (2004)]

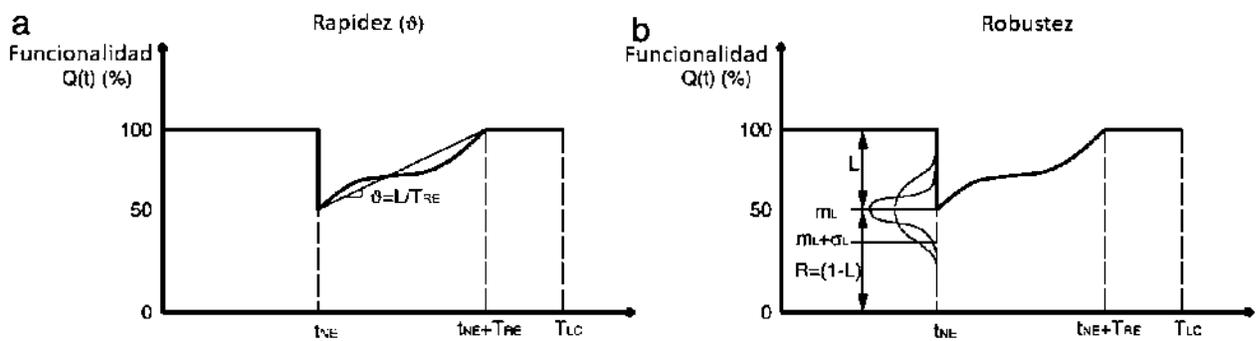


Figura 1.3 Dimensiones de la resiliencia: a) Rapidez y b) Robustez [adaptado de Cimellaro et al., (2010)].

Burton et al., (2015) propone evaluar la resiliencia sísmica de una comunidad utilizando funciones de recuperación asociadas a cinco estados de daño FEMA P58 basados en IDR_{max} a nivel de edificio, donde:

- 1) Daños estéticos o nulos (ocupación inmediata).
- 2) Estructura segura y accesible pero incapaz de realizar su función principal, por daños en elementos no estructurales.
- 3) La estructura ya no es segura, se impide su acceso y se evalúa su posible demolición o rehabilitación por el riesgo que presenta ante un evento precursor réplica.
- 4) daños severos en componentes estructurales importantes (deformación y distorsiones permanentes) que impiden su reparación, pérdidas de económicas por la no funcionalidad y elevados costos de reparación.
- 5) Colapso parcial o total de la estructura por deformaciones laterales excesivas.

En la figura 1.4 y 1.5 se representa un diagrama con la metodología propuesta por Burton (2015) para evaluar la resiliencia de una comunidad como la suma de los daños y tiempo de recuperación de edificios residenciales que forman parte de la comunidad ante un panorama sísmico.

Went et al., (2019) proponen el concepto factor de pérdida de resiliencia después de un evento sísmico, evaluando un edificio de 6 niveles a base de marcos de concreto con uso de hospital. Estableciendo tres estados de daño (moderado L1, severo L2 y colapso L3) basados en la distorsión máxima de entrepiso, IDR_{max} . Utilizando curvas de fragilidad que relacionan la pseudo aceleración espectral con la probabilidad de alcanzar un estado de daño (L1, L2 y L3) y con las funciones de recuperación (FR) asociadas a cada estado de daño se obtiene la relación de pérdida económicas en función de IDR_{max} . Por lo tanto, el factor de pérdida de resiliencia estará en función de la pseudo aceleración espectral, IDR_{max} , el estado de daño y las FR. Es decir, el hospital se encuentra en funciones, pérdida de operabilidad por un tiempo determinado o el reemplazo del edificio después de un evento sísmico.

Samadian et al., (2019) proponen evaluar la resiliencia sísmica ante un panorama sísmico con la probabilidad de exceder un nivel de intensidad (50, 20, 10 y 2 % en 50 años) en escuelas a base de marcos y muros de concreto reforzado. Utilizando curvas de fragilidad obtenidas de la herramienta

computacional HAZUS donde se relaciona la pseudo aceleración espectral asociada al periodo fundamental de la estructura, $S_a(T_1)$, con la probabilidad de alcanzar un estado de daño (ED) asociadas a IDR_{max} . Donde se resume en funciones de recuperación el nivel de pérdida de funcionalidad del edificio ante la probabilidad de exceder un nivel de intensidad.

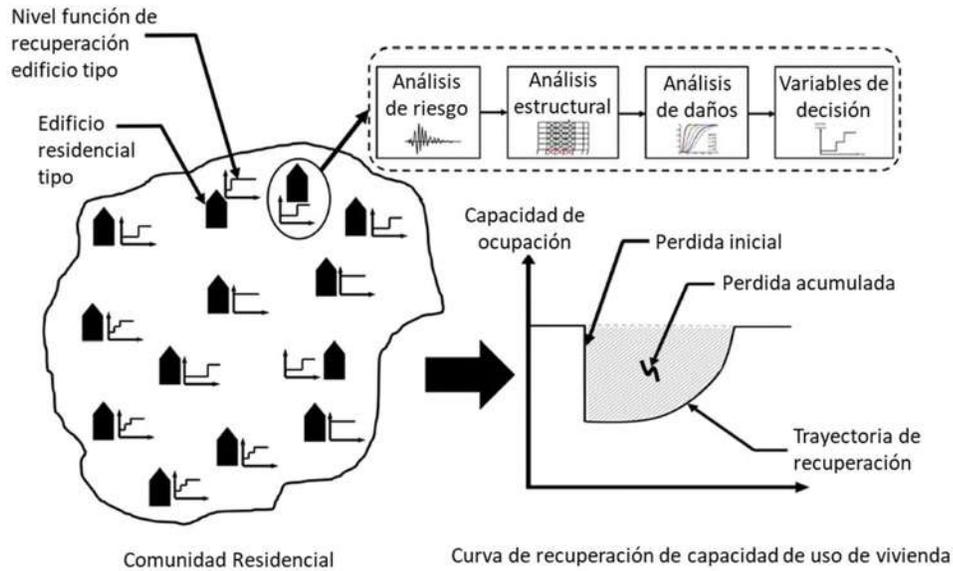


Figura 1.4 Representación conceptual de evaluación de resiliencia [adaptado de Burton et al., (2015)]

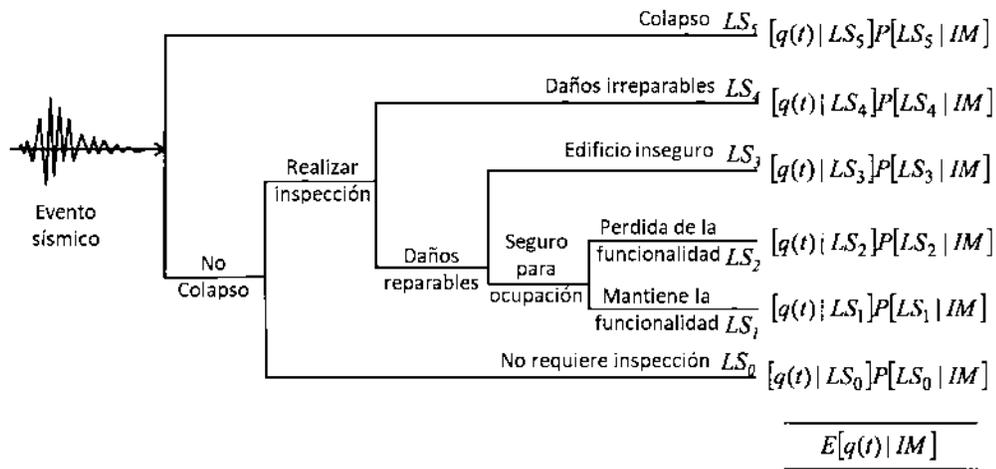


Figura 1.5 Estados límites para evaluar la reparación a nivel de edificio [adaptado de Burton et al., (2015)]

1.3 Objetivos y alcances

El objetivo general del presente trabajo de investigación consiste en proponer una metodología para evaluar la resiliencia sísmica de edificios basada en la distorsión permanente máxima de entrepiso, $RIDR_{max}$.

Los objetivos particulares del presente trabajo de investigación son:

- a) Estudiar la relación de $RIDR_{max}$ y la distorsión máxima de entrepiso, IDR_{max} , para edificios sujetos a registros sísmicos de fuente cercana.
- b) Proponer una ecuación predictiva que relacione IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ (es decir, conociendo la $RIDR_{max}$ aproximada o medida in-situ después de un evento sísmico predecir IDR_{max}).
- c) Proponer funciones de recuperación (FR) asociadas a las técnicas de reparación de cada estado de daño relacionado con IDR_{max} que pueden presentarse en una conexión viga-columna.
- d) Dar a conocer que la pérdida de funcionalidad y la recuperación de la funcionalidad de un edificio está estrechamente relacionada con $RIDR_{max}$ y la suma de los estados de daño.
- e) Demostrar con el uso de las funciones de recuperación que, aunque un edificio pueda ser reparado al no presentar distorsiones permanentes excesivas, los costos de reparación pueden llegar a tener el mismo valor que el edificio nuevo por el nivel de daño alcanzado. Por lo tanto, se puede considerar su demolición.

Para tal fin, se estudiará la relación entre IDR_{max} y $RIDR_{max}$ de la respuesta sísmica de una familia de edificios de 3, 6, 9 y 13 niveles ante historias del terreno registradas en fuente cercana con efectos de directividad. El presente trabajo de investigación se realiza en un grupo de 4 edificios modelados y calibrados por Chora (2014) para evaluar las demandas en distorsión permanente y máxima dentro de un escenario sísmico de fuente cercana con efectos de directividad para el desarrollo de la metodología. Sin embargo, los modelos analíticos no consideran la pérdida de rigidez y resistencia por falla en fractura en la soldadura en las conexiones.

Los análisis se realizan en un entorno bidimensional con las limitaciones que esto implica (es decir, no se consideran los efectos por torsión en los elementos debidos al sismo). Además, los

edificios son regulares en planta y en altura con sistema estructural a base de marcos de acero resistentes a momento en todo el perímetro. Aunque los edificios cuentan con periodo fundamentales diferentes cubriendo un rango dentro de 1 a 3 segundo hizo falta incluir un edificio rígido con periodo 0.5 y otro con 2.5 segundos.

En el desarrollo de las funciones de recuperación, la pérdida de funcionalidad se propuso esquemáticamente con la finalidad de dar a conocer la importancia de estimar este parámetro en función de los daños y la distorsión permanente entre piso que puede experimentar el sistema estructura de un edificio. Es decir, el nivel de resistencia (capacidad residual) a eventos precursoros que se presenten inmediatamente o si es rehabilitado si el edificio recupera nuevamente el 100% de su funcionalidad. Además, solo se propone un tipo de técnica de reparación que se encuentran disponibles en la literatura.

1.4 Organización de la tesis

En el Capítulo 1 se da una revisión de los conceptos de resiliencia sísmica para edificios y los trabajos previos realizados por investigadores. Donde se aborda la evaluación de la resiliencia sísmica a nivel de ciudad evaluando sus capacidades de resistir y recuperar sus funciones después de un evento sísmico. A nivel de edificio se evalúan los daños producto del movimiento del terreno relacionados con IDR_{max} .

Para el Capítulo 2 se propone una metodología para evaluar la resiliencia sísmica de edificios basada en $RIDR_{max}$. 1) Realizar un modelo analítico. 2) Realizar un AENL del modelo analítico para obtener sus propiedades dinámicas y mecánicas (es decir, periodo fundamental de la estructura, T_1 , el factor de participación modal normalizado respecto a la azotea, $\Gamma_1\phi_{1,Azote}$ y el coeficiente de resistencia asociado a la fluencia, C_y). 3) Cálculo de la resistencia lateral relativa, R . 4) Con los datos anteriores se calcula $RIDR_{max}$ utilizando la ecuación propuesta por Ruiz-García y Chora (2014). 5) estimación de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ utilizando ecuaciones disponibles en la literatura. 6) estimar la probabilidad de alcanzar un estado de daño utilizando curvas de fragilidad específicas por ejemplo para edificios de acero Ramírez et al., (2012). 7) Por medio de las funciones de recuperación se estima el tiempo y costo de recuperación la funcionalidad del edificio asociados a los daños de los elementos estructurales.

En el Capítulo 3 se da una ligera explicación de los edificios (3, 6, 9 y 13 niveles) considerados dentro del estudio para determinar las relaciones predictivas entre IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$. Además, se describen las características de 40 historias del terreno registradas en fuente cercana con efectos de directividad positiva considerados Fu y Menun (2004) utilizadas en los Análisis Dinámicos Incrementales No Lineales (ADI). A partir, de la respuesta de cada uno de los modelos analíticos se grafican el par $[IDR_{max}, RIDR_{max}]$ para obtener las ecuaciones funcionales IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ y $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max} . Se utilizan pulsos equivalentes para evaluar su predicción en la respuesta máxima y permanente tanto en intensidad y distribución z/H con la finalidad de reducir el esfuerzo computacional y su utilización para evaluaciones futuras en edificios.

Conociendo IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ en el Capítulo 4 se utilizan las funciones de fragilidad específicas que relacionan la probabilidad de alcanzar un estado de daño en relación con IDR_{max} . A partir, de los estados de daño se explora en la literatura las técnicas de reparación disponibles para determinar el tiempo y costo de reparación. Finalmente se elaboran las funciones de recuperación a nivel de elemento, que relacionan la técnica de reparación con el estado de daño. De forma que, la suma del tiempo de las funciones de recuperación asociada a los daños de cada elemento que forman parte de edificio, será el tiempo de recuperación, T_R , para que el edificio sea nuevamente funcional.

En el Capítulo 5 se realiza la aplicación de la metodología propuestas paso a paso en un edificio de 6 niveles estudiado en capítulo 3. Se realizan análisis no lineales en la historia del tiempo (ANLHT) para comparar la predicción de $RIDR_{max}$ e IDR_{max} con las ecuaciones disponibles en la literatura. A partir de IDR_{max} en función de $RIDR_{max}$ se calcula la probabilidad de alcanzar un estado de daño utilizando las curvas de fragilidad Ramírez et al., (2012). Utilizando las funciones de recuperación del Capítulo 4 se estima T_R en función de los daños y $RIDR_{max}$ en cada uno de los elementos del sistema estructural MRM estimando la pérdida de funcionalidad.

Capítulo 6 Resumen y conclusiones.

Apéndice A. Descripción a detalle de los edificios considerados dentro del estudio. Es decir, vista en planta, sistema estructural, perfiles, modelado, propiedades dinámicas y mecánicas.

Apéndice B. Se describen las características de las 40 historias del terreno registradas en fuente cercana con efectos de directividad como: el periodo dominante, T_g , la magnitud de momento, M_W ,

el periodo del pulso, T_p , el pico de velocidad PGV (Peak Ground Velocity por sus siglas en ingles), distancia epicentral. Ecuaciones para determinar los pulsos equivalentes (PE), método propuestos por Mavroeidis y Papageorgiou (2002) y Fu y Menun (2004).

Apéndice C. Se muestra la respuesta de cada uno de los edificios considerados dentro de este estudio ante registros de fuente cercana con efectos de directividad positiva (Perfiles de IDR , $RIDR$, relaciones funcionales IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ y $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max}). Además, la aproximación de los PE en amplitud y distribución z/H en los perfiles $RIDR$ e IDR . Así como también la predicción de IDR_{max} y $RIDR_{max}$.

Apéndice D. Se muestran los conceptos, rendimientos, costo de mano de obra, herramienta y equipo utilizados para la elaboración de las funciones de recuperación considerando solo el costo directo.

Apéndice E. Gráficas de los resultados obtenidos de la predicción de $RIDR_{max}$ e IDR_{max} para los edificios considerados dentro de este estudio.

2 Método para evaluar la resiliencia sísmica de edificios

2.1 Descripción

En este trabajo de investigación se propone una metodología simplificada para evaluar la resiliencia sísmica de edificios. El método propuesto puede emplearse para edificios nuevos o existentes, utilizando información básica de las propiedades mecánicas y dinámicas del edificio. Periodo fundamental, T_1 , el coeficiente asociado a la fluencia, C_y , el factor de participación modal asociado al primer modo, $\Gamma_1\phi_{1,Azotea}$, la resistencia lateral relativa, R . A continuación, se describen las etapas de la metodología propuesta.

2.1.1 Metodología

1) Desarrollar un modelo analítico del edificio en estudio considerando las fuentes de no linealidad. Se puede emplear el método de plasticidad concentrada por medio de articulaciones plásticas representadas por resortes rotacionales en vigas, columnas. La flexibilidad del panel (unión viga-columna) se puede considerar el método propuesto por Gupta y Krawinkler (1999). Además, incluir las fuentes de sobre-resistencia como son la contribución de la losa, marcos interiores (cargas gravitacionales).

2) Realizar un análisis estático no lineal (AENL) para obtener el periodo fundamental de la estructura, T_1 , factor de participación modal asociado al primer modo $\Gamma_1\phi_{1,Azotea}$ y el coeficiente asociado a la fluencia C_y . En la figura 2.1 se muestra un ejemplo de cómo obtener el valor C_y de la curva de capacidad del AENL al graficar en el eje de las ordenadas el cortante basal V_b normalizado con el peso total de la estructura $W_{edificio}$ y en las abscisas el desplazamiento de azotea Δ_{Azotea} normalizado con la altura total del edificio $H_{edificio}$.

$$D_{Azotea(\%)} = \Delta_{Azotea}/H_{edificio} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

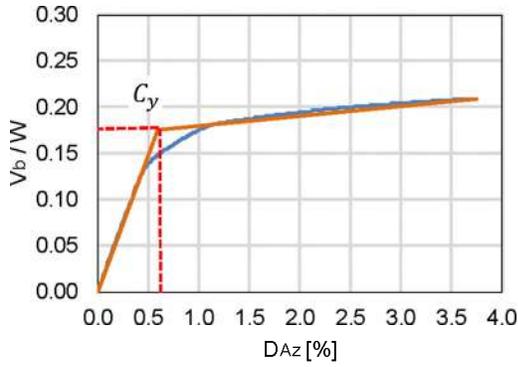


Figura 2.1 Curva de capacidad, obtención de C_y .

3) Calcular la resistencia lateral relativa, R , del edificio para cada movimiento del terreno registrados en fuente cercana o fuente lejana. Utilizando la pseudo aceleración espectral asociada a T_1 . A continuación, se muestra la ecuación para el cálculo de R

$$R = S_a(T_1)g/C_y \quad \text{Ec. (2.2)}$$

donde:

$S_a(T_1)$: pseudo aceleración asociada al periodo fundamental de la estructura (cm/s^2)

g : aceleración de la gravedad (cm/s^2)

$S_a(T_1)g$: pseudo aceleración normalizada con respecto de g $S_a(T_1)/g$

C_y : coeficiente asociado a la fluencia.

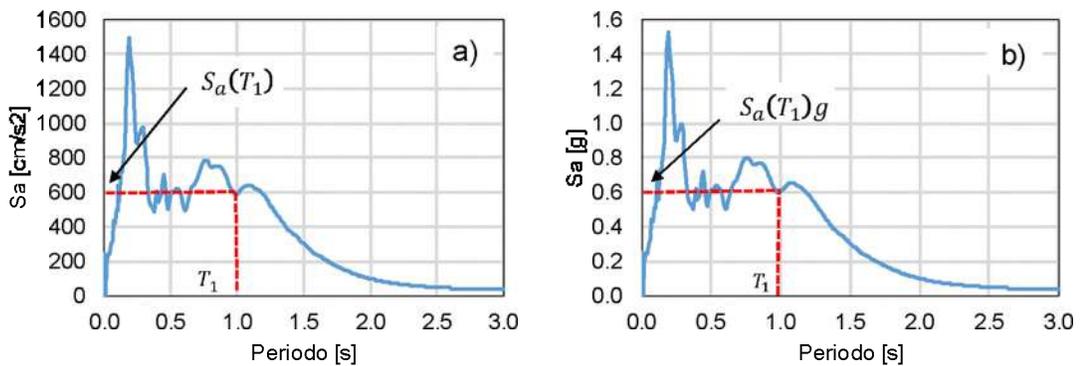


Figura 2.2 Espectro de respuesta: a) pseudo-aceleración y b) normalizado con respecto de g

4) Cálculo de la distorsión permanente máxima de entrepiso, $RIDR_{max}$, utilizando la ecuación 2.3 propuesta por Ruiz-García y Chora (2014). También se puede obtener al medir directamente la $RIDR_{max}$ del edificio existente después de un evento sísmico con equipo topográfico (teodolito electrónico). Este nuevo valor de $RIDR_{max}$ se considera como un valor determinista.

$$RIDR_{max} = \frac{\Gamma_1 \phi_{1,Azotea} * S_d * C_R}{H} * COD_r \quad \text{Ec. (2.3)}$$

donde:

$RIDR_{max}$: desplazamiento permanente máximo de entrepiso en %

$\Gamma_1 \phi_{1,Azotea}$: factor de participación modal asociado al primer modo

$$\Gamma_1 \phi_{1,Azotea} = \frac{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}}{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}^2} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$S_d(T_1)$: desplazamiento espectral relacionado al periodo fundamental de la estructura (cm o m).

C_R : coeficiente de desplazamiento máximo inelástico también conocido como C_1 . Para su cálculo es necesario obtener los parámetros como R , T_1 , T_g , tipo de evento sísmico (Fuente cercana o lejana) y las condiciones del terreno (firme o blando).

H = altura total del edificio (cm o m).

COD_r =coeficiente de distorsión residual, se puede determinar con ecuación propuesta por Ruiz-García y Chora (2014).

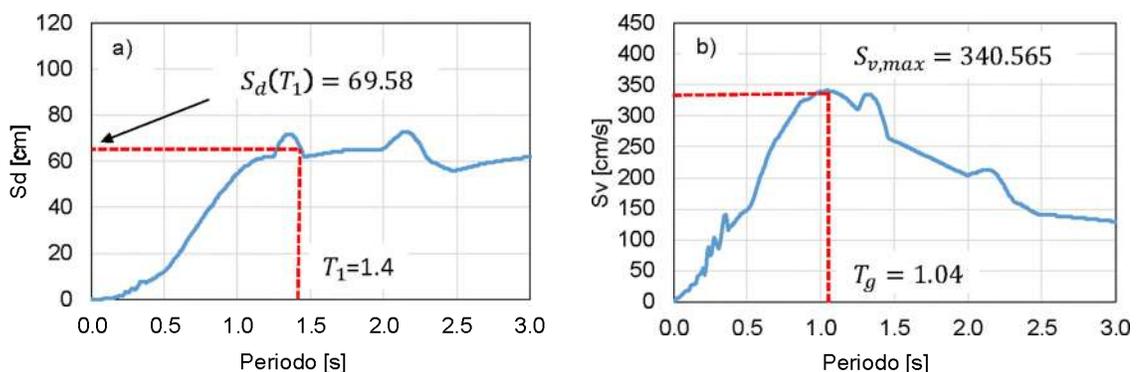


Figura 2.3 Espectros de respuesta, obtención de $S_d(T_1)$ y T_g ..: a) desplazamiento y b) siedo-
velocidad.

En la tabla 2.1 se muestran algunas ecuaciones disponibles en la literatura para calcular el valor de C_R o también conocido como C_1 . La ecuación correspondiente ASCE/SEI 41-17 (2016) es considerada para registros ordinarios o de fuente lejana, a diferencia de las propuestas por los autores Ruiz-Garcia (2011) y Iervolino (2012) son explícitamente para registros sísmicos de fuente cercana.

5) Determinar la distorsión máxima de entrepiso IDR_{max} con ecuaciones predictivas que relacionan estrictamente $RIDR_{max}$. En la tabla 2.2 se muestran algunas ecuaciones disponibles en la literatura propuestas por diversos autores. Sin embargo, estas ecuaciones se determinaron a partir de eventos sísmicos ordinarios (fuente cercana) con tendencia lineal.

Con base a lo descrito anteriormente se compara la aproximación de la predicción de las ecuaciones de la tabla 2.2 con respecto a la ecuación general 2.5 que se propone en este trabajo de investigación con una tendencia exponencial para eventos de fuente cercana con efectos de directividad positiva.

$$IDR_{max} = \alpha_1 (RIDR_{max})^{\alpha_2} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Tabla 2.1 Coeficiente de desplazamiento máximo inelástico, C_R . [Adaptado de Ruiz-García et al., (2019)]

Ref.	No. Ec.	Ecuación
ASCE/SEI 41-17 (2016)	(2.6)	$C_1 = \begin{cases} 1.0 & T_e > 1.0s \\ 1.0 + \frac{\mu_{strength} - 1}{aT_e^2} & 0.2s < T_e \leq 1.0s \\ 1.0 + \frac{\mu_{strength} - 1}{0.04a} & T_e \leq 0.2s \end{cases}$ <p>donde T_e es el periodo fundamental efectivo de vibración del edificio, mientras que a es un factor que depende del tipo de terreno, siendo igual a 130 para terreno tipo A y B, 90 para terreno tipo C y 60 para terrenos tipo D, E y F. Asimismo,</p>
	(2.7)	$\mu_{strength} = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$ <p>donde S_a es aceleración espectral correspondiente a T_e, V_y es el cortante en la base correspondiente a la fluencia, W es el peso sísmico efectivo del edificio, y C_m es el factor de masa efectivo.</p>
Ruiz-García (2011)	(2.8)	$C_R = 1 + (R - 1) \left[\frac{1}{\theta_1 (T/T_g)^2} \right] + \theta_2 (T_g/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right]$ <p>donde los parámetros $\theta_1 - \theta_3$ constantes que dependen del nivel de R y T_g es el periodo dominante del movimiento del terreno.</p>
Iervolino <i>et al</i> (2012)	(2.9)	$C_1 = 1 + \theta_1 (T_p/T)^2 * (R - 1) + \theta_2 (T_p/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right] + \theta_4 (T_p/T) * \exp \left[\theta_5 \{ \ln(T/T_p + 0.5 + 0.02R) \}^2 \right]$ <p>donde los parámetros $\theta_1 - \theta_5$ son constantes que dependen del nivel de R y T_p es el periodo dominante del pulso.</p>

Tabla 2.2 Ecuaciones predictivas IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$. [Adaptado de Ruiz-García et al. (2019)]

Ref.	No. Ec.	Ecuación
Christidis, et al. (2013)	(2.10)	Para marcos resistentes a momento: $ u_{max} = (-0.053 + 0.109\ln(N) + 1.61 u_{res})(1 + 2.0H)$
	(2.11)	Para marcos con contraventeo concéntrico: $ u_{max} = (-0.071 + 0.076\ln(N) + 0.865 u_{res})(1 + 0.04H)$ donde u_{max} es la distorsión máxima de entrepiso, u_{res} es la distorsión distorsión residual, N es el número de niveles del edificio y H es coeficiente de rigidez post fluencia.
García (2015)	(2.12)	$IDI_{res} = m_d(IDI_{max} - IDI_{y,marco})$
	(2.13)	$IDI_{max} = \frac{IDI_{res}}{m_d} + IDI_{y,marco}$
	(2.14)	$m_d = \left(0.04 + 0.29 \left \frac{T}{1.68} - 1 \right \right)^{0.27}$ donde IDI_{res} es la distorsión residual, IDI_{max} es la distorsión máxima, $IDI_{y,marco}$ es la distorsión de fluencia (la cual se obtiene de un Análisis Estático No lineal Incremental), m_d es la pendiente de desplazamiento) y T es el periodo fundamental del edificio.
Bravo-Haro y Elghazouli (2018)	(2.15)	$\Delta_{max} = 0.122 \frac{T_1}{N_s} + 1.45\Delta_{res} - 0.582\Delta_{res}^2 - 0.13\Delta_{res}T_1$
	(2.16)	$\Delta_{max} = \left[0.101 \frac{T_1}{N_s} + 1.384\Delta_{res} + 0.478\Delta_{res}^2 - 0.418\Delta_{res}T_1 \right] [1 + 4.561\alpha_h]$ donde Δ_{max} es la distorsión máxima, Δ_{res} es la distorsión residual máxima, T_1 es el periodo fundamental del edificio, α_h es el coeficiente de rigidez de post- fluencia) y N_s es el número de niveles del edificio.

6) Se utilizan funciones de fragilidad específicas por ejemplo FEMA P-58 (1999) y Ramírez et al. (2012) donde se relacionan estrictamente la distorsión máxima de entrepiso, IDR_{max} , con la probabilidad de alcanzar un nivel de estado de daño (pandeo o fractura) de los elementos que forman parte de una conexión pre-Northridge (viga, columna y zona de panel).

7) Proponer funciones de recuperación para cada estado de daño (pandeo o fractura) para el patín, alma de la viga, columna y zona del panel (conexión viga-columna) en función del tiempo y costo de reparación. Las funciones de recuperación serán a nivel de elemento, por lo tanto, el tiempo de recuperación, T_R , del edificio a su estado original dependerá de cada estado de daño de las conexiones y la distorsión permanente máxima $RIDR_{max}$.

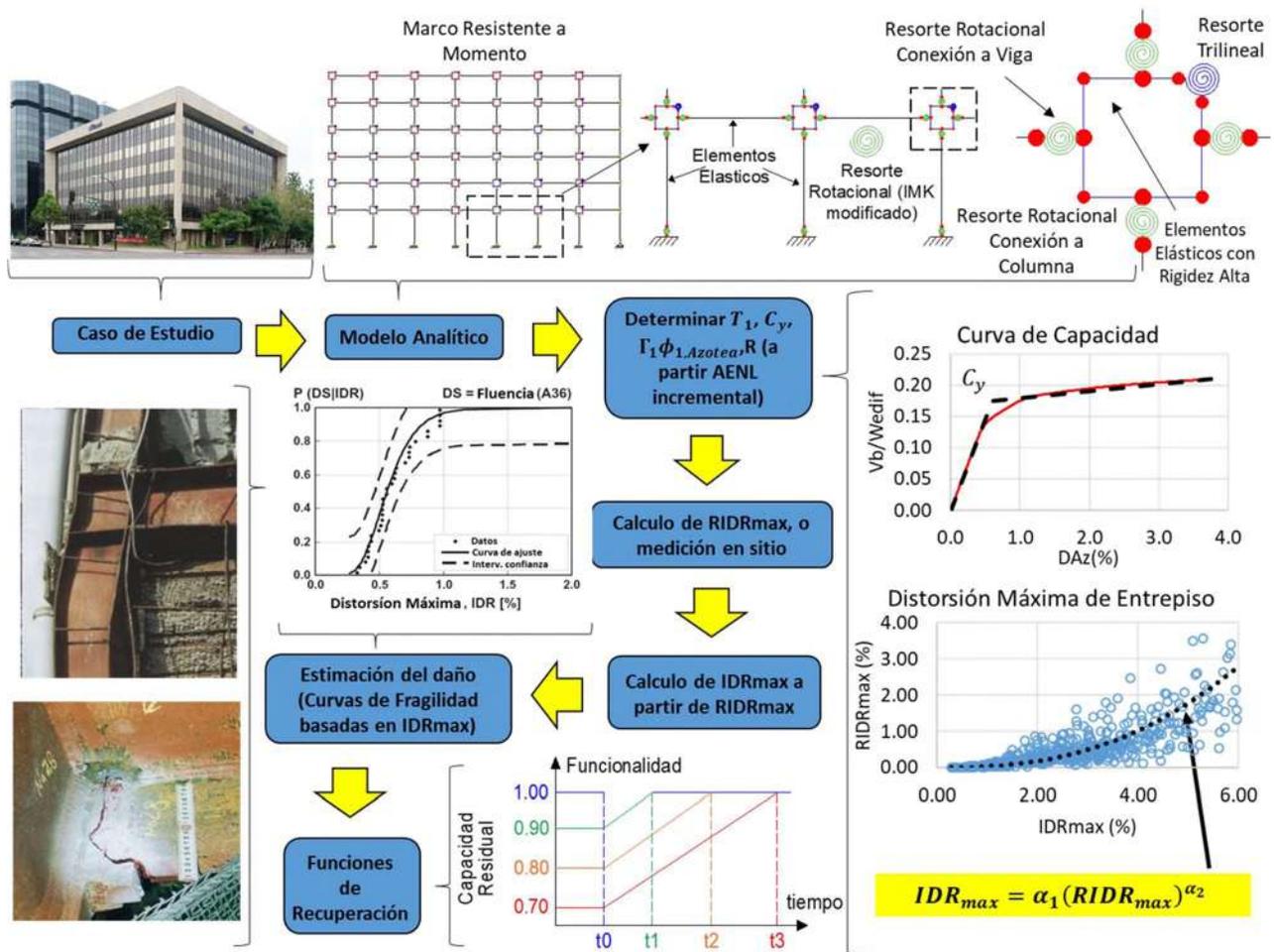


Figura 2.6- Metodología para evaluar la resiliencia sísmica de edificios.

2.2 Estudios a realizar para completar la metodología propuesta.

2.2.1 Relaciones predictivas IDR_{max} y $RIDR_{max}$

En la literatura se han propuesto ecuaciones predictivas que relacionan IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ enfocadas a edificios de acero con sistema estructural a base de MRM. Christidis et al. (2013), Garcia (2015), Bravo-Haro y Elghazouli (2018) obtuvieron ecuaciones con tendencia lineal

que fueron evaluadas ante un escenario sísmicos con registros ordinarios (fuente lejana) y terreno firme. El presente trabajo de investigación realizara un estudio en un conjunto de edificios (3, 6, 9 y 13 Niveles) de acero a base de MRM ubicados en los Ángeles, California, EU sometidos a un ambiente sísmico de movimientos del terreno de fuente cercana. Evaluando la respuesta sísmica de las estructuras de los edificios utilizando análisis dinámico incremental no lineal (ADI) para proponer una ecuación que permita predecir IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ e $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max} .

2.2.2 Uso de pulsos equivalentes

Uno de los retos de la ingeniería estructural es representar el comportamiento de las estructuras ante excitaciones sísmicas por medio de modelos analíticos con fuentes de no linealidad (viga, columna y conexiones) por medio de articulaciones plásticas (distribuida o concentrada), elementos fibra, elementos elásticos o elementos finitos. Esto conlleva a una demanda computacional que aumenta con respecto a la complejidad del modelo analítico, así como también los métodos de solución numérica que derivan e integran el sistema de ecuaciones dando solución a la respuesta de la estructura durante un registro sísmico.

Mavroeidis & papageorgiou (2002) y Fu & Menun (2004) desarrollaron funciones que representa de forma aproximada los PGV y PGA de los movimientos del terreno de fuente cercana con efectos de directividad positiva, basándose en PGV y tiempo del pulso de velocidad, T_p .

Uno de los objetivos dentro de este trabajo de tesis es el proponer ecuaciones funcionales que relacionen IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$. Estudios realizados por investigadores han demostrado que los pulsos equivalentes logran representar de forma aproximada la respuesta máxima IDR_{max} de la estructura sometida ante registros de fuente cercana, Kalkan & Kunnath (2006), Sehhati et al. (2011), Alonso-Rodríguez y Miranda (2015). Con base a lo anterior se realizarán ADI con los pulsos equivalentes (PE) con la finalidad de reducir el esfuerzo computacional y principalmente si estos logran predecir la $RIDR_{max}$.

2.2.3 Funciones de recuperación (FR)

Conociendo la probabilidad de alcanzar un estado de daño (pandeo ó fractura) en relación a IDR_{max} utilizando curvas de fragilidad específicas. Se realiza una investigación en la literatura de las técnicas de reparación disponibles FEMA 352 (2000), Manolo et al. (2016), Ito y Mori (2016), Chen et al. (2018) para determinar los costos y tiempo de reparación. Finalmente obtener las FR para cada

estado de daño que se puede presentar en relación con IDR_{max} a nivel de elemento. Sin embargo, la pérdida de funcionalidad de un edificio dependerá de la suma de los estados de daño de los elementos que forman parte del sistema estructural MRM y la recuperación de su funcionalidad de la $RIDR_{max}$, los costos y tiempo de reparación. De tal forma que las FR son una buena forma de evaluar la resiliencia sísmica de edificios al relacionar $RIDR_{max}$, estados de daño, costos y tiempo de reparación.

3 Relaciones predictivas de IDR_{max} y $RIDR_{max}$

3.1 Edificios considerados en este estudio

Se utiliza un conjunto de cuatro edificios (3, 6, 9 y 13 niveles) de acero ubicados en los Ángeles, California, EU. Diseñados de acuerdo al código UBC (Uniform Building Code por sus siglas en inglés) (1994) con uso de oficina, su sistema estructural es a base de marcos de acero resistentes a momento (MRM). Además de pertenecer al programa CESMD (Center for Engineering Strong-Motion Data).

Se consideran las fuentes de no linealidad de los elementos estructurales (viga, columna y zona de panel) empleando el método de plasticidad concentrada por medio de resortes rotacionales utilizando el modelo modificado Ibarra-Medina-Krawinkler (IMK) para vigas y columnas. Para la zona de panel (conexión viga-columna) se considera un resorte trilineal empleando el método propuesto por Gupta y Krawinkler (2013).

El modelado y calibración de cada edificio fueron realizados por Carlos Chora (2014). La descripción geometría, secciones transversales de los elementos, propiedades dinámicas y mecánicas se presentan en el apéndice A. Para identificar cada modelo analítico correspondiente a cada edificio se respetará la nomenclatura propuesta por el autor donde:

XN: Numero de niveles correspondiente al edificio.

mE: Modelo analítico con marco exterior.

mEI: Modelo analítico con marco exterior e interior.

Por lo tanto, los modelos de los edificios con marco exterior se identificarán como XNmE (3NmE, 6NmE, 9NmE y 13NmE) y para los modelos que consideran la participación del marco interior como XNmEI (3NmEI y 9NmEI).

3.2 Movimientos del terreno

3.2.1 Registros de fuente cercana con efectos de directividad

Uno de los objetivos del presente trabajo de investigación es proponer relaciones funcionales de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$, en la literatura se han realizado estudios consideran registros ordinarios (fuente lejana) proponiendo ecuaciones predictivas con funciones lineales Christidis et al. (2013), García (2015), Bravo-Haro y Elghazouli (2018).

Se explora las demandas sísmicas considerando una familia de registros 40 registros sísmicos de fuente cercana con efectos de directividad positiva (FCDP) Fu y Menun (2004). Un ejemplo del daño que pueden ocasionar fue el sismo de Northridge, California, 1994 dañando a 150 edificios de acero con sistema estructural a base de MRM donde 90 de ellos sufrieron daños en sus conexiones y componentes estructurales SAC 95-07 (1995). Modificando los códigos de diseño, los edificios que se encuentran actualmente en funciones se conocen como edificios pre Northridge.

En la figura 3.1 se muestran en línea gris los espectros de respuesta individualizados normalizados con respecto de g de cada registro sísmico, en línea roja la mediana de los 40 movimientos del terreno, en línea negra punteada T_1 correspondiente a cada modelo analítico y la pseudo-aceleración máxima asociada a T_1 .

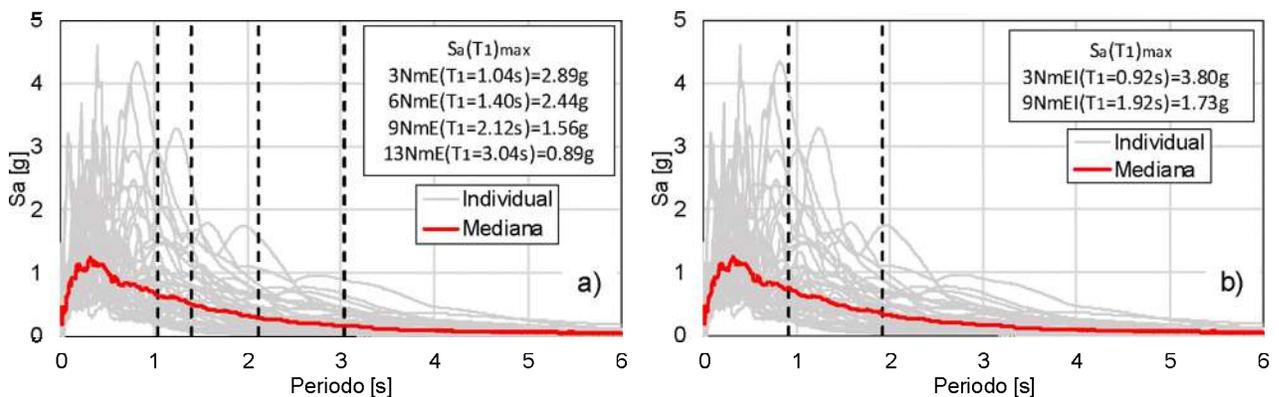


Figura 3.1 Espectros de respuesta pseudo aceleración 40 registros FCDP, a) marco exterior y b) marco exterior e interior

3.2.2 Pulsos equivalentes (PE)

Mavroeidis y Papageorgiou (2002) realizaron un estudio en más de 160 registros de fuente cercana permitiéndoles identificar un fenómeno denominado como efecto de directividad. Fu y Menun (2004) reforzaron el estudio previo formando un grupo de 40 registros de fuente cerca con efectos de directividad positiva. Los autores presentaron ecuaciones que permiten predecir en la historia de velocidad del terreno el pulso de velocidad originado por los efectos de directividad positiva. Es decir, las ecuaciones parten de la predicción del pulso de velocidad utilizando los parámetros propios de cada registro como PGV , T_g y T_p . Para obtener la aceleración del terreno solo basta con derivar la ecuación general propuesta por los autores para calcular el pulso de velocidad. Ver tabla en apéndice B

En la figura 3.2 y 3.3 se muestran dos registros FCDP comparado los PE en velocidad y aceleración calculados con las ecuaciones 3.1, 3.4, 3.5 y 3.6. Es importante mencionar, que el cálculo de los PE se realiza utilizando T_p propuesto por Fu y Menun (2004) para las dos ecuaciones. Como se puede observar en la figura 3.5 en el registro de velocidad se logra una aproximación aceptable (Ec. 3.1 y 3.5), en comparación con el registro de aceleración (Ec. 3.4 y 3.6) no en todos los casos se logra representar la aceleración tanto en intensidad como en magnitud. Ver apéndice B (Ec. 3.1 a 3.8)

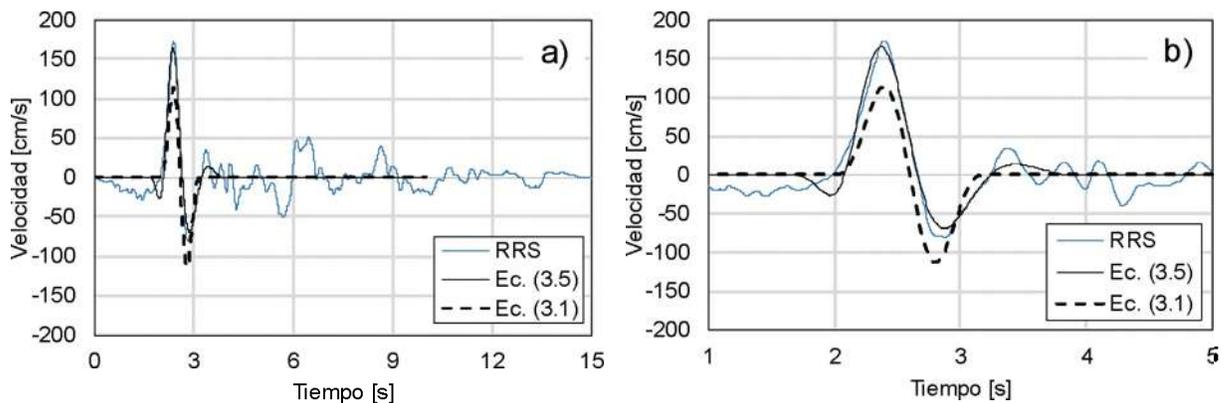


Figura 3.2 Northridge Rinaldi Receiving (RRS), a) registro de velocidad y b) acercamiento para visualizar la diferencia que existe entre ambos métodos.

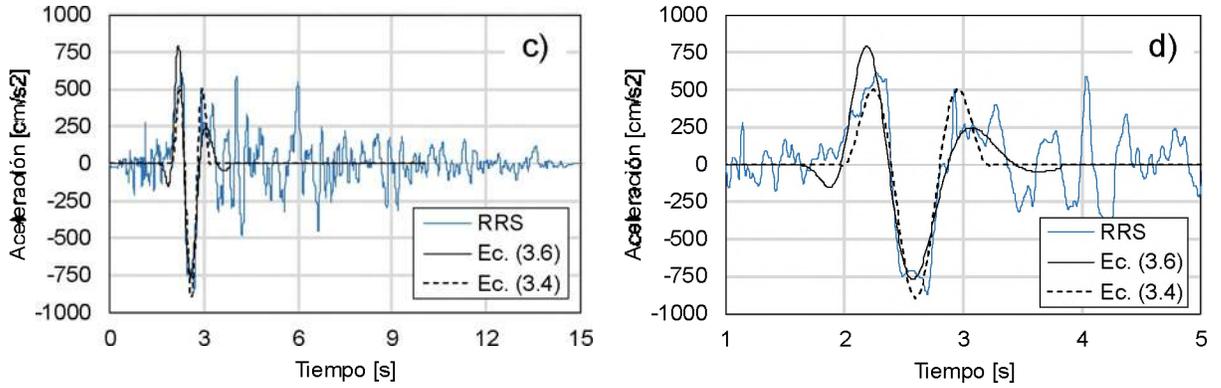


Figura 3.2 Continuación Northridge Rinaldi Receiving (RRS), c) registro de aceleración y d) acercamiento para visualizar la diferencia que existe entre ambos métodos.

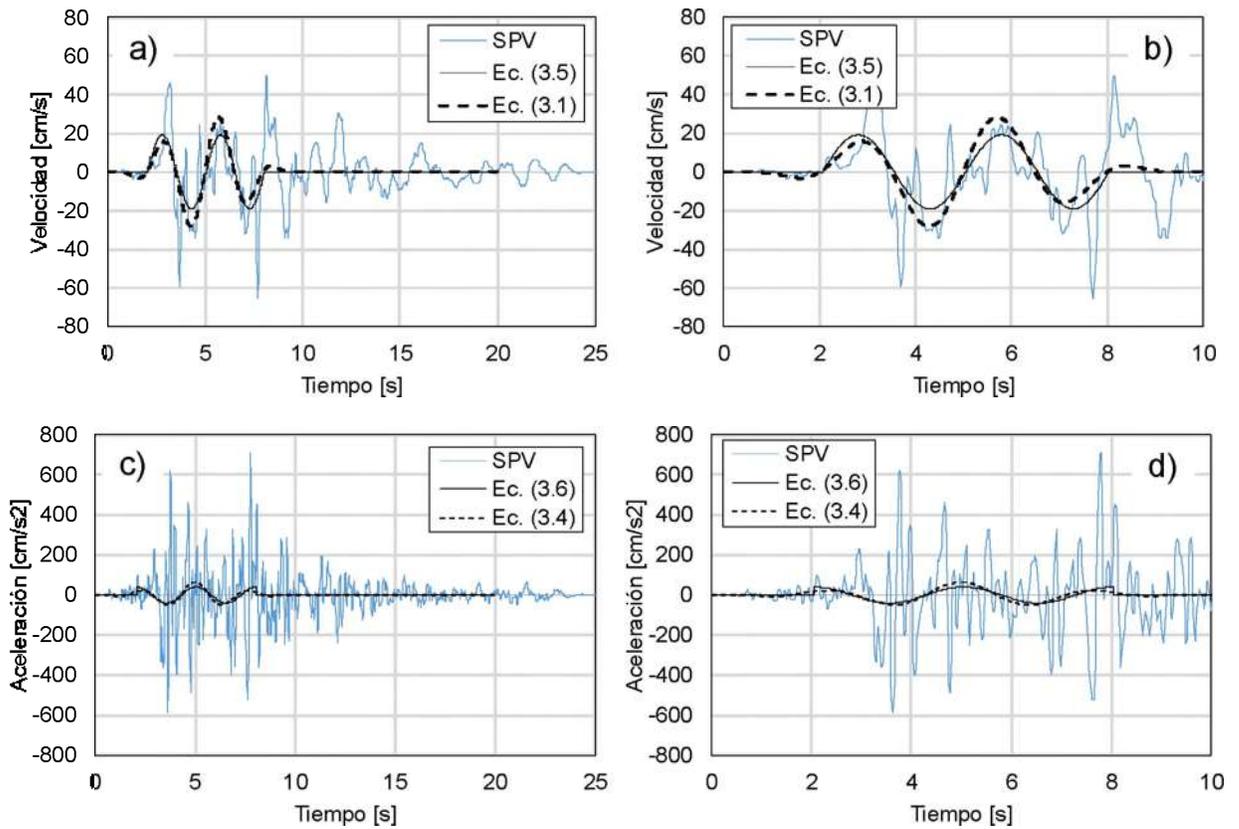


Figura 3.3 Northridge Sepulveda VA (SPV), a) registro de velocidad, c) registro de aceleración, b) y d) acercamiento para visualizar la diferencia que existe entre ambos métodos.

3.3 Análisis dinámico incremental (ADI)

Se realiza ADI utilizando como medida de intensidad la pseudo-aceleración espectral asociada al periodo fundamental de la estructura, $M. I. S_a(T_1)$, para obtener la evolución de la respuesta sísmica ante la familia de movimientos del terreno de FCDP proponiendo una pseudo-aceleración objetivo, $S_{a,obj}$, como se muestra en la ecuación 3.9

$$S_{a,obj} = F.E * S_a(T_1) \quad \text{Ec. (3.9)}$$

Donde:

$S_a(T_1)$: pseudo-aceleración asociada al periodo fundamental de la estructura

$F.E.$: factor de escala

$S_{a,obj}$: pseudo-aceleración objetivo

Como la $S_{a,obj}$ es un parámetro conocido que ira en incremento de 0.1 hasta 2.0 g , para conocer el $F.E.$ se despeja directamente de la ecuación 3.9 como se muestra en la ecuación 3.10

$$F.E. = S_{a,obj}/S_a(T_1) \quad \text{Ec. (3.10)}$$

En la figura 3.4 se muestra la evolución del espectro de respuesta en pseudo-aceleración del registro sísmico de Rinaldi (RRS) aplicando el $F.E.$ ecuación 3.10 a cada $M. I. S_a(T_1)$ para los edificios de 3 y 9 niveles. La reducción o amplificación de PGA (Peak ground acceleration por sus siglas en ingles) de cada registro sísmico dependerá si $S_a(T_1) > 2.0g$ o $S_a(T_1) < 2.0g$ respectivamente.

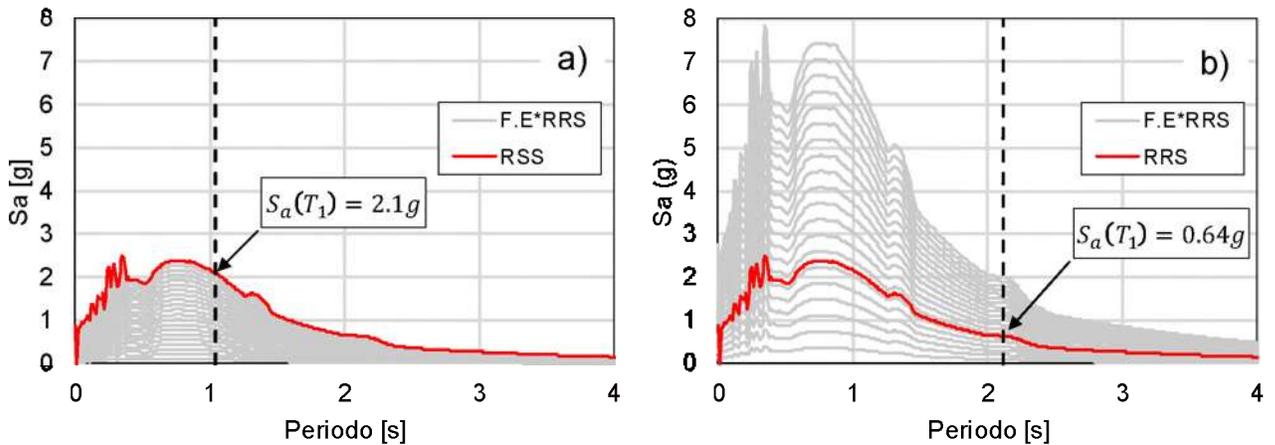


Figura 3.4 Técnica de escalamiento $S_a(T_1)$, a) 3NmE y b) 9NmE.

Los ADI no lineales se realizaron considerando que los edificios se encuentran ubicados en suelo firme por lo cual se consideran empotrados en su base, con un amortiguamiento de Rayleigh del 3% para la familia de 40 registros sísmicos de FCDP. La respuesta se presenta en perfiles de distorsión permanente ($RIDR$) y máxima (IDR) con respecto a la altura normalizada del edificio z/H de acuerdo a cada $M.I.S_a(T_1)$. En la figura 3.5 se muestra los valores de $RIDR$, IDR y la mediana en línea punteada color rojo para el edificio de 6 niveles correspondientes a $M.I.S_a(T_1) = 0.3g$.

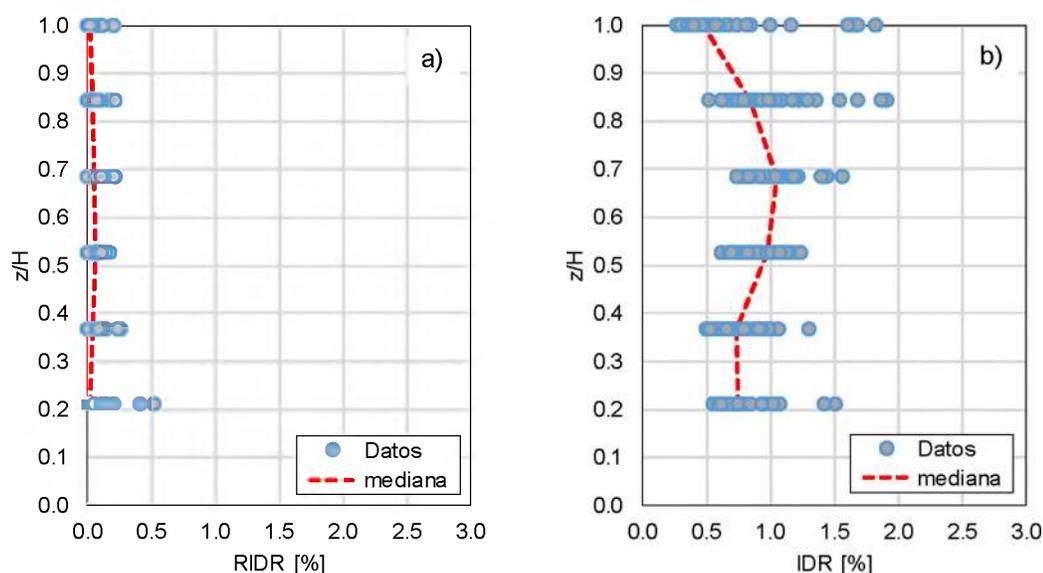


Figura 3.5 Perfil de distorsión del edificio de 6 niveles a) Permanentes y b) Máximas

3.4 Perfiles distorsión máxima (IDR)

De acuerdo a lo explicado en la figura 3.5 se presentan los perfiles de distorsión máxima del grupo de edificios (3, 6, 9 y 13 niveles) considerados dentro de esta investigación. A continuación, en la figura 3.9 se muestran la mediana asociada a cada $M.I.S_a(T_1)$ con incrementos de $0.2g$ correspondientes a los modelos analíticos con mE y mEI. Se puede observar la evolución de los perfiles de IDR con respecto a $M.I.S_a(T_1)$ en casi todos los modelos analíticos. Sin embargo, el edificio de 3NmEI el perfil asociado a $M.I.S_a(T_1) = 2.0g$ disminuye ligeramente su respuesta con respecto a los anteriores. La razón de estos resultados se explicará en los perfiles de distorsión permanente $RIDR$.

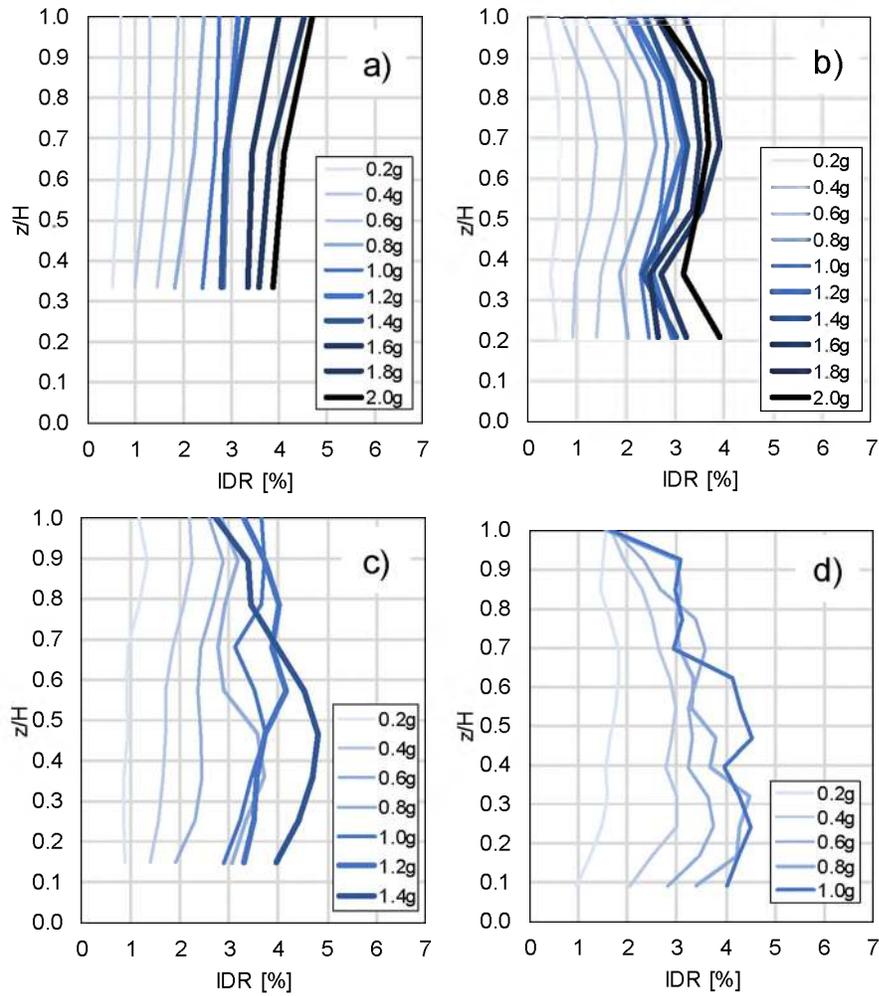


Figura 3.6 Perfiles de distorsión máxima IDR asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) 3NmE, b) 6NmE, c) 9NmE y d) 13NmE.

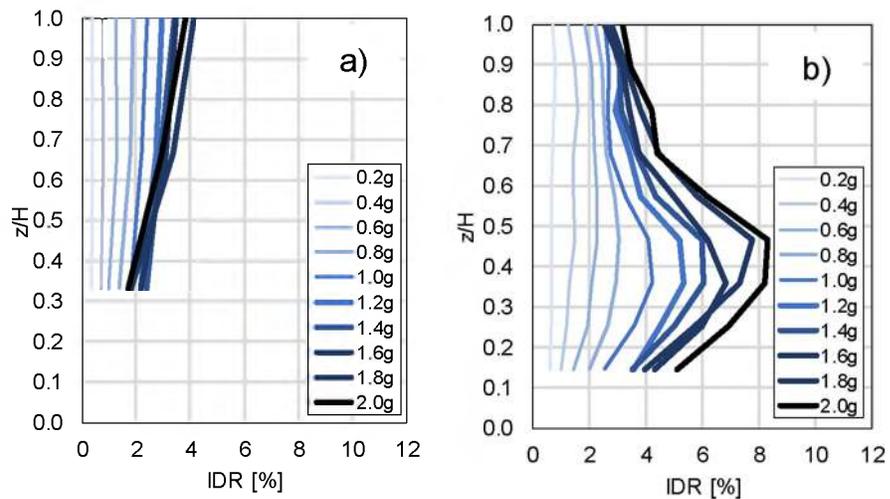


Figura 3.6 continuación Perfiles de distorsión máxima IDR asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) 3NmEI y b) 9NmEI

3.5 Perfiles de distorsión permanente (*RIDR*)

Ruiz-García y Miranda (2006), investigaron la relación de los desplazamientos residuales (permanentes) en un conjunto de edificios (3, 6, 9, 12, 15 y 18 niveles) modelados en software RUAUMOKO en dos dimensiones. Sometidos a un catálogo de 40 movimientos del terreno registrados sobre suelo rígido o roca blanda correspondiente a suelo tipo D de acuerdo a FEMA 356. Utilizando como medida de intensidad el desplazamiento inelástico asociado al periodo fundamental de la estructura $\Delta_i(T_1)$ entre el desplazamiento de fluencia Δ_y asociado a un sistema equivalente de un grado de libertad (SE1GL), con demandas de ductilidad de $\eta=0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ y 6.0 .

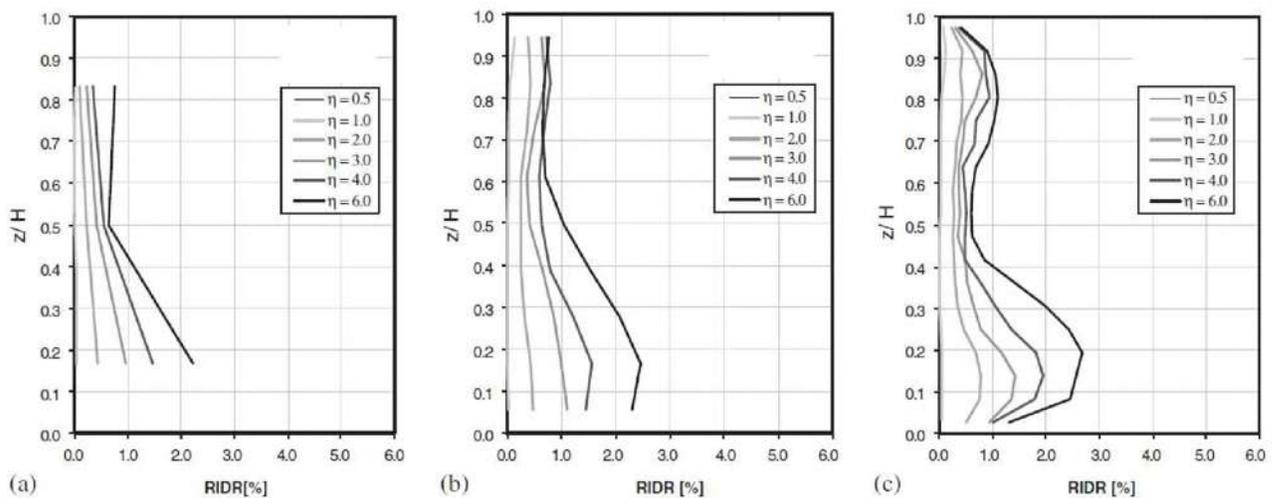


Figura 3.7 Distribución de los desplazamientos permanentes *RIDR* a) 3N, b) 9N y c) 18N (modelos rígidos) [Adaptado de Ruiz-García y Miranda (2006)]

En la figura 3.7 se presentan la mediana de los perfiles de distorsión permanentes asociados a la medida de intensidad. Observando una evolución en los perfiles *RIDR* con respecto a la medida de intensidad para el catálogo de registros ordinarios (fuente lejana). Sin embargo, en el presente trabajo de investigación se estudia la evolución de los perfiles de *RIDR* ante registros de FCDP tomando como medida de intensidad la pseudo-aceleración asociada al periodo fundamental de la estructura $M.I.S_a(T_1)$.

Siguiendo el mismo criterio de los perfiles *IDR* se grafican los perfiles *RIDR* para cada modelo analítico en relación con la $M.I.S_a(T_1)$, en la figura 3.8 se muestra la evolución de la *RIDR* observando un fenómeno analítico explorado por Julio Aguilar (2014) ante replicas identificado como re-centramiento. Donde demostró analíticamente como ante una distorsión permanente objetivo

($RIDR_{obj} = 0.1, 0.5, 1.0, 1.4$ y 2.0 %) de un edificio resultado de la respuesta de un evento principal (EP). Evalúo su comportamiento ante réplicas en cada $RIDR_{obj}$ realizando ADI con incrementos de PGA observando un cambio de dirección en $RIDR$ originando el re-centramiento analítico.

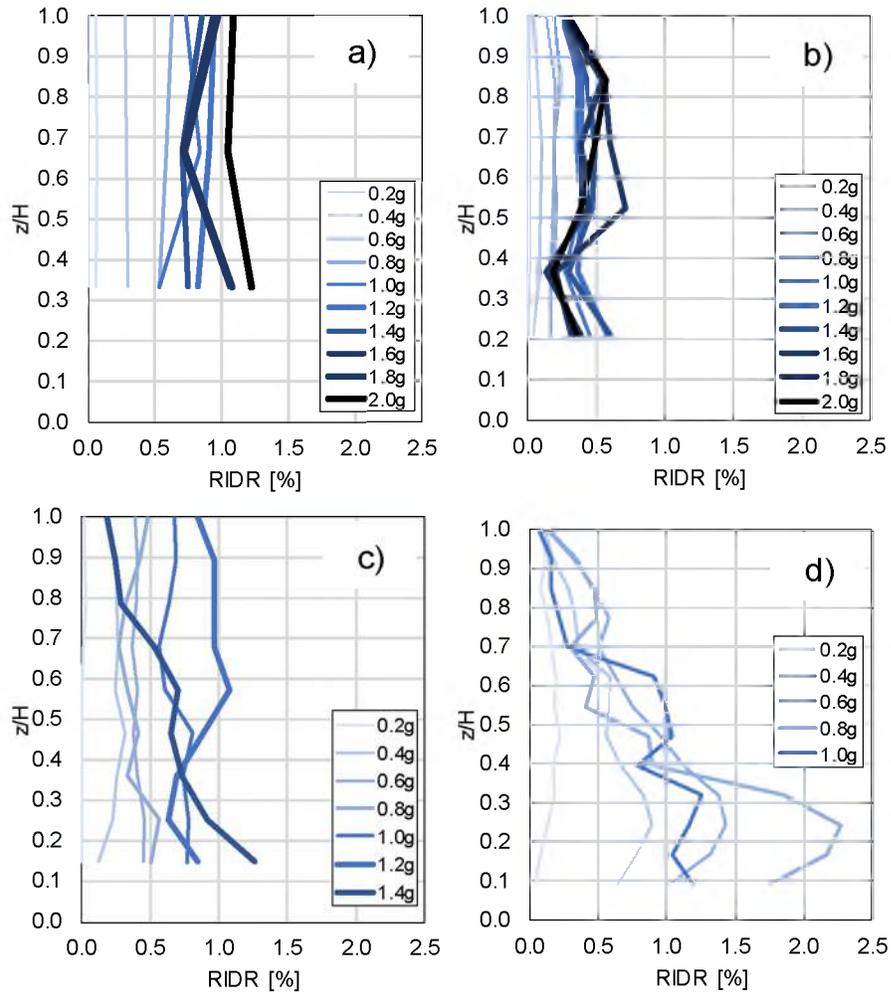


Figura 3.8 Perfiles de distorsión permanente $RIDR$ asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) 3NmE, b) 6NmE, c) 9NmE y d) 13NmE.

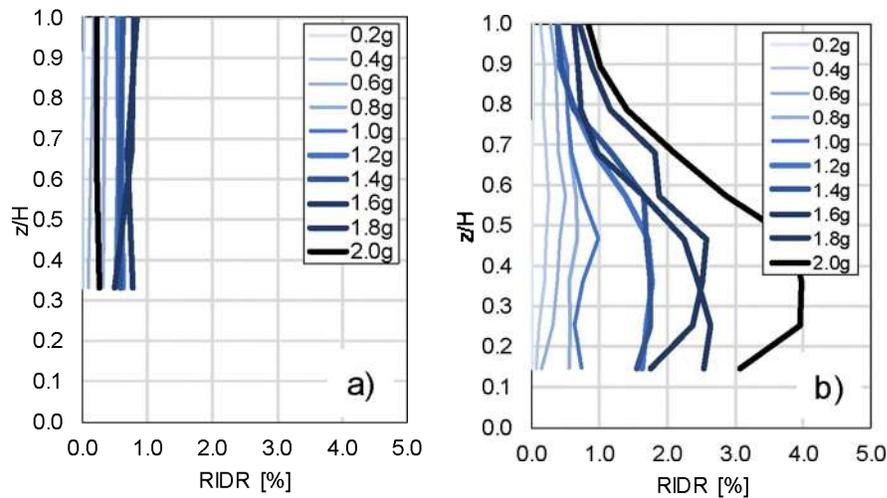


Figura 3.8 Continuación perfiles de distorsión permanente $RIDR$ asociados a $M.I.S_a(T_1)$ a) $3NmEI$ y b) $9NmEI$

3.5.1 Re-centramiento analítico

El objetivo de los MRM es absorber y disipar la energía originada por las fuerzas laterales debidas a los movimientos del terreno a través de la fluencia o fractura de sus elementos y la suma de ellos resulta en la deformación del entrepiso. Por lo tanto, una de forma de explicar este comportamiento analítico es graficando la relación momento-rotación de una viga de un entrepiso con relación a la $M.I.S_a(T_1)$. En la figura 3.9 se muestra los perfiles de distorsión permanente y máximo del ADI del edificio de 6 niveles ante el registro sísmico de FCDP Newhall (NWH) donde se puede observar este comportamiento en los perfiles de $RIDR$ a diferencia de IDR mantiene su incremento en relación con $M.I.S_a(T_1)$.

En la figura 3.10 se muestran la respuesta del registro NWH en la relación momento-rotación de la viga exterior del tercer nivel del modelo analítico $6NmE$, en color azul se muestran los lasos de histéresis y en color rojo la rotación permanente, R_p , a cada nivel de intensidad. En la figura 3.14 se muestra la evolución de R_p y la rotación máxima (R_{max}) con respecto a $M.I.S_a(T_1)$. Sin embargo R_p no son proporcionales a la $M.I.S_a(T_1)$ a diferencia de R_{max} . Por lo tanto, la suma de R_p de todas las vigas de un entrepiso con respecto a la altura del edificio representa la $RIDR$ de cada nivel.

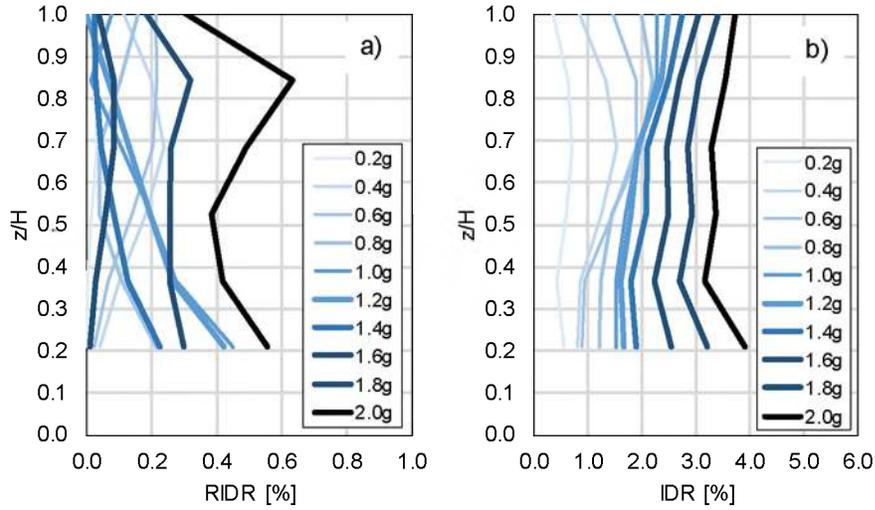


Figura 3.9 Perfiles de distorsión edificio 6 niveles registro NWH: a) Permanentes y b) máximas

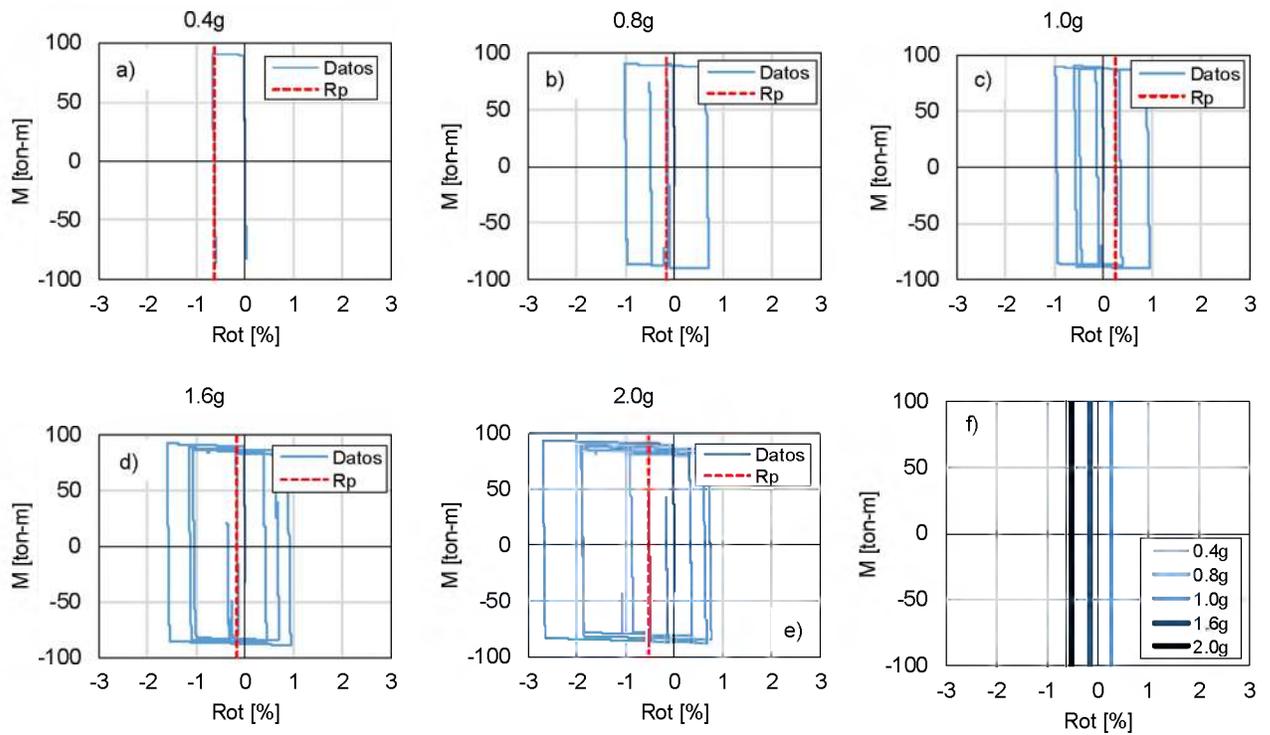


Figura 3.10 Relación momento-rotación viga 3 nivel del modelo 6NmE ante ADI del registro NWH
a)-e) $M - R$ en relación a $M.I.S_a(T_1)$ y f) R_p

En las figuras 3.11 y 3.12 se muestra la historia de distorsiones de entrepiso del tercer nivel continuando con la explicación del efecto de re-centramiento afirmando nuevamente como $RIDR$ y R_p no son proporcionales a $M.I.S_a(T_1)$ a diferencia de IDR .

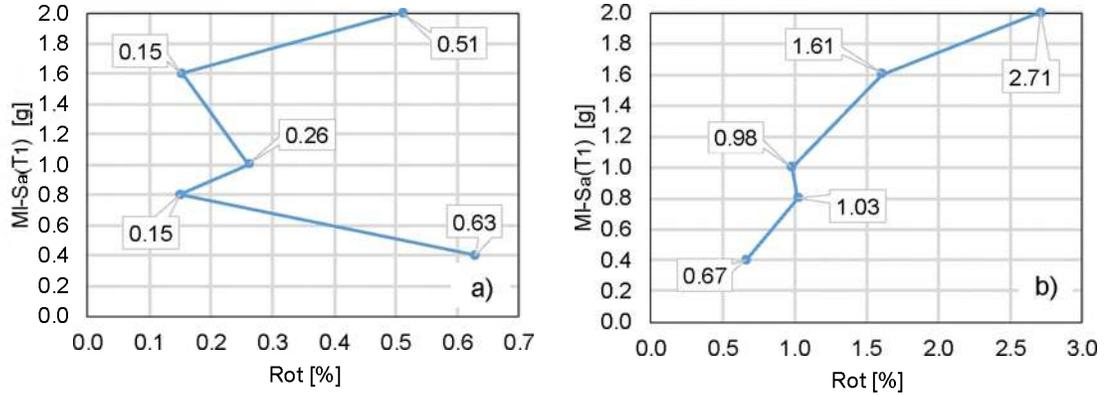


Figura 3.11 Rotación viga del tercer nivel modelo 6NmE ante registro NWH: a) permanente y b) máxima

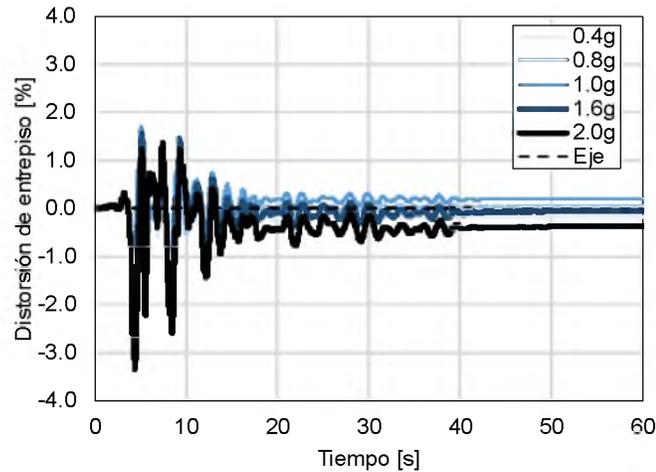


Figura 3.12 Distorsión de entrepiso del tercer nivel del modelo 6NmE en relación a $M.I.S_a(T_1)$ ante registro NWH

3.6 Relaciones predictivas IDR_{max} y $RIDR_{max}$

De acuerdo a los perfiles $RIDR$ y IDR producto del ADI de la familia de 40 registros de FCDP se selecciona el valor máximo de cada perfil con relación a cada $M.I.S_a(T_1)$ como se muestra en la figura 3.13 y 3.14. La distorsión permanente máxima de entrepiso, $RIDR_{max}$, y la distorsión máxima, IDR_{max} , no pertenecen al mismo entrepiso.

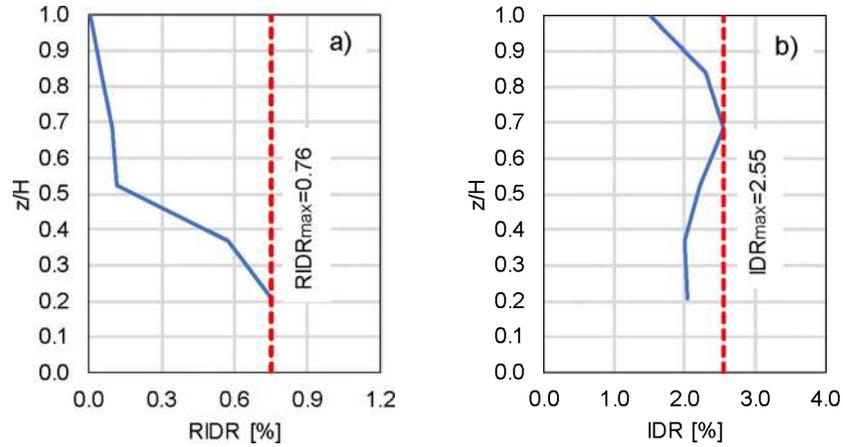


Figura 3.13 Perfiles de distorsión modelo 6NnE registro PCD: a) permanentes y b) máximas

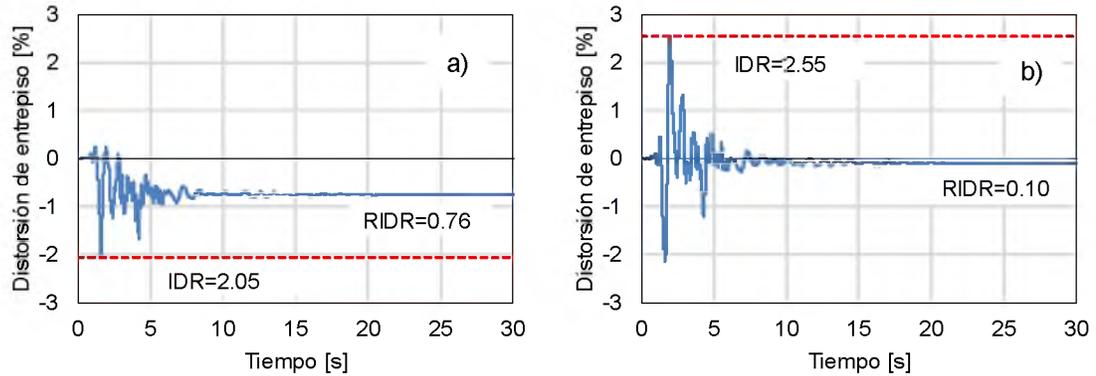


Figura 3.14 Historia de distorsiones de entrepiso modelo 6NnE registro PCD a) Nivel 1 y b) Nivel 4

Utilizando la herramienta computacional MATLAB se obtienen cada una de las ecuaciones predictivas IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ y $RIDR_{max}$ a partir IDR_{max} de cada uno de los modelos analíticos como se muestra en la figura 3.18. Se grafican los datos $[RIDR_{max}, IDR_{max}]$ e $[IDR_{max}, RIDR_{max}]$, explorando relaciones funcionales con la mejor tendencia y factor de correlación R^2 . En línea color rojo se muestran las ecuaciones predictivas 3.11 y 3.12 junto con sus intervalos de confianza del 95% en línea color naranja del edificio de 6 niveles (6NnE). A continuación, se muestran las ecuaciones generales.

$$IDR_{max} = \alpha_1 (RIDR_{max})^{\alpha_2} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$RIDR_{max} = \beta_1 (IDR_{max})^{\beta_2} \quad \text{Ec. (3.12)}$$

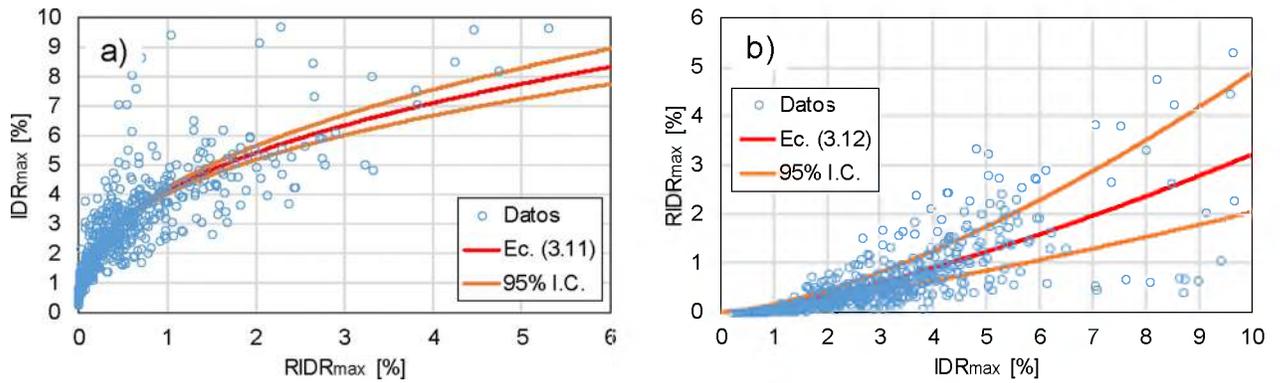


Figura 3.15 Ecuaciones predictivas modelo 6NME: a) IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ y b) $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max}

A continuación, se graficar los valores de forma independiente IDR_{max} y $RIDR_{max}$ con relación a la $M.I.S_a(T_1)$. En la figura 3.16 se muestra los valores correspondientes a cada ADI en color azul y en línea de color rojo punteada la mediana a cada nivel de $M.I.S_a(T_1)$ correspondientes al edificio de 6 niveles. Ver apéndice C

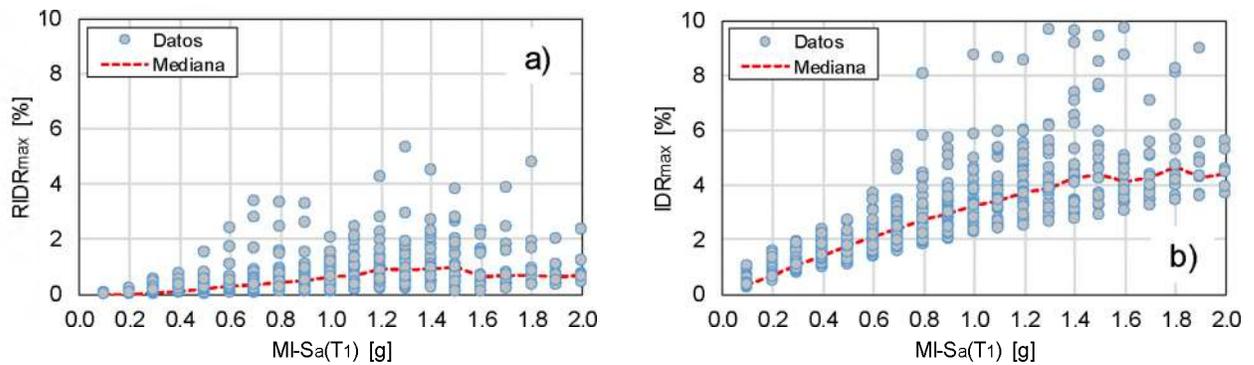


Figura 3.16 Relación distorsiones máxima con respecto a $M.I.S_a(T_1)$ edificio 6 niveles: a) $RIDR_{max}$ y b) IDR_{max}

En la figura 3.17 y 3.18 se muestra la mediana en $RIDR_{max}$ e IDR_{max} para cada uno de los modelos analíticos con mE y mEI identificando una tendencia lineal con un ligero cambio de pendiente hasta una $M.I.S_a(T_1) < 1.0g$ tanto para IDR_{max} y $RIDR_{max}$.

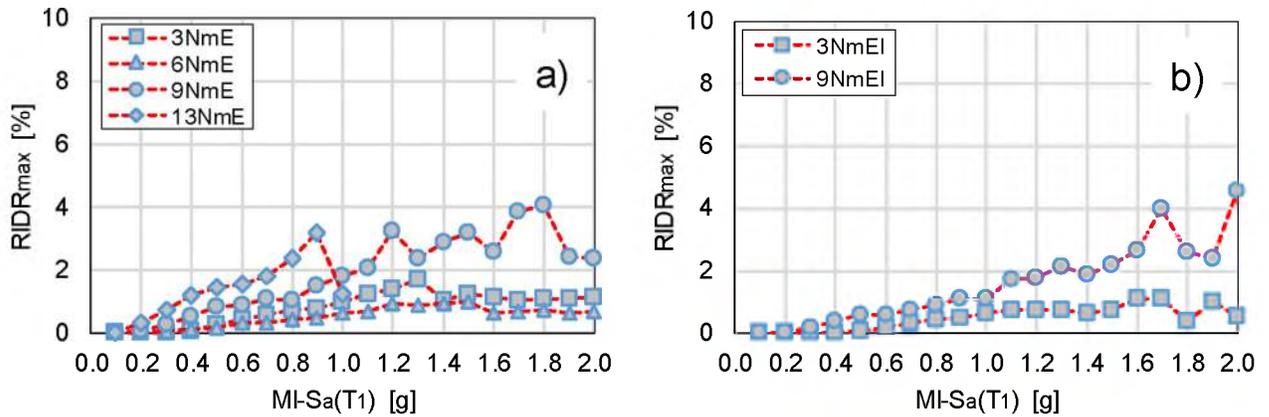


Figura 3.17 Mediana distorsiones permanentes $RIDR_{max}$ a) mE y b) mEI

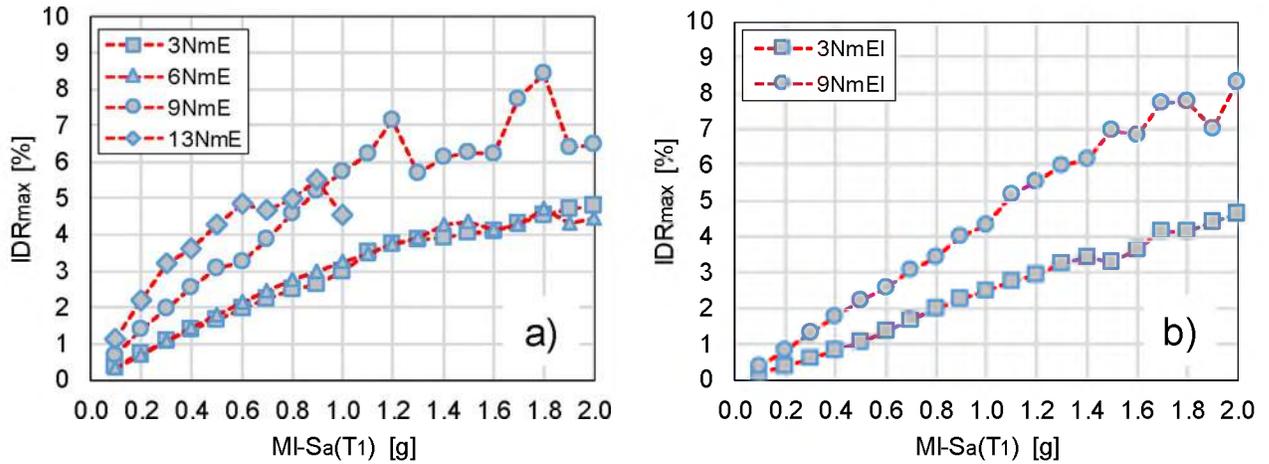


Figura 3.18 Mediana distorsiones máxima IDR_{max} a) mE y b) mEI

El procedimiento mostrado en la figura 3.18 se realiza para todos los edificios considerados en este estudio, un resumen de los factores α y β de las ecuaciones 3.11 y 3.12 respectivamente se muestran en la tabla 3.1 tanto para IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ y 3.2 $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max}

Modelo[T_1 (seg)]	α_1	α_2	$-\alpha_1$ I.C.	$-\alpha_2$ I.C.	$+\alpha_1$ I.C.	$+\alpha_2$ I.C.
3NmE(1.04)	3.4133	0.3928	3.3297	0.3711	3.4969	0.4144
6NmE(1.40)	4.1259	0.3924	4.0207	0.3664	4.2311	0.4183
9NmE(2.12)	3.9816	0.4608	3.8567	0.4321	4.1064	0.4896
13NmE(3.04)	3.6061	0.4181	3.5020	0.3904	3.7102	0.4459

Tabla 3.1 Valores de α_1 y α_2 de la ecuación predictiva 3.11 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos mE

Modelo[T_1 (seg)]	α_1	α_2	$-\alpha_1$ I.C.	$-\alpha_2$ I.C.	$+\alpha_1$ I.C.	$+\alpha_2$ I.C.
3NmEI(0.92)	3.3492	0.4233	3.2698	0.4011	3.4286	0.4456
9NmEI(1.92)	3.7641	0.4760	3.6720	0.4546	3.8562	0.4974

Tabla 3.1 continuación valores de α_1 y α_2 de la ecuación predictiva 3.11 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos con mEI

Modelo[T_1 (seg)]	β_1	β_2	$-\beta_1$ I.C.	$-\beta_2$ I.C.	$+\beta_1$ I.C.	$+\beta_2$ I.C.
3NmE(1.04)	0.1270	1.7988	0.1101	1.7274	0.1439	1.8701
6NmE(1.40)	0.1332	1.3824	0.1084	1.2743	0.1580	1.4905
9NmE(2.12)	0.1356	1.5758	0.1077	1.4719	0.1635	1.6798
13NmE(3.04)	0.1233	1.7542	0.0977	1.6416	0.1488	1.8667

Tabla 3.2 Valores de β_1 y β_2 de la ecuación predictiva 3.12 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos con mE

Modelo[T_1 (seg)]	β_1	β_2	$-\beta_1$ I.C.	$-\beta_2$ I.C.	$+\beta_1$ I.C.	$+\beta_2$ I.C.
3NmEI(0.92)	0.1259	1.6818	0.1089	1.6001	0.1429	1.7634
9NmEI(1.92)	0.0825	1.8887	0.0666	1.7909	0.0984	1.9865

Tabla 3.2 continuación valores de β_1 y β_2 de la ecuación predictiva 3.12 e intervalos de confianza del 95% (- inferior, + superior) para los modelos con mEI

Finalmente se grafican las ecuaciones predictivas para cada modelo analítico separando mE y mEI como se muestra en la figura 3.22 y 3.23. En un rectángulo color azul se traza un área de influencia para un $RIDR_{max} = 1.0\%$ observando la influencia de la distorsión permanente en IDR_{max} [3.2 a 4.2] para los modelos con mE y IDR_{max} [3.2 a 3.8] para mEI. FEMA P-58-1 (2018) propone como límite de distorsión permanente $RIDR_{max} = 1.0\%$ para un edificio convencional pueda ser reparado al tener un 50% de probabilidad de colapso.

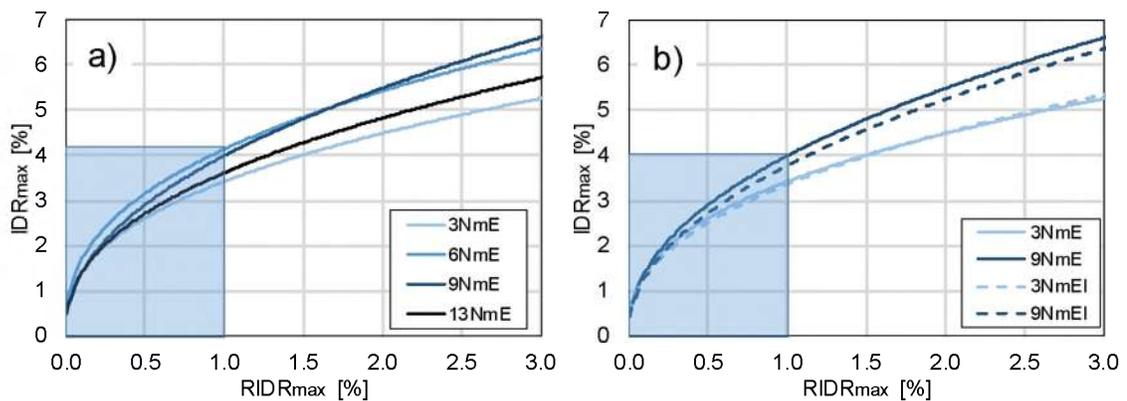


Figura 3.19 Ecuación predictiva 3.11: a) marco exterior y b) marco exterior e interior

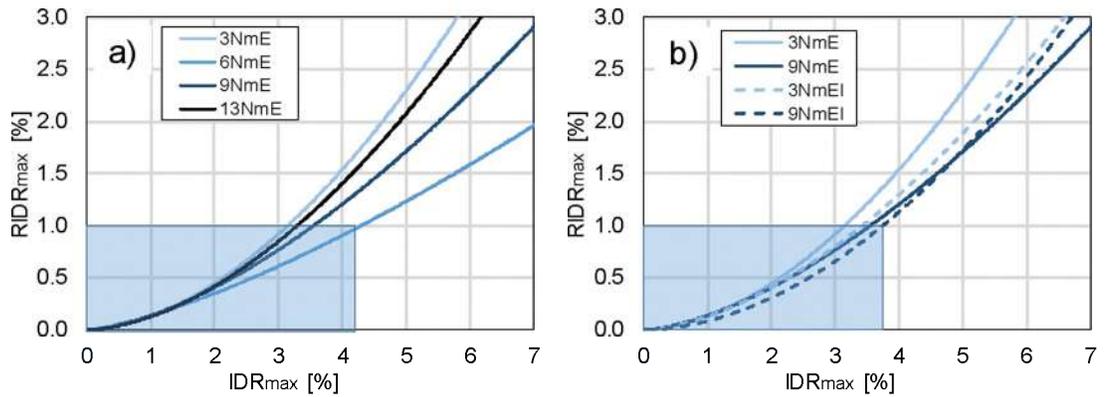


Figura 3.20 Ecuación predictiva 3.12: a) marco exterior y b) marco exterior e interior

Finalmente conociendo los coeficientes de las ecuaciones 3.11 y 3.12 se grafica su relación con el periodo fundamental T_1 de cada modelo analítico realizando el método de regresión en dos pasos. Se propone una ecuación general en relaciona tanto IDR_{max} , $RIDR_{max}$ y T_1 , en la figura 3.20 se muestra el procedimiento anteriormente descrito.

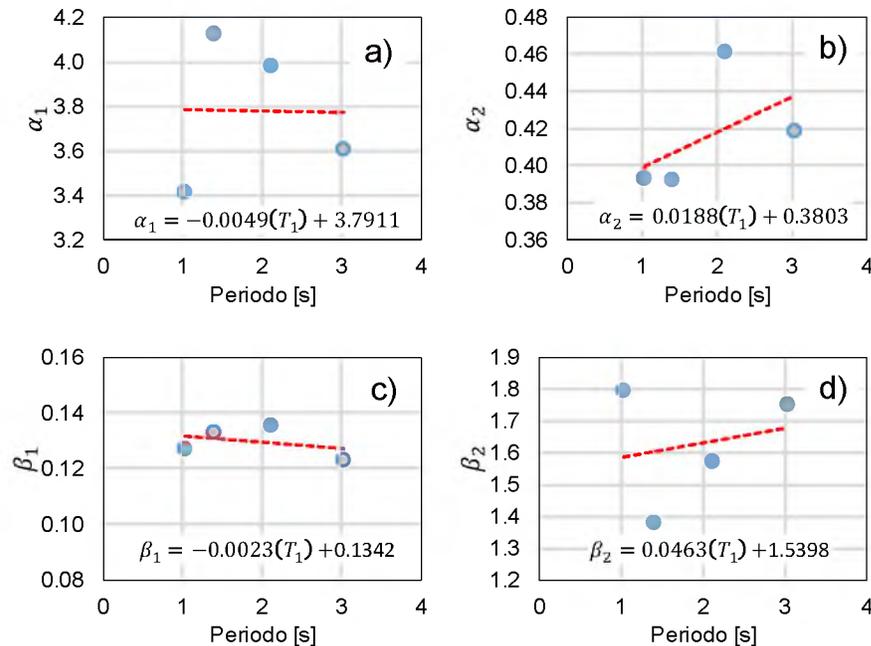


Figura 3.20 Coeficientes α y β ecuaciones predictivas a)-b) Ec. 3.11 y c)-d) Ec. 3.12

Obteniendo de forma conservadora dos nuevas ecuaciones generales para calcular las distorsiones máximas y permanentes asociando el periodo fundamental de la estructura. Para el caso

de los coeficientes α_1 y β_1 se consideran como un valor constante por la escasa influencia de T_1 en el cálculo de su valor. Sin embargo, estas ecuaciones solo se deben de considerar su uso para un rango de T_1 de 1 a 3 segundos.

$$IDR_{max} = 3.7911(RIDR_{max})^{[0.0188(T_1)+0.3803]} \text{ para } T_1 = [1 \text{ a } 3\text{seg}] \quad \text{Ec. (3.13)}$$

$$RIDR_{max} = 0.1342(IDR_{max})^{[0.0463(T_1)+1.5398]} \text{ para } T_1 = [1 \text{ a } 3\text{seg}] \quad \text{Ec. (3.14)}$$

3.7 Respuesta de los pulsos equivalentes (PE)

Estudios realizados por Kalkan y Kunnath (2006), Sehhati et al. (2011), Alonso-Rodríguez y Miranda (2015) han demostrado en la utilización de los PE una predicción aceptable en los perfiles de IDR . Sin embargo, el objetivo principal del presente trabajo de investigación es proponer un método para evaluar la resiliencia sísmica de edificios basado en la distorsión permanente. Se utilizan los PE con la finalidad de explorar si los perfiles $RIDR$ resultado de ADI logran representar de forma aproximada en amplitud y distribución z/H la respuesta de los 40 registros de FCDP. Con la finalidad de utilizar estos métodos en futuros estudios reduciendo el esfuerzo computacional en los ADI.

En la figura 3.21 se muestran la mediana de los perfiles $RIDR$ y IDR del edificio de 6 niveles y en la figura 3.22 se presentan la aproximación de $RIDR_{max}$ producto del ADI contra $RIDR_{max,PE}$ de los PE, así como también IDR_{max} . Reafirmando que el uso de los PE si logran representar la respuesta máxima de forma aproximada. Sin embargo, no logran predecir la distorsión permanente máxima de entrepiso. Ver apéndice C.

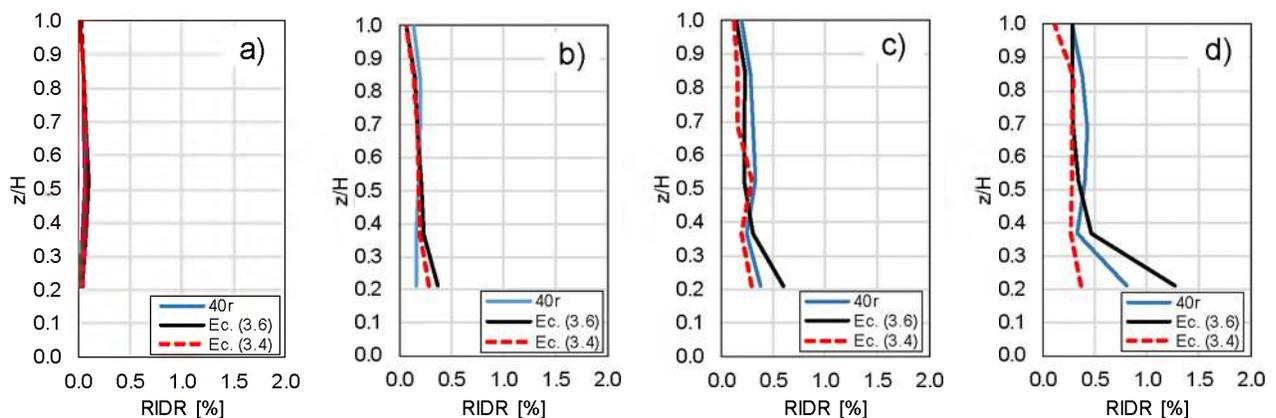


Figura 3.21 Perfiles de distorsión permanente edificio 6 niveles (6NmE) con $M.I.S_a(T_1)$ a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

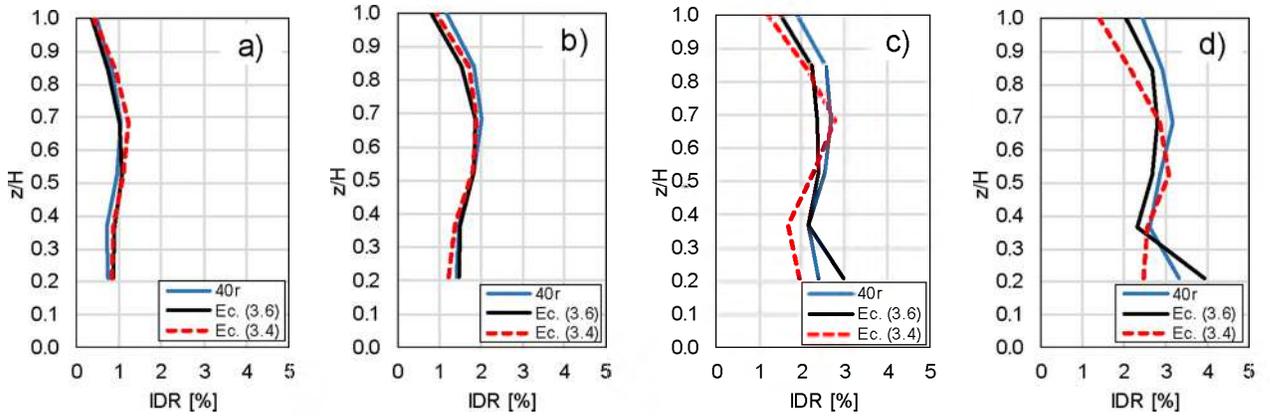


Figura 3.21 Continuación perfiles de distorsión máxima edificio 6 niveles (6NmE) con $M.I.S_a(T_1)$
a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

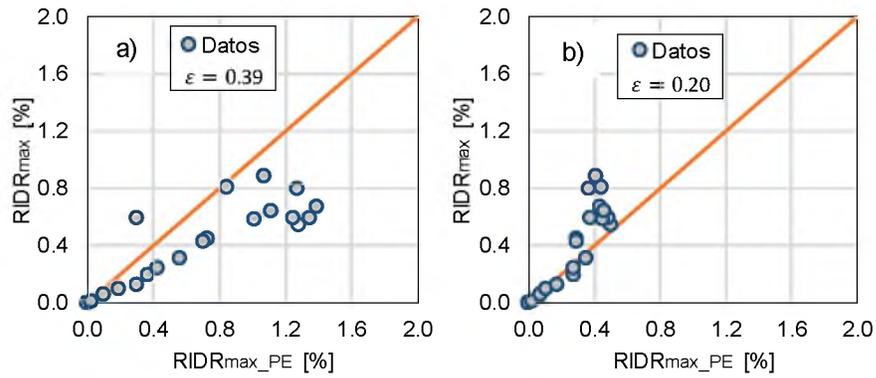


Figura 3.22a Distorsión permanente máxima 6NmE: a) Fu & Menun y b) Mavroeidis & Papageorgiou

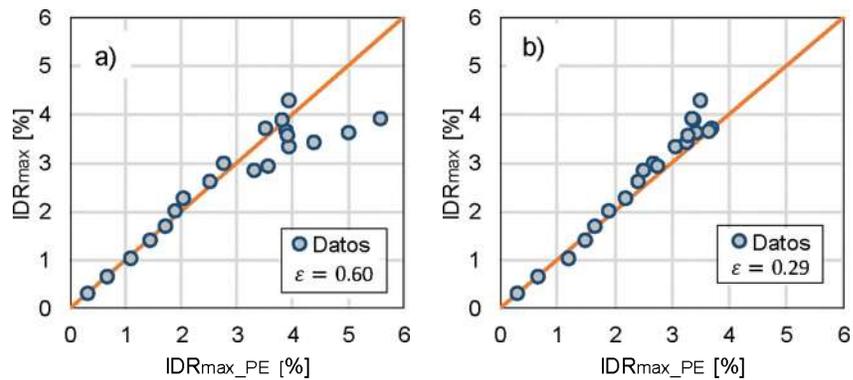


Figura 3.22b Distorsión máxima 6NmE: a) Fu & Menun y b) Mavroeidis & Papageorgiou

4 Funciones de recuperación

4.1 Metodología

Para obtener las funciones de recuperación (FR) asociada a un elemento o edificio se propone la siguiente metodología:

1) Investigar los estados de daño (ED) que pueden presentarse en una conexión viga-columna y utilizando curvas de fragilidad específicas determinar la probabilidad de alcanzar o exceder un ED en relación con IDR_{max} . Se puede recurrir a las funciones de fragilidad propuestas por ejemplo Ramírez et al. (2012), FEMA P-58-1 (2018).

2) Estimar la pérdida de funcionalidad, p_f , con relación a los ED y la distorsión permanente $RIDR_{max}$.

3) Realizar una investigación de las técnicas de reparación (TR) disponibles en la literatura como FEMA-352 (2000), Kaya et al. (2015), Ito & Mory (2016), Manolo et al. (2016) y Chen et al. (2018).

4) Elaborar un catálogo de conceptos considerando los materiales, maquinaria, herramienta, equipo y mano de obra para reparar cada ED. Es decir, los costos de reparación para recuperar su funcionalidad.

5) Determinar los tiempos de recuperación, T_R , con relación a cada ED. Es decir, el tiempo que se requiere en hora o días para recuperar la funcionalidad.

6) Construir las funciones de recuperación (FR) para cada ED con relación a p_f y T_R para que el elemento o edificio recupere su funcionalidad.

4.2 Estados de daño (ED) y funciones de fragilidad (FF)

4.2.1 Estados de daño (ED)

FEMA-352 (2000) propone un catálogo amplio de ED de acuerdo a las visitas realizadas por investigadores a los edificios de acero a base de MRM con conexiones soldadas a momento dañados después del sismo de Northridge 1994. A continuación, se presentan en las figuras 4.1 a 4.3 los estados de daños que pueden presentarse en una conexión viga-columna (pre-Northridge):

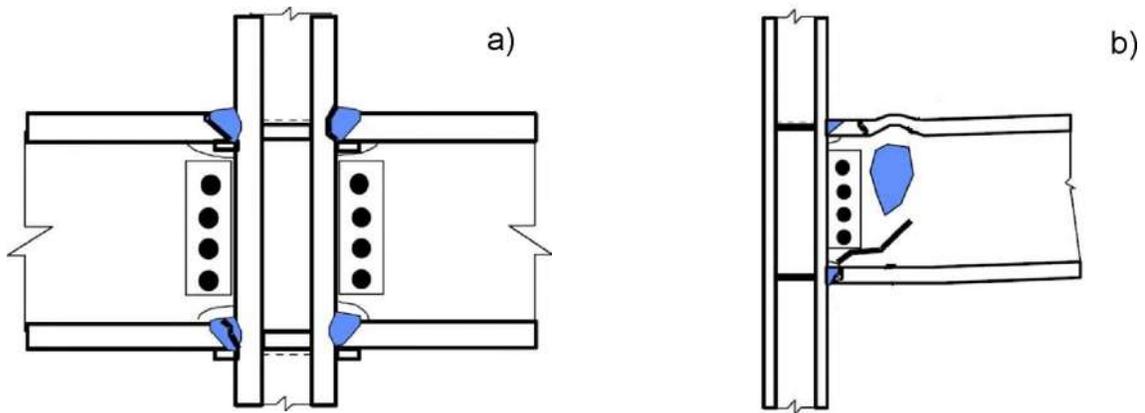


Figura 4.1 Fluencia o fractura: a) soldadura y b) viga. [Adaptado de FEMA352 (2000)].

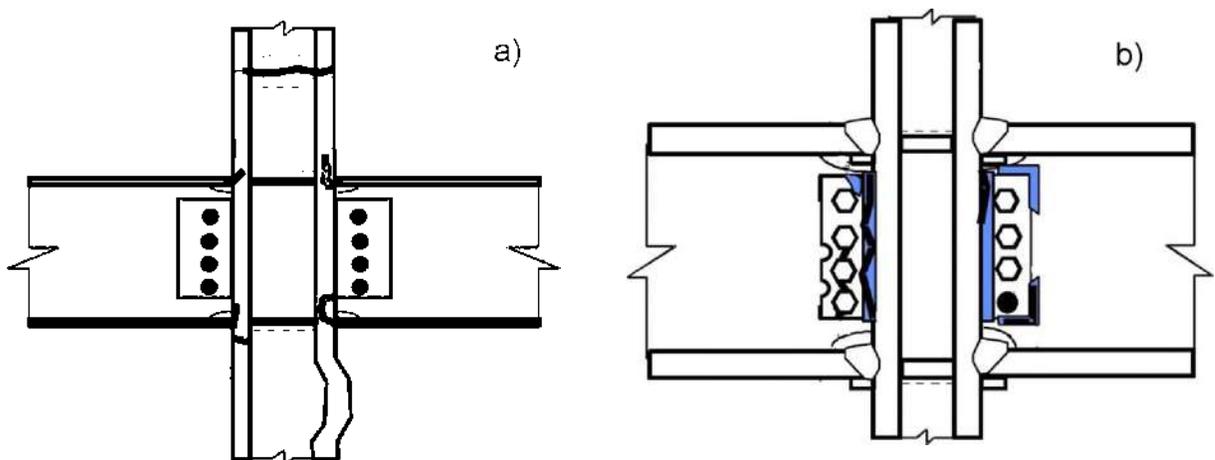


Figura 4.2 Fluencia o fractura: a) patín de la columna y b) placa a cortante. [Adaptado de FEMA352 (2000)].

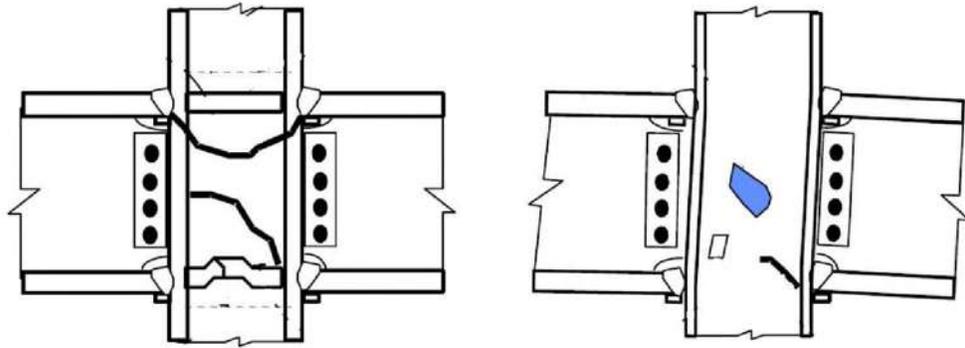


Figura 4.2 Fluencia o fractura en zona del panel. [Adaptado de FEMA352 (2000)]

Los daños que presentan en una conexión viga-columna de un edificio sometido a las fuerzas laterales debidas a un sismo son una combinación de los expuestos en las figuras 4.1 y 4.2. Sin embargo, los modelos analíticos utilizados en este trabajo no consideran la falla frágil por fractura de soldadura. Por lo tanto, los ED que se utilizan son fluencia o fractura de la viga y zona del panel. Ramírez et al. (2012) observo en pruebas de laboratorio realizadas en 55 conexiones viga-columna, la fluencia o fractura se presenta primero en la viga y posteriormente en la zona del panel. A continuación, en la figura 4.3 se muestran los ED considerados dentro de esta investigación.

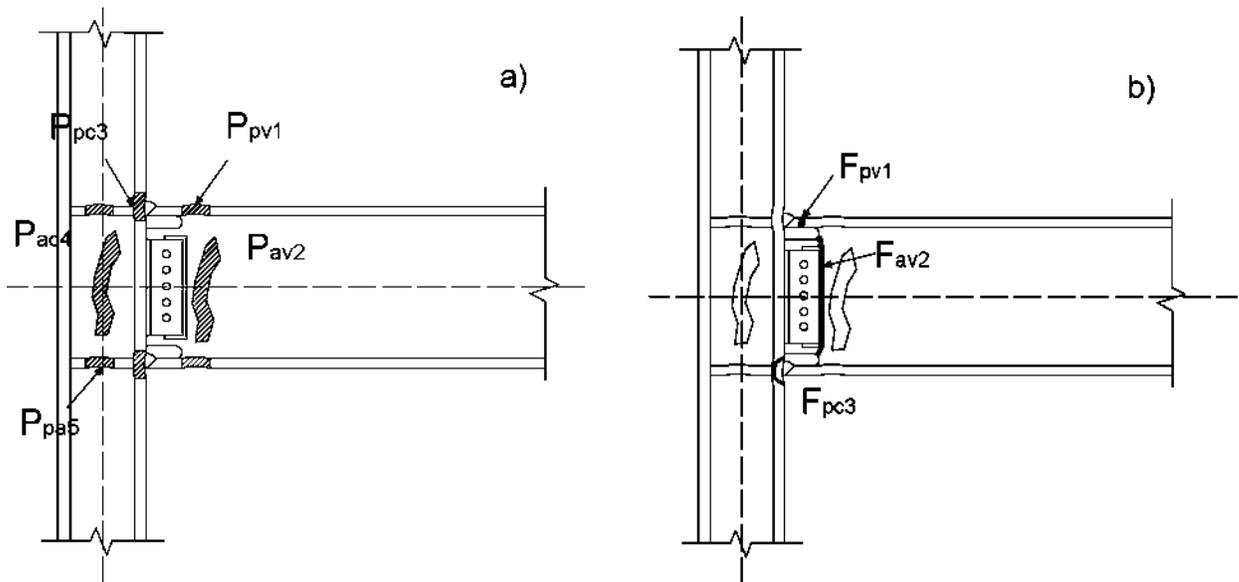


Figura 4.3 Condición deformada en la conexión pre-Northridge: a) fluencia (pandeo) y b) fractura

En la tabla 4.1 se describe la simbología utilizada en cada estado de daño mostrado en la figura 4.4.

Tabla 4.1 Descripción de la simbología empleada en figura 4.4

Ppv1	Pandeo del patín de la viga
Pav2	Pandeo del alma de la viga
Ppc3	Pandeo del patín de la columna
Pac4	Pandeo del alma de la columna
Ppa5	Pandeo del atiesador
Fpv1	Fractura del patín de la viga
Fav2	Fractura del alma de la viga
Fpc3	Fractura o desgarramiento del patín de la columna

De esta manera se proponen los siguientes estados de daño que pueden presentarse en vigas de acero como las consideradas en los edificios de estudio de acuerdo a lo descrito en FEMA-352 (2000) y Ramírez et al. (2012). A continuación, en la tabla 4.2 se describe cada ED

Tabla 4.2 Estados de daño (ED)

Estado de daño (ED)	Descripción
ED0	No se encuentran daños en los elementos estructurales, su comportamiento es elástico (es decir, $IDR_{max} < \theta_y$). No se presentan deformaciones permanentes, daños cosméticos en la pintura de las conexiones viga-columna (es decir, agrietamiento o desprendimiento de la pintura en vigas, columnas y zona de panel).
ED1.1	Se presentan daños en los elementos estructurales, su comportamiento es no lineal (es decir, $IDR_{max} > \theta_y$). La estructura presenta deformaciones permanentes en sus elementos concentrándose principalmente en las vigas (es decir, $RIDR_{max} \leq 0.1\%$, pandeo en el patín y el alma de la viga).
ED1.2	Fluencia total de la conexión (es decir, $RIDR_{max} \leq 0.5\%$, ED1.1 más el pandeo de la zona de panel, patín y alma de la columna)
ED2.1	Se presenta la fractura en la viga de la conexión viga-columna (es decir, $RIDR_{max} \leq 1.0\%$, fractura del patín, el alma de la viga, pandeo en la zona de panel, patín y alma de la columna).
ED2.2	Fractura completa de la conexión viga-columna (es decir, $RIDR_{max} > 1.0\%$, fracturas en el patín y el alma de la viga y la columna de la zona de panel)

4.2.2 Funciones de fragilidad (FF)

La familia de edificios que forman parte de este trabajo de investigación cuenta con conexiones viga-columna resistente a momento soldadas, placa a cortante que conecta el patín de la columna con el alma de la viga por medio de tornillos y soldadura perimetral. Este tipo de conexiones fue utilizado en la mayor parte de las regiones sísmicas de Estados Unidos (EU) en los años 1970 a 1994 como sistema estructural para resistir las fuerzas laterales generadas por un evento sísmico. Sin embargo, después del sismo que sucedió el 17 de enero de 1994 en Northridge, California, EU se detectó una falla frágil por fractura en la soldadura en las conexiones viga-columna originado una pérdida súbita de resistencia. Tal fue el impacto de este acontecimiento que hoy en día este tipo de conexiones que fueron diseñadas con los reglamentos anteriores a 1994 son conocidas como pre-Northridge.

Por lo tanto, una función de fragilidad expresa la probabilidad de alcanzar, o exceder, un estado de daño predeterminado condicionado en el nivel de la distorsión máxima de entrepiso. Ramírez et al. (2012) construyó tres funciones de fragilidad a partir de 51 pruebas experimentales de conexiones viga-columna pre-Northridge realizadas por 10 investigadores en un periodo de 33 años (1970-2003) donde se propusieron dos ED para dos tipos de acero estructural A36 y A572.

ED1 Fluencia (Pandeo): Ramírez et al (2012) observó que el pandeo ocurre primero en la sección de la viga, posteriormente en la columna (zona del panel) tanto en el patín y el alma de ambos elementos. En la figura 4.4 se muestran las curvas de fragilidad a la fluencia donde se relaciona la distorsión máxima de entrepiso con la probabilidad de alcanzar o exceder la fluencia. Por ejemplo, si la probabilidad es mayor de 0.5 se asume que los elementos de la conexión experimentan la fluencia.

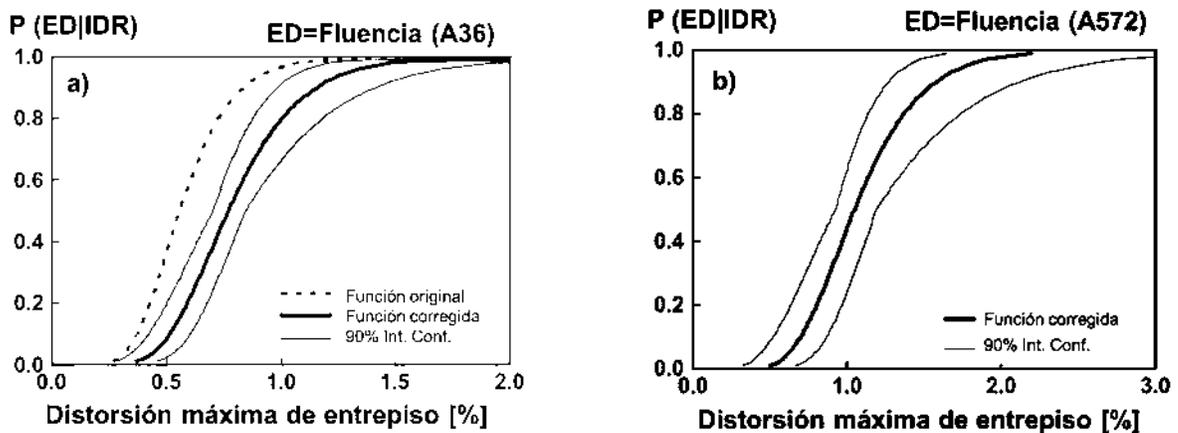


Figura 4.4 Curvas de fragilidad asociadas al ED de fluencia del acero: a) A36 y b) A572.

[Adaptado de Ramírez et al. (2012)]

ED2 Fractura: se considera de penetración completa en todo el patín de la conexión viga-columna, donde se puede considerar solo la fractura del patín de la viga o simultanea viga y columna. Ramírez et al. (2012) presenta solo una función de fragilidad al determinar que la fractura se presenta al mismo nivel de distorsión para los dos tipos de acero. A continuación, en la figura 4.3 se muestra la curva de fragilidad correspondiente a la fractura.

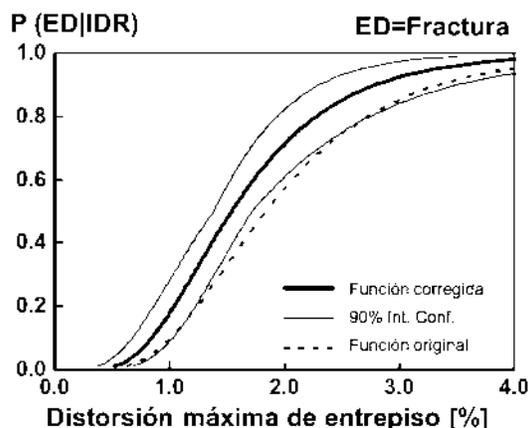


Figura 4.3 Curvas de fragilidad asociada al ED de fractura del acero A36 y A572. [Adaptado de Ramírez et al. (2012)]

4.3 Distorsiones permanentes $RIDR_{max}$

El nivel de distorsiones permanentes que puede experimentar un sistema estructural de un edificio después de un evento sísmico, se encuentra estrictamente ligado con la pérdida de funcionalidad, costos de reparación y el tiempo de recuperación para que este vuelva a ser funcional. Por lo tanto, en la tabla 4.3 se muestra la relación propuesta por FEMA-356 (2000) entre el nivel de desempeño, estado de daño, IDR_{max} y $RIDR_{max}$ para un sistema estructural a base de marcos de acero.

Tabla 4.3 Relación de distorsiones permanentes y máximas FEMA-356 (2000)

Nivel de desempeño	Estado de daño	IDR_{max} (%)	$RIDR_{max}$ (%)
Ocupación inmediata	Algunos lugares exhiben fluencia, no hay fractura, pandeo limitado	0	Despreciable
Seguridad de vida	Formación de articulaciones plásticas. Distorsión en la unión viga-columna severa, algunas fracturas en la conexión viga-columna	2.5	1.0
Prevención contra colapso	Distorsión excesiva en panel de vigas y columnas. Muchas fracturas en las conexiones a momento.	5.0	5.0

Aguilar (2014) realizó una investigación donde considero un edificio de 4 niveles de acero a base de MRM con vigas de sección reducida (RBS Reduced Beam Section por sus siglas en inglés) diseñadas de acuerdo a los criterios FEMA-350(2000) y AISC-358-05 (2005). El edificio fue diseñado y analizado para estudiar el colapso en este tipo de estructuras Lignos (2008) y Lignos & Krawinkler (2011). En su trabajo de investigación Aguilar (2014) evalúa el edificio ante eventos principales (EP) y replicas (RE) utilizando distorsiones permanentes objetivo $RIDR_o$ comparando el potencial de colapso del edificio sin daños contra la pérdida de resistencia a cada $RIDR_o$. A continuación, en la tabla 4.4 se describen cada nivel de distorsión permanente objetivo utilizado en su trabajo de investigación.

Tabla 4.4 Distorsiones permanentes objetivo $RIDR_o$. [Adaptado de Aguilar (2014)]

$RIDR_o$ (%)	Descripción
0.1	Indica que el edificio se encuentra prácticamente en su estado original (es decir, sus elementos no sufrieron ningún tipo de deterioro de rigidez y resistencia ante la acción del EP).
0.5	De acuerdo con las investigaciones realizadas por McCormick et al (2008), este nivel de distorsión residual de entrepiso puede ser percibido por los ocupantes del edificio
1.0	Recomendaciones recientes para la evaluación sísmica de edificios en los Estados Unidos (EU) sugieren que existe un 50% de probabilidad de demolición cuando se alcanza este nivel de distorsión permanente de entrepiso FEMA P-58 (2013). Así mismo, McCormick et al. (2008) indica que los ocupantes del edificio pueden sufrir mareos e incomodidades físicas a este nivel de distorsión permanente de entrepiso
1.4	Fue propuesto por Iwata et al (2006) como límite máximo de la distorsión permanente de entrepiso que aún permite la rehabilitación de edificios de acero, basado en los costos directos e indirectos que implica su reparación.

2.0	Este nivel está asociado a la necesidad inminente de demolición de la estructura. De acuerdo con las recomendaciones FEMA P-58 (2013), existe el 100% de probabilidad de demolición cuando se alcanza este nivel de distorsión permanente de entrepiso.
-----	---

4.4 Técnica de reparación (TR)

FEMA352 (2000) propone técnicas de reparación que se utilizaron para rehabilitar los edificios que presentaron daños en sus conexiones viga-columna ocasionados por el sismo del 17 de enero de 1994 en Northridge, California, EU. A continuación, se muestran las TR propuestas en FEMA352 (2000) en las figuras 4.4 y 4.5 para reparar los ED descritos en la tabla 4.2 utilizando el refuerzo con placas y sustitución de las partes dañadas. Ito & Mori (2016) proponen técnicas de reparación utilizando placas de refuerzo cubriendo perimetralmente las zonas afectadas como se muestra en las figuras 4.6 y 4.7.

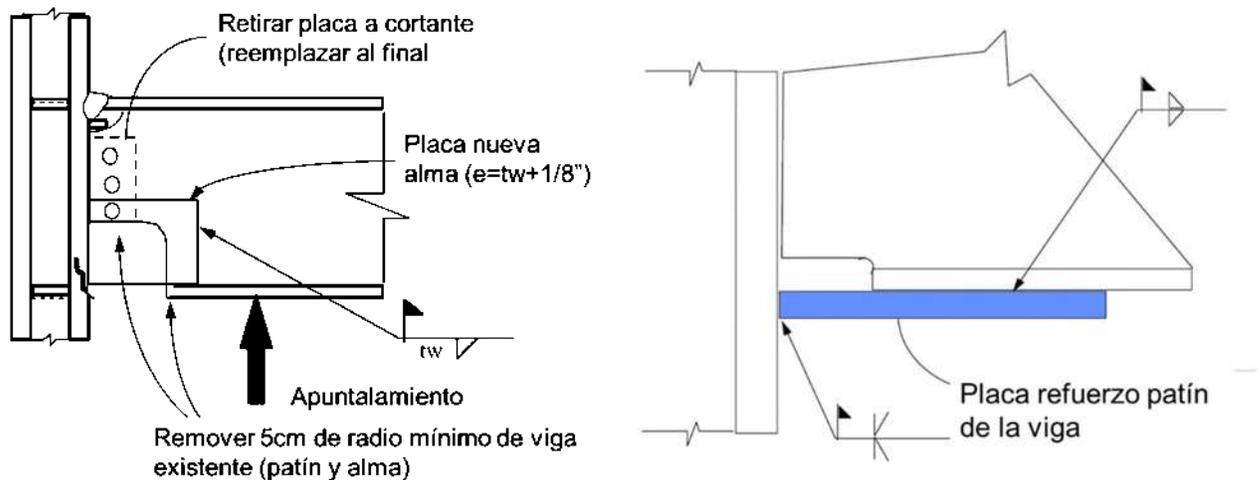


Figura 4.4 Técnica de reparación fractura: a) patín columna y b) patín de la viga. [Adaptado de FEMA352 (2000)]

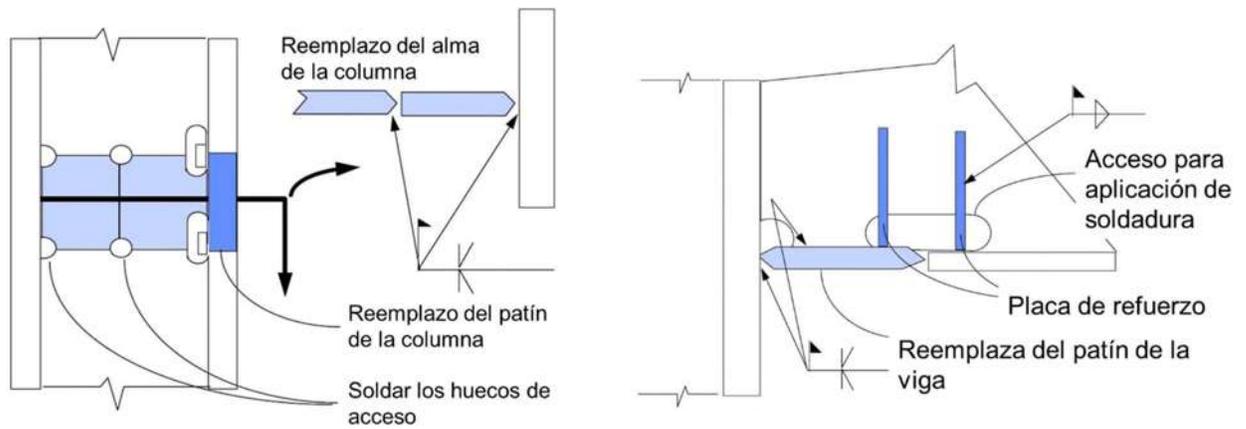


Figura 4.5 Técnica de reparación fluencia o fractura: a) Viga y b) columna. [Adaptado de FEMA352 (2000)]

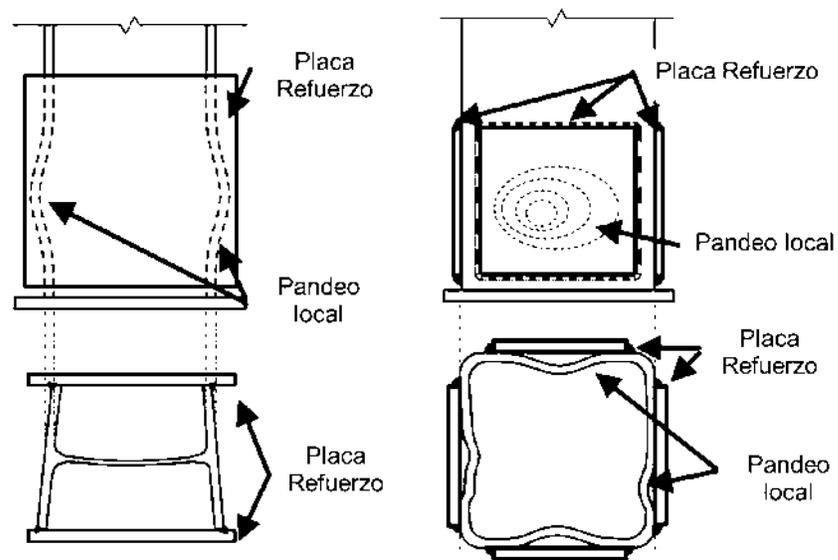


Figura 4.6 Refuerzo mediante la aplicación de placas en perfiles I y rectangular. [Adaptado de Ito y Mori (2016)]

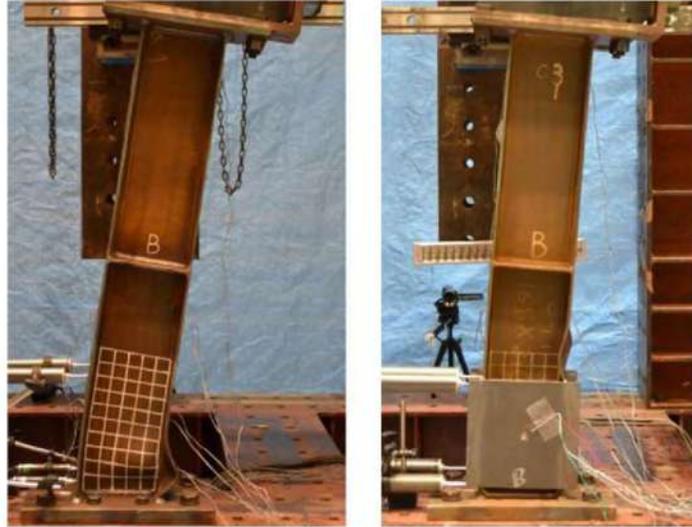


Figura 4.7 Continuación refuerzo aplicación de placas en perfiles I y rectangular. [Adaptado de Ito y Mori (2016)]

4.3 Funciones de recuperación (FR)

4.3.1 Definición

Una función de recuperación (FR) se define como la pérdida de funcionalidad, p_f , capacidad residual (remanente), C_R , costos de reparación y el tiempo de recuperación, T_R , para que el elemento estructural o edificio recupere su funcionalidad lo antes posible. Es decir, la p_f depende del estado de daño predeterminado y la distorsión permanente, $RIDR_{max}$. El T_R , depende de la técnica de reparación utilizada para devolver la funcionalidad al elemento estructural o edificio. Por lo tanto, una FR dependerá de la p_f , $RIDR_{max}$ y T_R .

Sin embargo, para determinar C_R de un elemento o edificio es necesario restar al estado sin daño (funcional) del elemento o edificio, $f_{Edo.s/daño}$, menos la p_f asociada a un ED y $RIDR_{max}$. Por lo tanto, para obtener C_R es necesario determinar primero la p_f , para esto es necesario realizar estudios a detalle que involucren la pérdida de resistencia del elemento o edificio en relación con $RIDR_{max}$ y IDR_{max} .

Es importante mencionar que, aunque $RIDR_{max}$ este dentro de los límites para realizar la rehabilitación de un edificio, se tendrá que considerar los costos de reparación para cada ED

determinado. FEMA-352 (2000) recomienda que los costos de reparación no deberán de exceder el 60% del valor del edificio en estado original.

4.3.2 Funciones de recuperación para cada ED

De acuerdo a las TR propuestas en FEMA-352 (2000) e Ito & Mori (2016) se determinan los costos de reparación para cada ED y los T_R para que la conexión viga-columna vuelva a su funcionalidad. Es importante mencionar que se los conceptos utilizados para la elaboración de las funciones de recuperación forman parte del catálogo de conceptos de la CMIC (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 2019).

A continuación, se muestran las funciones de recuperación (FR) para cada ED. Para el caso de los ED1.1 (fluencia) y ED2.1 (fractura) se utilizan cuando IDR_{max} tenga el 50% de probabilidad de alcanzar el ED. Por lo tanto, ED1.2 (fluencia) y ED2.2 (fractura) se utilizan cuando IDR_{max} tenga una probabilidad mayor del 50% de probabilidad de alcanzar el ED. Para mayor información de la descripción de los conceptos, materiales, maquinaria, equipo, herramienta, mano de obra, rendimientos que forman parte de las FR ver apéndice D.

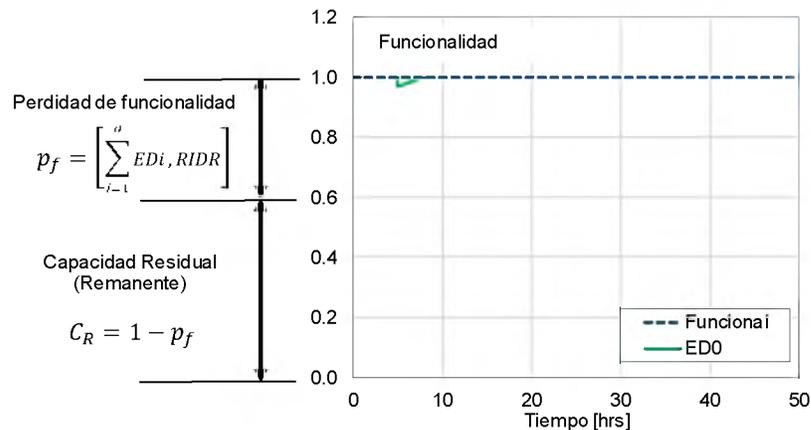


Figura 4.8 Función de recuperación EDO (Daño cosmético)

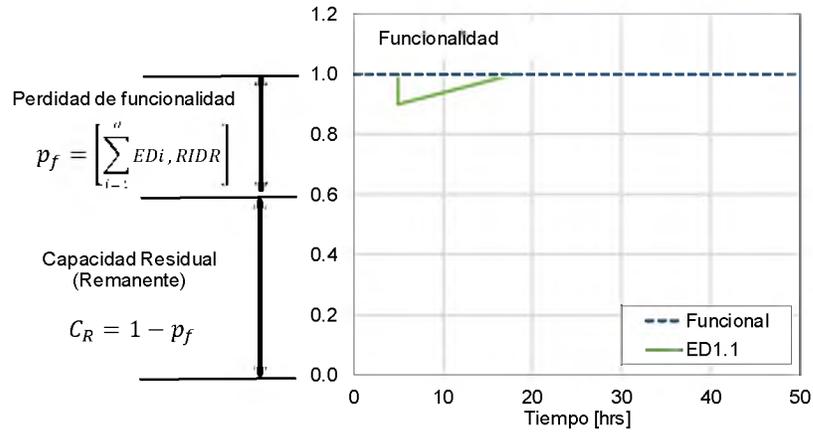


Figura 4.9 Función de recuperación ED1.1 fluencia en viga

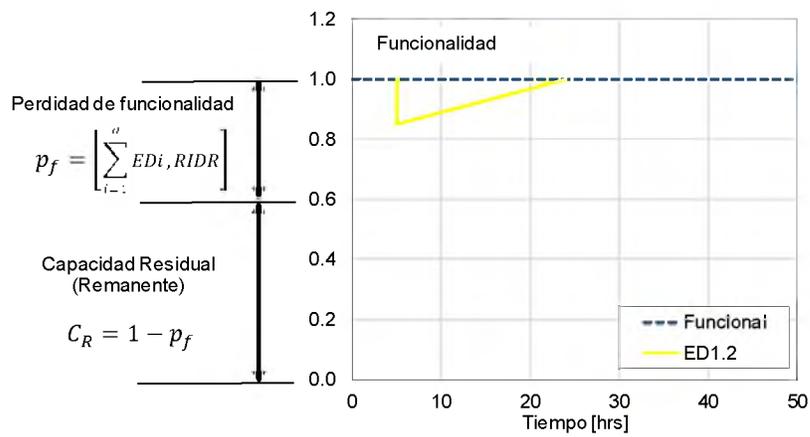


Figura 4.10 Función de recuperación ED1.2 fluencia en viga y columna

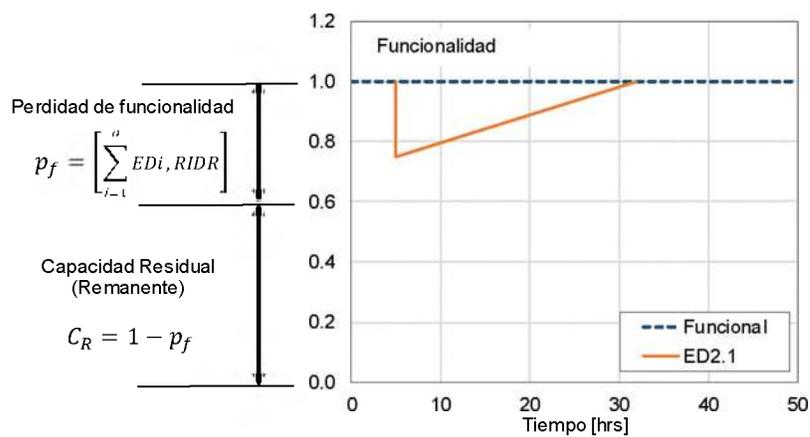


Figura 4.11 Función de recuperación ED2.1 fractura en viga y fluencia en columna

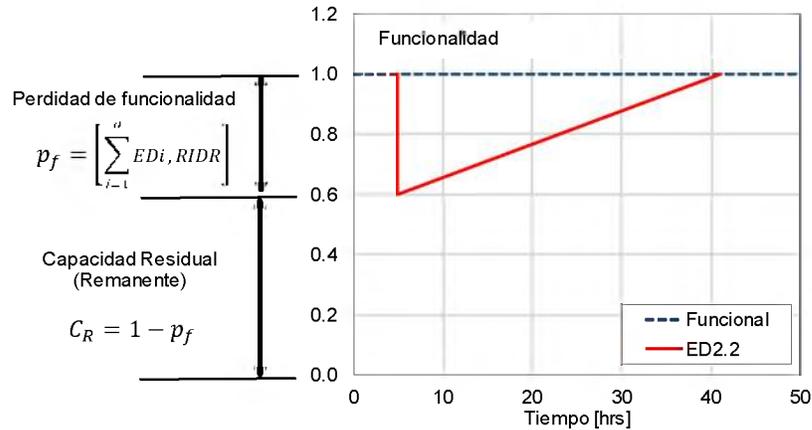


Figura 4.12 Función de recuperación ED2.2 Fractura en viga y columna

En la figura 4.13 se muestra las FR para cada estado de daño considerados dentro de este estudio. Sin embargo, la pérdida de funcionalidad, p_f , se propuso de forma esquemática con el fin de representar su relación con los ED. Por lo tanto, para obtener la p_f de los elementos que forman parte de la conexión viga-columna se puede recurrir a los diagramas momento-rotación de pruebas experimentales. Para relacionar la pérdida de resistencia de cada elemento de la conexión con respecto a IDR_{max} y el ED. Esta relación forma parte de las futuras líneas de investigación para determinar la capacidad residual (remanente) asociada a cada ED, $C_{R,EDi}$ que pueden presentarse en una conexión viga-columna.

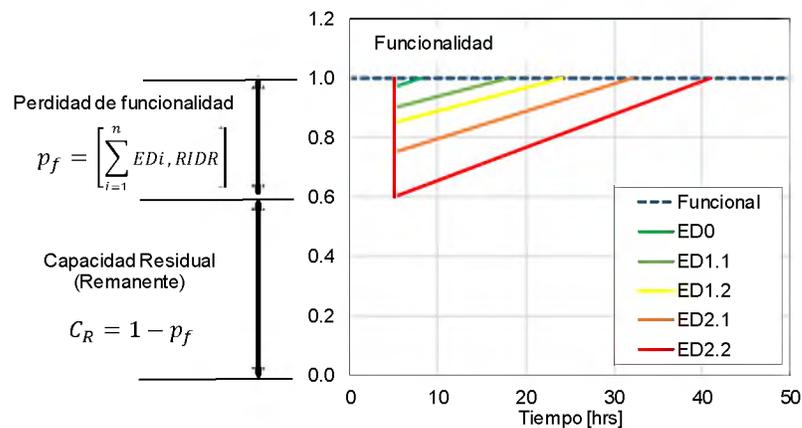


Figura 4.13 FR para cada ED considerados para una conexión viga-columna.

Uno de los objetivos dentro del presente trabajo de investigación es dar a conocer que la función de recuperación de un edificio se encuentra estrictamente relacionada con el nivel de estado de daño que puede alcanzar cada uno de los elementos que forman parte de la conexión viga-columna.

A continuación, se da un ejemplo de manera esquemática aplicando la metodología anteriormente descrita para determinar una función de recuperación.

En la figura 4.14 se muestra uno de los edificios considerados dentro de este estudio con su estado original (es decir, sin daños), su configuración deformada después de un evento sísmico y la predicción de las distorsiones máximas.

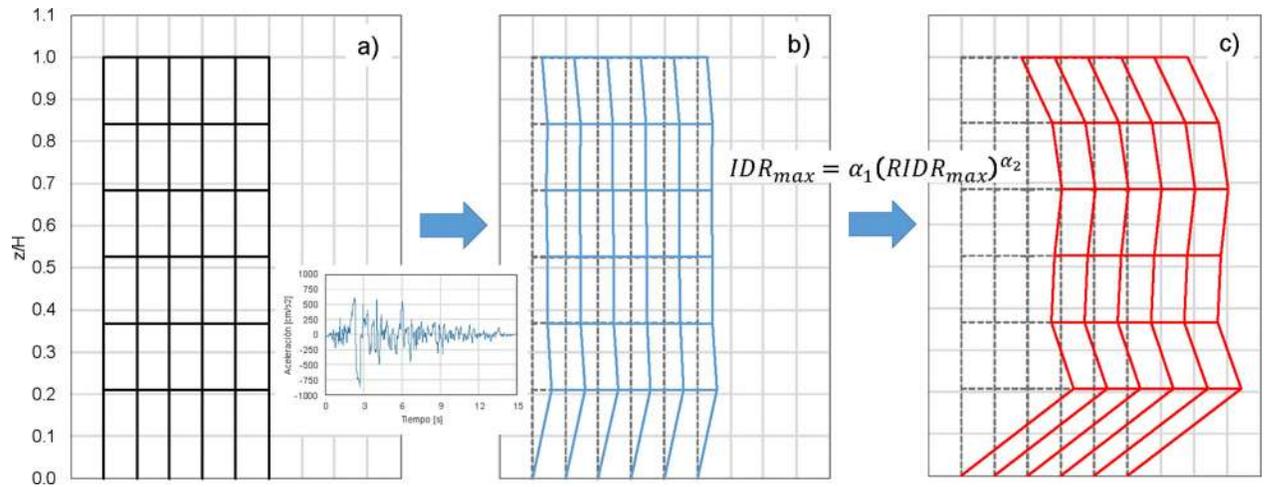


Figura 4.14 Edificio 6 niveles: a) estado original, b) distorsión permanente y c) distorsión máxima.

1) Se determinan los estados de daño tabla 4.2 y su probabilidad de alcanzar o exceder el ED utilizando las curvas de fragilidad propuestas por Ramírez et al., (2012).

2) Tabla 4.5 Estimación de la pérdida de funcionalidad, p_f , asociada a cada ED

Estado de daño (ED)	Perdida de funcionalidad p_f	Capacidad residual (remanente) C_R
ED0	0.03	0.97
ED1.1	0.10	0.90
ED1.2	0.15	0.85
ED2.1	0.25	0.75
ED2.2	0.40	0.60

3) Técnicas de reparación figuras 4.5 a 4.7 método propuestos en FEMA-352(2000) e Ito & Mori (2016).

4) Elaborar un catálogo de conceptos con los materiales, maquinaria, herramienta, equipo, mano de obra necesarios para reparar el ED y regresar a la funcionalidad de la conexión viga-columna. Catálogo de conceptos CMIC (2019) ver apéndice D.

5) Determinar el tiempo de recuperación, T_R . Se utilizan los rendimientos por unidad de medida (es decir, una cantidad específica en kg, m^2, m^3 con relación a una jornada laboral de 8 horas) para ejecutar cada uno de los trabajos de cada concepto de las TR. Por lo tanto T_R estará estrictamente relacionado al tiempo de recuperación de la conexión viga-columna, t_i , para un ED y la TR menos el tiempo en que se presenta el evento sísmico, t_0 .

$$t_i = \sum_{i=1}^n [ED, TR] \quad \text{Ec. (4.1)}$$

$$T_R = t_i - t_0 \quad \text{Ec. (4.2)}$$

6) Elaborar la función de recuperación a nivel de edificio. En la figura 4.15 se muestra la predicción del perfil de distorsión máxima de entrepiso IDR con distribución en su altura z/H . Es decir, el ED varia con respecto a la altura del edificio.

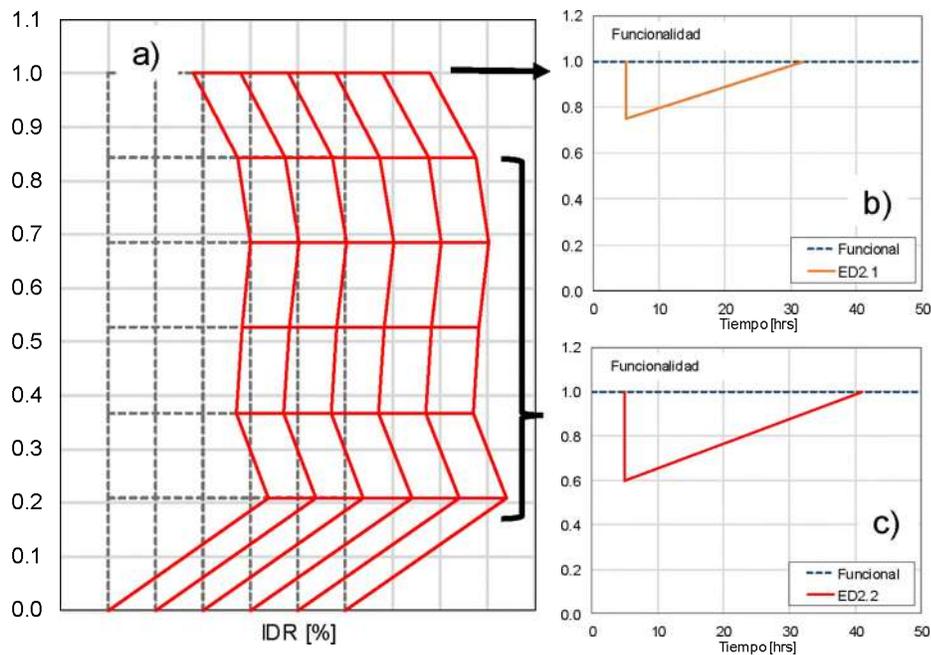


Figura 4.15 Uso de las FR para los ED en relación con IDR : a) Predicción de IDR , b) $FR_{ED2.1}$ y c) $FR_{ED2.2}$.

La p_f y el T_R para que el edificio recupere su funcionalidad dependerá de la distribución de los ED que varían con respecto a la altura del edificio y la distorsión permanente $RIDR$ que experimente después de un evento sísmico Aguilar (2014). Por lo tanto, la capacidad residual (remanente), C_R , se define como el edificio en estado original (es decir, sin daños) menos la p_f . Sin embargo, los costos de rehabilitación no deberán de exceder el 60% del costo del edificio en estado original.

Capacidad residual: $C_R = F_{Edo.Original} - p_f = 1 - p_f$ Ec. (4.3)

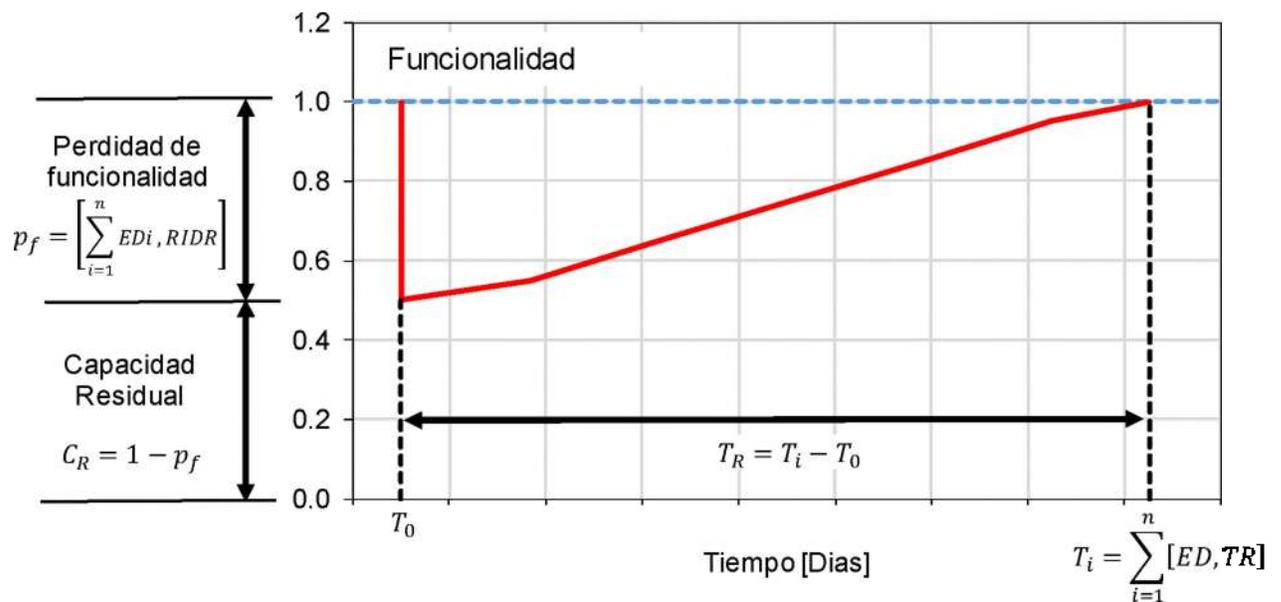


Figura 4.16 Función de recuperación a nivel de edificio.

Por lo tanto, se puede considerar que las funciones de recuperación son una forma básica de evaluar la resiliencia sísmica de un edificio.

5 Aplicación de la metodología propuesta

El edificio considerado para el desarrollo de la metodología se encuentra actualmente en funciones, ubicado en Burbank, California, Estados Unidos (EU) como oficina bancaria citiBank (Latitud: 34.185340° y Longitud: -118.309283°). Su sistema estructural es a base de marcos de acero resistentes a momento (MRM) distribuidos en el perímetro del edificio y con marcos interiores a cargas gravitacionales con sistema de piso a base de losa acero, diseñado en el año de 1976 de acuerdo al código UBC edición 1973, con uso de oficinas. En la figura 5.1 se muestra el edificio en condición actual.



Figura 5.1 Edificio de 6 niveles. Google Maps (2019)

En las figuras 5.2 y 5.3 se muestra la configuración en planta del edificio de 6 niveles y la vista S-N del MRM considerado en el análisis.

1) Elaborar un modelo analítico considerando las fuentes de no linealidad de cada sección transversal tanto de las vigas, columnas y zona del panel. En la figura 5.4 y 5.5 se muestra a detalle la ubicación de los resortes rotacionales.

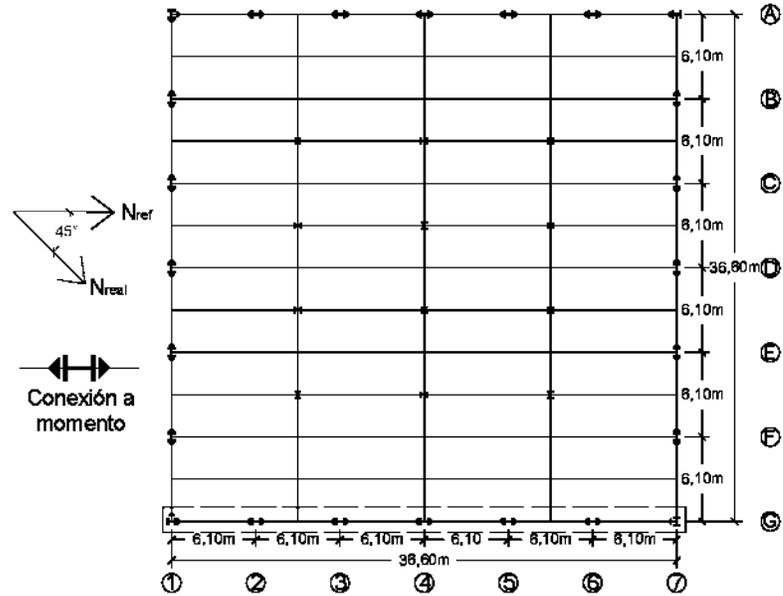


Figura 5.2 Vista en planta del edificio de 6 niveles. [adaptado de Carlos Chora (2014)]

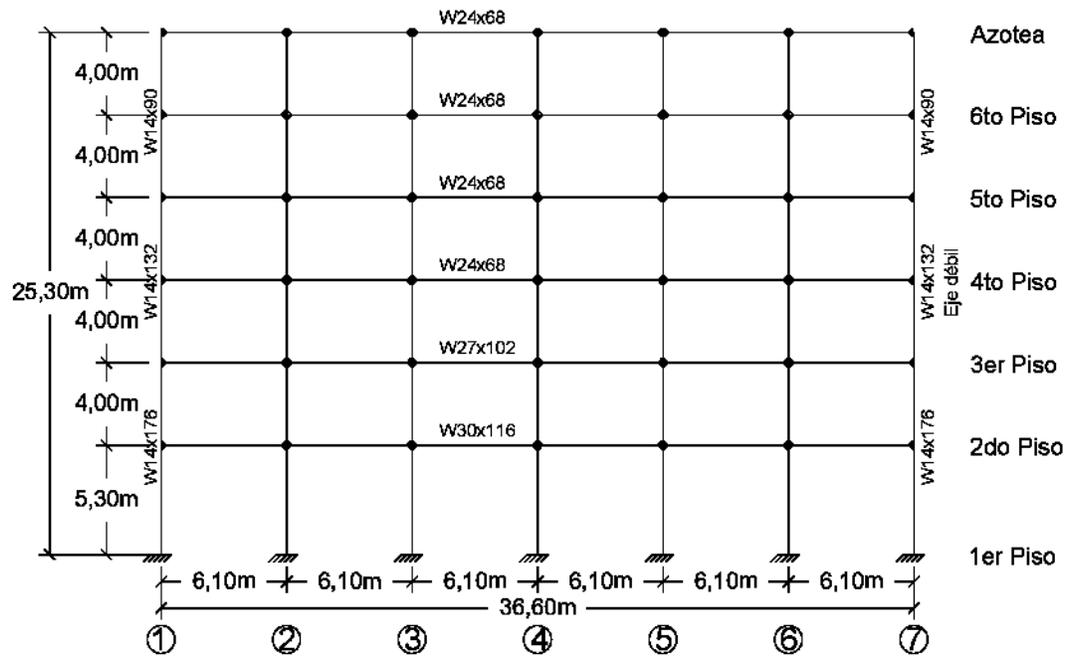


Figura 5.3 Marco resistente a momento del edificio de 6 niveles. [Adaptado de Carlos Chora (2014)]

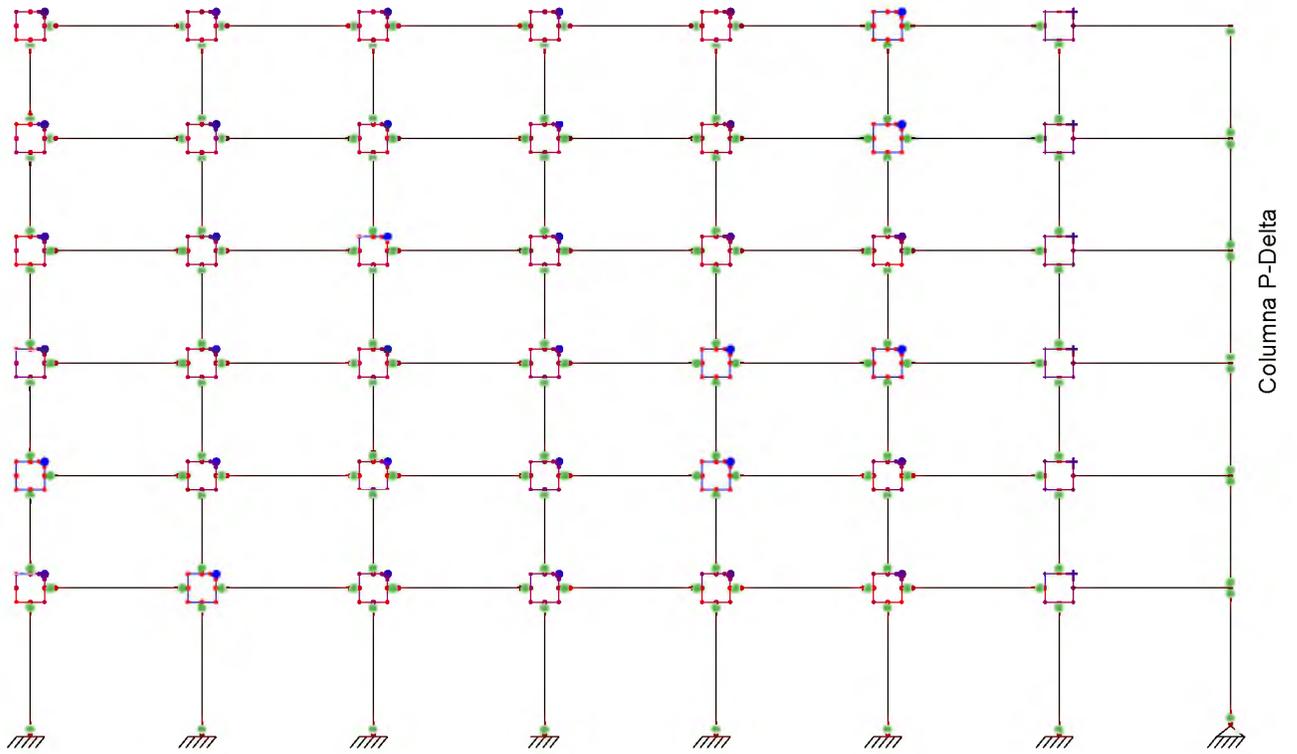


Figura 5.4 Modelo analítico del marco resistente a momento del edificio de 6 niveles. [Adaptado de Carlos Chora (2014)]

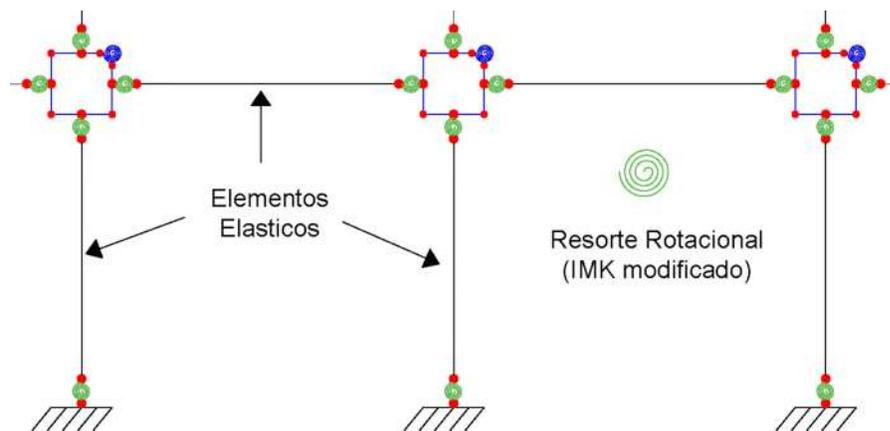


Figura 5.5a Detalle técnico de modelado de las vigas y columnas. [Adaptado de Carlos Chora (2014)]

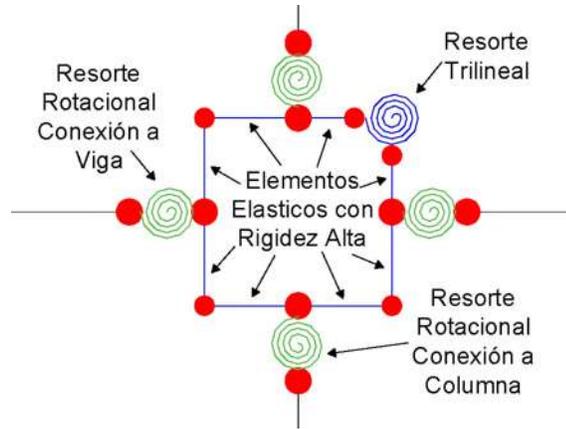


Figura 5.5b Detalles técnica de modelado de la zona del panel. [Adaptado de Carlos Chora (2014)]

2) Se realiza un análisis estático no lineal (AENL) para obtener el periodo fundamental de la estructura, T_1 , el factor de participación modal en azotea, $\Gamma_1 \phi_{1,Azotea}$, el coeficiente asociado a la fluencia C_y . En la figura 5.6 se muestra la curva de capacidad obtenida del AENL se grafica en el eje de las ordenadas el cortante basal, V_b , normalizado con el peso total de la estructura, $W_{edificio}$, en las abscisas el desplazamiento de azotea, Δ_{Azotea} , normalizado con la altura total del edificio $H_{edificio}$.

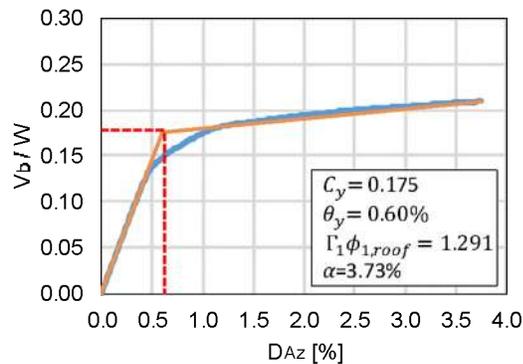


Figura 5.6 Curva de capacidad del edificio de 6 niveles producto del AENL.

A continuación, se muestran las ecuaciones y valores tanto de C_y como el factor de participación modal de azotea, $\Gamma_1 \phi_{1,Azotea}$. En la tabla 5.1 se muestra el resumen de los cálculos necesarios para obtener $\Gamma_1 \phi_{1,Azotea}$.

$$P\Gamma_{ij} = \frac{[\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}]}{[\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}^2]} \phi_{ij} \quad \text{Ec. (5.1)}$$

$$\alpha_j = \frac{[\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}]^2}{[\sum_{k=1}^N m_k] \sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}^2} \quad \text{Ec. (5.2)}$$

$$S_a = V / \alpha_j W \quad \text{Ec. (5.3)}$$

$$S_d = \delta / \Gamma_{ij} \quad \text{Ec. (5.4)}$$

Tabla 5.1a Datos del cálculo del factor de participación modal procedimiento Ayala (2001). [Adaptado de Chora (2014)]

Niveles	Peso (kg)	masa (m)	ϕ_1	$m^*\phi_1$	$m^*\phi_1^2$	$\Gamma_1\phi_1$
6	1520.72	1.550	1.000	1.550	1.550	1.291
5	1503.17	1.532	0.917	1.406	1.289	1.184
4	1477.47	1.506	0.767	1.156	0.887	0.991
3	1470.15	1.499	0.594	0.890	0.528	0.766
2	1470.15	1.500	0.410	0.616	0.253	0.530
1	1160.80	1.183	0.255	0.301	0.077	0.329
suma	8603.46	8.771		5.918	4.584	

Por lo tanto, los valores requeridos para el cálculo de la predicción de la distorsión permanente máxima de entrepiso son:

$C_y=0.175$ coeficiente asociado a la post fluencia.

$\Gamma_1\phi_{1,Azotea}=5.918/4.584=1.291$ factor de participación modal de azotea.

Tabla 5.1b Datos para determinar C_y y SE1GL. [Adaptado de Chora (2014)]

Curva de capacidad			SE1GL		
Vb (kip)	DAz (%)	Desp (in)	Sa(1/g)- C_y	Sd (in)	Sd(cm)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
592.960	0.600	5.976	0.201	4.629	11.757
709.270	3.755	37.398	0.240	28.967	73.757
$C_y=0.175$					

4) Cálculo de la resistencia lateral relativo, R , del modelo analítico utilizando la ecuación 2.2 descrita en el capítulo 2. A continuación, se dará un ejemplo para el cálculo de R para el registro de Rinaldi (RRS). En la figura 5.7 se muestra el espectro de respuesta elástico de pseudo aceleración con amortiguamiento del 3%.

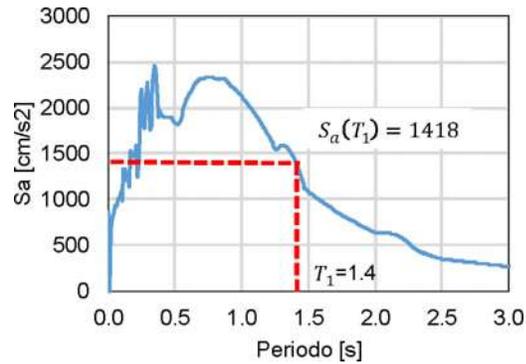


Figura 5.7 Espectro de respuesta pseudo aceleración RRS, obtención del valor $S_a(T_1)$.

Conociendo los valores correspondientes a la $S_a(T_1)$ para cada uno de los registros y el coeficiente asociado a la fluencia C_y , se determina el valor R . Para valores de $R < 1.5$ se considera un comportamiento elástico de la estructura. Para ver los resultados de R de cada registro consultar el apéndice E.

$$R = \frac{S_a(T_1)/g}{C_y} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

$$g = 981 \text{ cm/s}^2$$

$$S_a(T_1)_{RRS} = 1418 \text{ cm/s}^2$$

$$S_a(T_1)/g = 1418/981 = 1.445$$

$$C_y = 0.175$$

Por lo tanto:

$$R = 1.445/0.175 = 8.257; \quad \therefore R = 8.26$$

5) Predicción de $RIDR_{max}$ utilizando la ecuación 2.3 propuesta por Ruiz-García y Chora (2014), donde para determinar el valor del coeficiente de desplazamiento máximo inelástico, C_R o C_1 ,

en necesario conocer los siguientes parámetros: periodo dominante del registro sísmicos, T_g , periodo fundamental de la estructura, T_1 , la resistencia lateral relativa, R . A continuación, se dará un ejemplo del cálculo de $RIDR_{max}$ para el registro de Rinaldi (RRS). Para ver el cálculo de los 40 registros FCDP consultar el apéndice E.

Las ecuaciones propuestas por Ruiz-García (2011) y Iervolino et al. (2012) para calcular C_1 dependen de valores enteros de R (2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8) para determinar $\theta_1 - \theta_3$ y $\theta_1 - \theta_5$ respectivamente. Utilizando el método de regresión en dos pasos se propone funciones lineales para cada valor de θ en función de R , como se muestra en la figura 5.8 y 5.9. Con la finalidad de calcular C_1 para cualquier valor de R .

Tabla 5.2 Valores de $\theta_1 - \theta_3$ ecuación 2.7 Ruiz-García (2011).

	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6
θ_1	9.829	9.798	11.315	13.243	15.369
θ_2	-0.3	-0.344	-0.43212	-0.487	-0.518
θ_3	-4.298	-4.298	-5.48943	-5.805	-5.825

Tabla 5.3 Valores de $\theta_1 - \theta_5$ ecuación 2.8 Iervolino et al. (2012).

	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6	R=7	R=8
θ_1	0.0151	0.0209	0.0211	0.0198	0.0184	0.017	0.0157
θ_2	-0.146	-0.23	-0.293	-0.343	-0.384	-0.417	-0.455
θ_3	-2.878	-2.36	-2.375	-2.437	-2.444	-2.441	-2.434
θ_4	0.066	0.146	0.193	0.217	0.224	0.232	0.242
θ_5	-47.931	-40.966	-32.697	-27.173	-20.973	-17.211	-15.177

$$C_1 = 1 + (R - 1) \left[\frac{1}{\theta_1(T/T_g)^2} \right] + \theta_2(T_g/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right] \quad \text{Ec. (2.7)}$$

$$C_1 = 1 + \theta_1(T_g/T)^2 * (R - 1) + \theta_2(T_g/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right] + \theta_4(T_g/T) * \exp \left[\theta_5 \{ \ln(T/T_g + 0.5 + 0.02R) \}^2 \right] \quad \text{Ec. (2.8)}$$

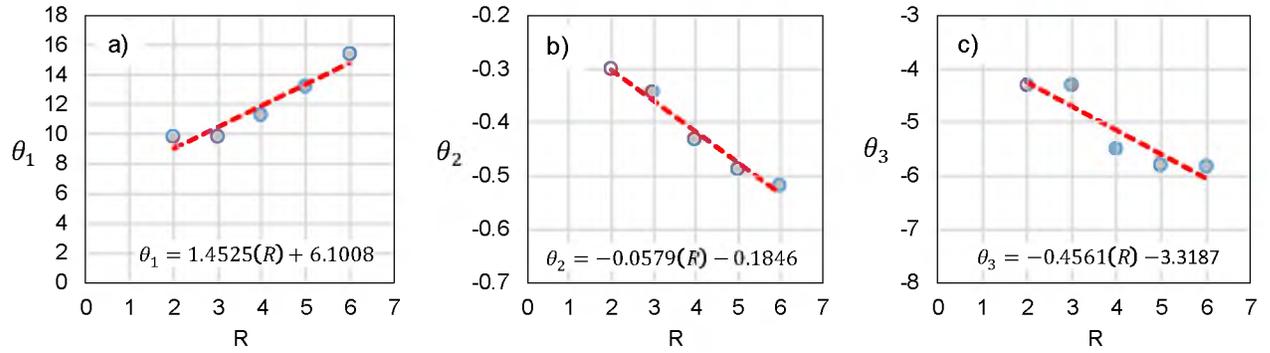


Figura 5.8 Ecuación C_1 Ruiz-García (2011), relación de θ en función de R : a) θ_1 , b) θ_2 y c) θ_3

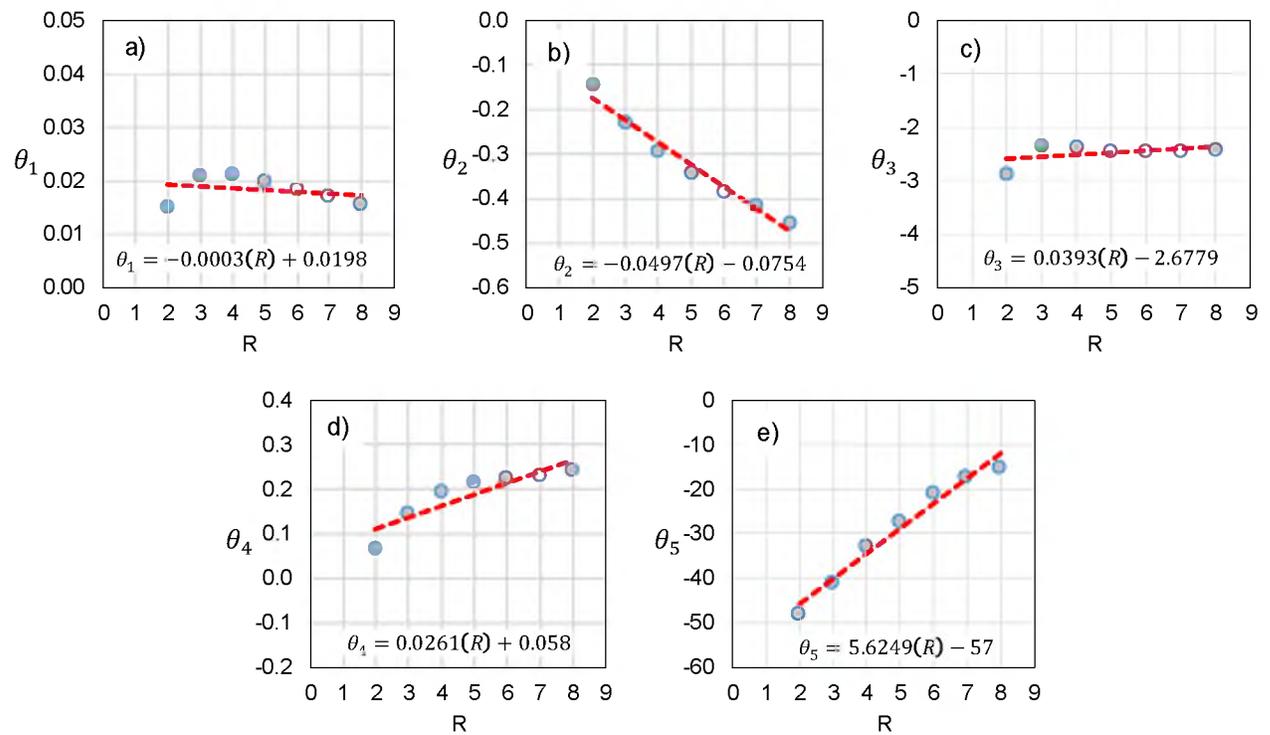


Figura 5.9 Ecuación C_1 Iervolino et al. (2012), relación de θ en función de R : a) θ_1 , b) θ_2 , c) θ_3 , d) θ_4 y e) θ_5 .

En la figura 5.10 se muestra un ejemplo para determinar el periodo dominante, T_g y el desplazamiento espectral asociado al periodo fundamental de la estructura, $S_d(T_1)$, de un espectro de respuesta elástico con 3% de amortiguamiento del registro RRS. Para ver el cálculo de los 40 registros FCDP consultar el apéndice E.

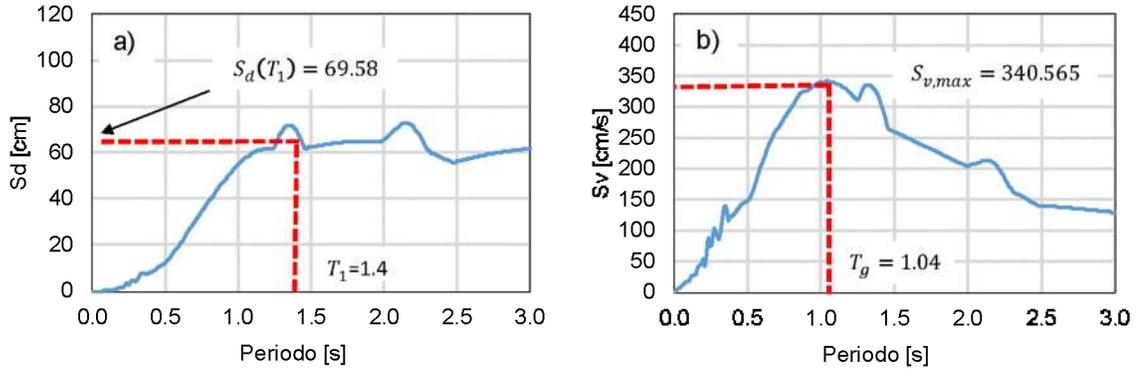


Figura 5.10 Espectros de respuesta del registro RRS: a) desplazamiento espectral $S_d(T_1)$ y b) periodo dominante, T_g .

Para determinar el coeficiente de distorsión residual COD_r se puede utilizar la ecuación 5.5 propuesta por Ruiz-García y Chora (2014). Sin embargo, la ecuación está diseñada para registros ordinarios (fuente lejana). Por lo tanto, para este trabajo de investigación COD_r se determinará evaluando la respuesta máxima en distorsión permanente de entrepiso, $RIDR_{max}$, entre el desplazamiento máximo de azotea, IDR_{Azotea} , como se muestra en la ecuación 5.6 para los 40 registros de FCDP. Información de los resultados consultar apéndice E.

$$COD_r = (\alpha_0 R - \alpha_1) T^2 + (\alpha_2 R - \alpha_3) T + (\alpha_4 R - \alpha_5) \quad \text{Ec. (5.5)}$$

$$COD_r = (RIDR_{max}) / (IDR_{Azotea}) \quad \text{Ec. (5.6)}$$

Conociendo los valores necesarios para calcular la predicción de $RIDR_{max}$ se utiliza el mismo registro RRS para continuar con el ejemplo utilizando las ecuaciones para calcular C_1 propuestas por Ruiz-García (2011) y Iervolino (2012). La información de los resultados correspondientes de cada uno de los 40 registros de FCDP se encuentran en el apéndice E.

$RIDR_{max} = 0.42\%$ e $IDR_{Azotea} = 2.22\%$ se obtienen del análisis no lineal en la historia del tiempo (ANLHT) para el registro RRS.

$$COD_r = (0.42) / (2.22) = 0.19 \quad \therefore COD_r = 0.19$$

- Predicción de $RIDR_{max}$ utilizando C_1 o C_R Ruiz-García (2011)

Cálculo de θ en función de $R=8.26$

$$\theta_1 = 1.4525(R) + 6.1008 = 1.4525(8.26) + 6.1008 = 18.0985$$

$$\theta_2 = -0.0579(R) - 0.1846 = -0.0579(8.26) - 0.1846 = -0.6629$$

$$\theta_3 = -0.4561(R) - 3.3187 = -0.4561(8.26) - 3.3187 = -7.0861$$

$$T = T_1 = 1.4 \text{ seg y } T_g = 1.04 \text{ seg}$$

Sustituyendo en ecuación 2.7

$$C_1 = 1 + (R - 1) \left[\frac{1}{\theta_1 (T/T_g)^2} \right] + \theta_2 (T_g/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right]$$

$$C_1 = 1 + (8.29 - 1) \left[\frac{1}{18.10(1.4/1.04)^2} \right] + (-0.66)(1.04/1.40) * \exp [(-7.09) * \{ \ln(1.4/1.04 - 0.08) \}^2] \quad \therefore C_1 = 0.890$$

Sustituyendo en la ecuación 2.3

$$H_{edif} = 2529.84 \text{ cm}$$

$$RIDR_{max} = \frac{\Gamma_1 \phi_{1,Azotea} * S_d * C_R}{H} * COD_r = \left[\frac{1.291 * 69.58 * 0.890}{2529.84} * 0.19 \right] * 100 = 0.6047\%$$

$$RIDR_{max,Ruiz-Garci} = 0.6047\% = 0.60\%$$

- Predicción de $RIDR_{max}$ utilizando C_1 o C_R Iervolino (2012)

Cálculo de θ en función de $R=8.26$

$$\theta_1 = -0.0003(R) + 0.0198 = -0.0003(8.29) + 0.0198 = 0.0173$$

$$\theta_2 = -0.0497(R) - 0.0754 = -0.0497(8.29) - 0.0754 = -0.4858$$

$$\theta_3 = 0.0393(R) - 2.6779 = 0.0393(8.29) - 2.6779 = -2.3534$$

$$\theta_4 = 0.0261(R) + 0.058 = 0.0261(8.29) + 0.058 = 0.2735$$

$$\theta_5 = 5.6249(R) - 57 = 5.6249(8.29) - 57 = -10.5543$$

Sustituyendo en ecuación 2.8

$$C_1 = 1 + \theta_1 (T_g/T)^2 * (R - 1) + \theta_2 (T_g/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right] + \theta_4 (T_g/T) * \exp \left[\theta_5 \{ \ln(T/T_g + 0.5 + 0.02R) \}^2 \right]$$

$$C_1 = 1 + (0.0173)(1.04/1.4)^2 * (8.29 - 1) + (-0.4858)(1.04/1.4) * \exp[(-2.3534) * \{\ln(1.4/1.04 - 0.08)\}^2] + (0.2735)(1.04/1.4) * \exp \left[(-10.5543) \{ \ln(1.4/1.04 + 0.5 + 0.02(7.189)) \}^2 \right] \quad \therefore C_1 = 0.754$$

Sustituyendo en la ecuación 2.3

$$RIDR_{max} = \frac{\Gamma_1 \phi_{1,Azotea} * S_d * C_R}{H} * COD_r = \left[\frac{1.291 * 69.58 * 0.754}{2529.84} * 0.19 \right] * 100 = 0.5114\%$$

$$RIDR_{max,Iervolino} = 0.5114\% = 0.51\%$$

En la tabla 5.4 se muestra la predicción de $RIDR_{max}$ utilizando la ecuación 2.7 y 2.8 en 2.3 observado una mejor aproximación utilizando la ec. 2.8 en 2.3 en la predicción de la $RIDR_{max}$. Sin embargo, la ec. 2.7 en 2.3 varía sensiblemente. La predicción de $RIDR_{max}$ para los 40 registros de FCDP se puede consultar en apéndice E.

Tabla 5.4 resultados de la predicción de $RIDR_{max}$ para el registro Rinaldi (RRS).

$RIDR_{max}$ ANLHT	$RIDR_{max,Ruiz-Garcia}$ Ec. (2.7) (2.3)	$RIDR_{max,Iervolino}$ Ec. (2.8) (2.3)
0.42%	0.60%	0.51%

Una vez calculado las aproximaciones de $RIDR_{max}$ utilizando las ecuaciones 2.7 y 2.8 en 2.3 se grafican las distorsiones permanentes de los ANLHT contra $RIDR_{max_aproximado}$ para cada uno de los registros sísmicos FCDP en la figura 5.11 (a) y el error medio estándar (EMS, ε [%]) calculado con ecuación propuesta por Ruiz-García y Chora (2014).

Continuado con un de los objetivos de la metodología propuesta es dar a conocer la importancia de la predicción de la distorsión permanente máxima $RIDR_{max}$ para el diseño y construcción de edificios nuevos. FEMA356 (2000) propone cuando un edificio experimenta una $RIDR_{max} > 1.0\%$ tiene un 50% de probabilidad de colapso. Por otra parte, recientemente FEMA-P-58-1 (2018) propone el mismo límite de distorsión permanente pero ahora enfocado con el 50% de probabilidad que el edificio ya no pueda ser reparado. Por lo tanto, en la figura 5.11 (b) se presenta la aproximación de la ec. 2.3 en la predicción de $RIDR_{max}$ para valores menores al 1%.

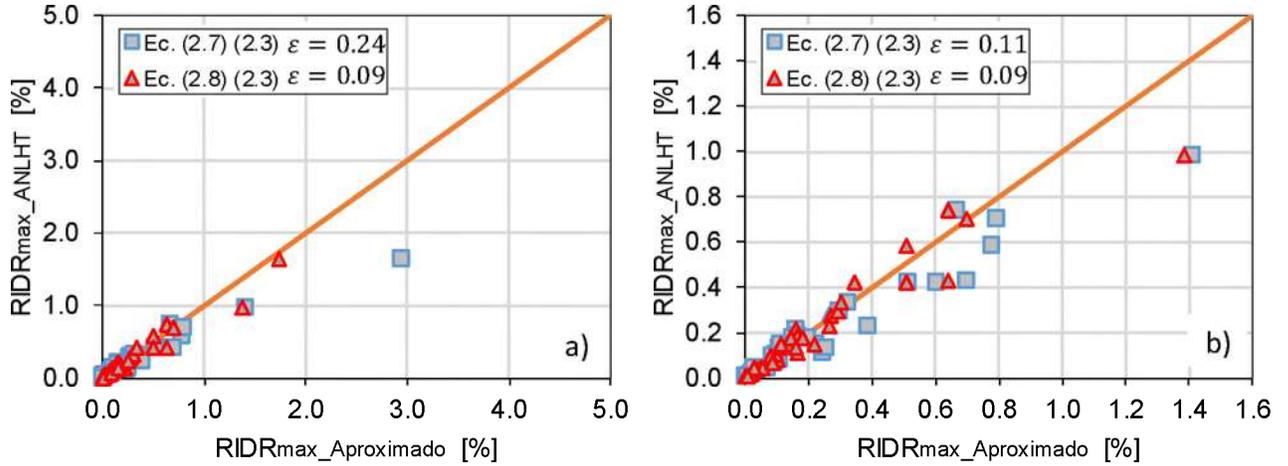


Figura 5.11 Predicción de $RIDR_{max}$ edificio de 6 niveles: a) registros FCDP y b) $RIDR_{max} < 1.0\%$

6) Calcular IDR_{max} a partir $RIDR_{max}$ utilizando las ecuaciones citadas en la tabla 2.2 del capítulo 2 y la ecuación 3.11 propuesta en el capítulo 3. Sin embargo, las ecuaciones de la tabla 2.2 se obtuvieron bajo un panorama de eventos ordinarios (fuente lejana) en comparación la ec. propuesta en el presente trabajo de investigación evaluada en un ambiente sísmico de registros de fuente cercana con efectos de directividad positiva. A continuación, se muestran las ecuaciones para predecir IDR_{max} a partir $RIDR_{max}$.

$$RIDR_{max} = \frac{\Gamma_1 \phi_{1,Azotea} * S_d * C_R}{H} * COD_r \quad \text{Ec. (2.3)}$$

$$C_R = 1 + (R - 1) \left[\frac{1}{\theta_1 (T/T_g)^2} \right] + \theta_2 (T_g/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right] \quad \text{Ec. (2.8)}$$

$$C_R = 1 + \theta_1 (T_P/T)^2 * (R - 1) + \theta_2 (T_P/T) * \exp \left[\theta_3 * \{ \ln(T/T_g - 0.08) \}^2 \right] + \theta_4 (T_P/T) * \exp \left[\theta_5 \{ \ln(T/T_P + 0.5 + 0.02R) \}^2 \right] \quad \text{Ec. (2.9)}$$

- Resumen de ecuaciones para predecir IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ (Tabla 2.2)

1) Christidis et al. (2013)

$$|u_{max}| = (-0.053 + 0.109 \ln(N) + 1.61 |u_{res}|) (1 + 2.0H) \quad \text{Ec. (2.10)}$$

2) Garcia (2015)

$$IDI_{max} = \frac{IDI_{res}}{m_d} + IDI_{y,marco} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

$$m_d = \left(0.04 + 0.29 \left| \frac{T}{1.68} - 1 \right| \right)^{0.27} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

3) Bravo-Haro y Elghzouli (2018)

$$\Delta_{max} = 0.122 \frac{T_1}{N_s} + 1.45 \Delta_{res} - 0.582 \Delta_{res}^2 - 0.13 \Delta_{res} T_1 \quad \text{Ec. (2.15)}$$

4) Ruiz-García y Ramos-Cruz (2020)

$$IDR_{max} = \alpha_1 (RIDR_{max})^{\alpha_2} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

Dando continuidad al ejemplo se calcula la predicción de la distorsión máxima de entropiso IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ utilizando los valores calculados con las ec. 2.7 y 2.8 en 2.3 para el registro RRS utilizando $RIDR_{max}$ producto del ANLHT a manera de ejemplo como valor determinista después de un evento sísmico $IDR_{max,ANLHT}$.

1) Christidis et al. (2013)

$$|u_{max}| = (-0.053 + 0.109 \ln(N) + 1.61 |u_{res}|)(1 + 2.0H) \quad \text{Ec. (2.10)}$$

$$H = 3.73\% = 0.0373 \text{ y } N = 6$$

$$|u_{max,ANLHT}| = (-0.053 + 0.109 \ln(6) + 1.61 |(0.42)|)(1 + 2.0(0.0373)) = 0.87\%$$

$$|u_{max,Ruiz-Garcia}| = (-0.053 + 0.109 \ln(6) + 1.61 |(0.60)|)(1 + 2.0(0.0373)) = 1.18\%$$

$$|u_{max,Iervolino}| = (-0.053 + 0.109 \ln(6) + 1.61 |(0.51)|)(1 + 2.0(0.0373)) = 1.03\%$$

2) García (2015)

$$IDI_{max} = \frac{IDI_{res}}{m_d} + IDI_{y,marco} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

$$m_d = \left(0.04 + 0.29 \left| \frac{T}{1.68} - 1 \right| \right)^{0.27} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

$$T = T_1 = 1.4s \text{ y } IDI_{y,marco} = 0.6\%$$

$$m_d = \left(0.04 + 0.29 \left| \frac{(1.4)}{1.68} - 1 \right| \right)^{0.27} = 0.52$$

$$IDI_{max,ANLHT} = \frac{0.42}{0.52} + 0.6 = 1.41\%$$

$$IDI_{max,Ruiz-Garcia} = \frac{0.60}{0.52} + 0.6 = 1.75\%$$

$$IDI_{max,Iervolino} = \frac{0.51}{0.52} + 0.6 = 1.58\%$$

3) Bravo-Haro y Elghazouli (2018)

$$\Delta_{max} = 0.122 \frac{T_1}{N_s} + 1.45\Delta_{res} - 0.582\Delta_{res}^2 - 0.13\Delta_{res}T_1 \quad \text{Ec. (2.15)}$$

$$H_{entrepiso} = 4.00m, \Delta_{res,ANLHT} = H_{entrepiso} * RIDR_{max,AD} = 4.00 * 0.0042 = 0.0168$$

$$\Delta_{max,ANLHT} = 0.122 \frac{1.4}{6} + 1.45(0.0168) - 0.582(0.0168)^2 - 0.13(0.0168)(1.4) = 0.0496m$$

$$\Delta_{max,ANLHT} = 0.0496/4 * 100 = 1.24\%$$

$$H_{entrepiso} = 4.00m, \Delta_{res,Ruiz-Garcia} = H_{entrepiso} * RIDR_{max,Ruiz-Garcia} = 4.00 * 0.0060 = 0.024$$

$$\Delta_{max,Ruiz-Garci} = 0.122 \frac{1.4}{6} + 1.45(0.024) - 0.582(0.024)^2 - 0.13(0.024)(1.4) = 0.05856m$$

$$\Delta_{max,Ruiz-Garcia} = 0.05856/4 * 100 = 1.46\%$$

$$H_{entrepiso} = 4.00m, \Delta_{res,Iervolino} = H_{entrepiso} * RIDR_{max,Iervolino} = 4.00 * 0.0051 = 0.020$$

$$\Delta_{max,Iervolino} = 0.122 \frac{1.4}{6} + 1.45(0.020) - 0.582(0.020)^2 - 0.13(0.020)(1.4) = 0.0536m$$

$$\Delta_{max,Iervolino} = 0.0536/4 * 100 = 1.34\%$$

4) Ruiz-Garcia y Ramos-Cruz (2019)

$$IDR_{max} = \alpha_1 (RIDR_{max})^{\alpha_2} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$\alpha_1 = 4.1259 \text{ y } \alpha_2 = 0.3924$$

$$IDR_{max,ANLHT} = 4.1259(0.42)^{0.3924} = 2.94\%$$

$$IDR_{max,Ruiz-Garcia} = 4.1259(0.60)^{0.3924} = 3.38\%$$

$$IDR_{max,Iervolino} = 4.1259(0.51)^{0.3924} = 3.17\%$$

En la tabla 5.5 se muestra el resumen de la predicción de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ para cada una de las ecuaciones anteriormente mencionadas para el registro sísmico RRS. En la figura 7.11 se presenta la comparación entre $IDR_{max,NLTH}$ e $IDR_{max,aproximado}$ para cada una de las ecuaciones predictiva. Ver apéndice E.

Tabla 5.5 Predicción de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$

Ecuación Predictiva	IDR_{max} [%]			$IDR_{max,ANLHT}$ [%]
	ANLHT	Ruiz-García	Iervolino	
Christidis et al. (2011)	0.87	1.18	1.03	3.47
García (2015)	1.41	1.75	1.58	
Bravo-Haro y Elghazouli (2018)	1.24	1.46	1.32	
Ruiz-García y Ramos-Cruz (2020)	2.94	3.38	3.17	

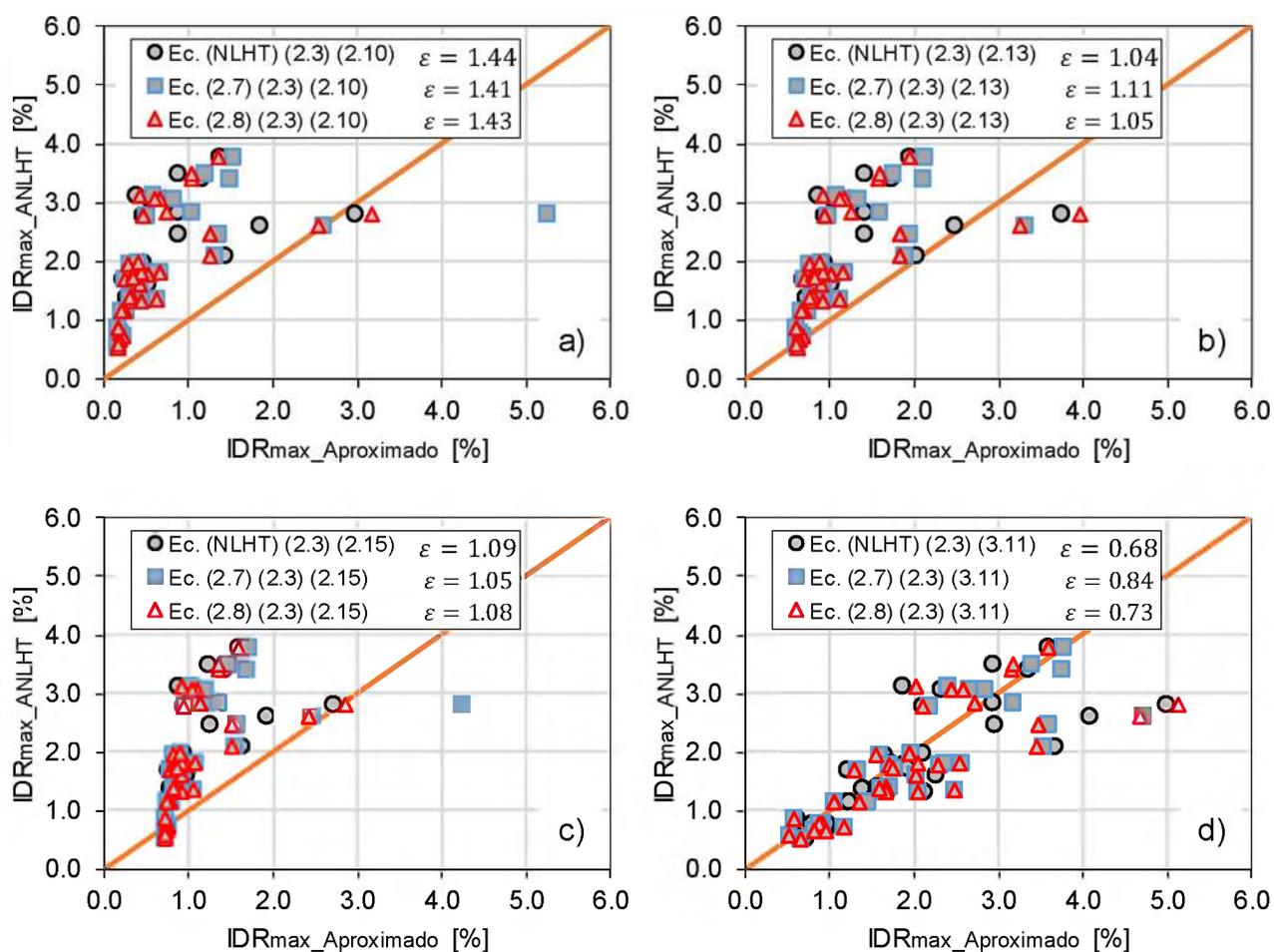


Figura 5.12 Predicción de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ edificio 6 niveles: a) Christidis et al (2013), b) García (2015), c) Bravo-Haro & Elghzouli (2018) y d) Ruiz-García & Ramos-Cruz (2019).

Como se puede observar en la figura 7.13 la predicción de IDR_{max} de las ec. 2.10, 2.13 y 2.15 en el 95% de los casos subestiman la respuesta máxima a diferencia de la ec. 3.11 presenta una mejor

distribución en los valores de IDR_{max} . Por lo tanto, es importante realizar mas estudios sobre las demandas en distorsiones permanentes y máximas que puedan presentar ante la excitación sísmica ocasionada por movimiento del terreno con efectos de directividad positiva.

7) Evaluar la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño en relación a IDR_{max} utilizando curva de fragilidad específicas, al tratarse de un edificio a base de acero con MRM y conexiones viga-columna a momento soldadas (pre-Northridge). Puede emplearse las curvas de fragilidad propuestas por Ramírez et al., (2012). A continuación, en la figura 5.13 se muestra los perfiles de distorsión $RIDR$ e IDR del ANLHT para el registro sísmico RRS y la predicción de la distorsión máxima utilizando las ecuaciones 2.10, 2.13, 2.15 y 3.11.

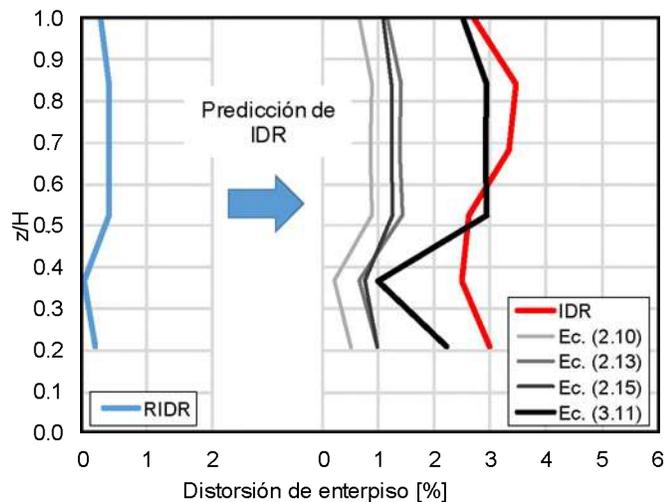


Figura 5.13 Predicción del perfil de distorsión IDR a partir de RIDR para el registro RRS.

A continuación, en la tabla 7.8 se muestra la probabilidad de alcanzar o exceder un ED propuesto utilizando las curvas de fragilidad propuestas por Ramírez et al. (2012) para ED de fluencia A36 de acuerdo a la IDR del ANLHT y IDR utilizando la ecuación 3.11. Finalmente se determina el ED asociado a la probabilidad de acuerdo a la tabla 4.2 en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Obtención de los estados de daño correspondientes a $P(ED|IDR)$ en relación al ANLHT del registro RRS.

z/H	$RIDR_{ANLHT}$ [%]	IDR_{ANLHT} [%]	$IDR_{Ec.(3.11)}$ [%]	$P[ED IDR_{ANLHT}, IDR_{Ec.(3.11)}]$ ED Fractura	ED [$IDR_{ANLHT}, IDR_{Ec.(3.11)}$]
0.21	0.20	2.99	2.20	[0.95, 0.85]	[ED2.2, ED2.2]
0.37	0.03	2.49	1.00	[0.90, 0.10]	[ED2.2, ED1.2]
0.53	0.42	2.61	2.95	[0.91, 0.95]	[ED2.2, ED2.2]
0.68	0.41	3.34	2.91	[0.96, 0.95]	[ED2.2, ED2.2]
0.84	0.42	3.47	2.93	[0.98, 0.95]	[ED2.2, ED2.2]
1.00	0.29	2.71	2.53	[0.93, 0.90]	[ED2.2, ED2.2]

Como se puede observar en los datos de tabla 5.6 los ED que se presenta para el registro sísmico RRS está asociada a la fractura. Sin embargo, esta predicción es conservadora debido a que se considera que todos los elementos del entrepiso se encuentran en el mismo ED.

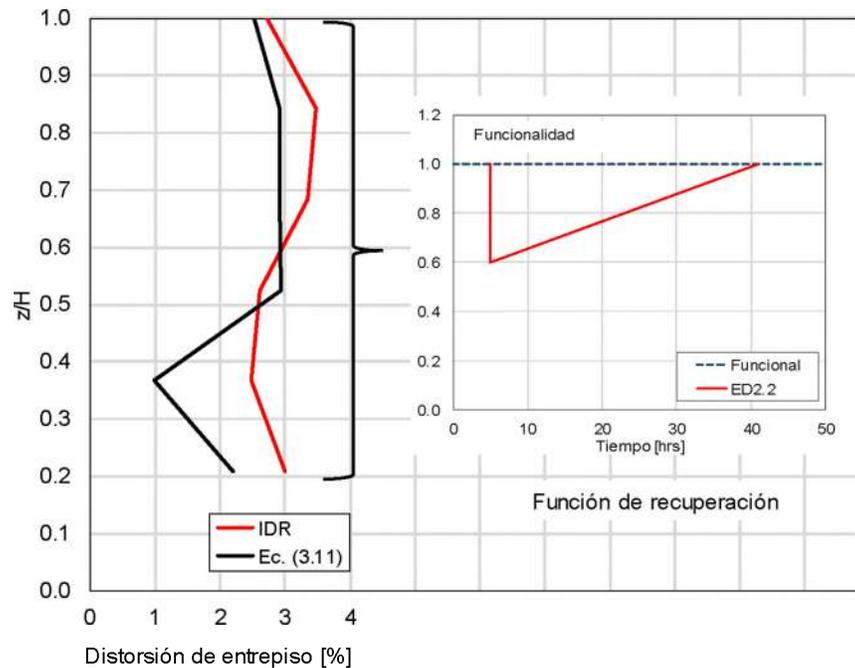


Figura 5.14 Función de recuperación asociada al ED con relación z/H para el edificio de 6 niveles.

Con base a la figura 5.14 se puede observar la respuesta en distorsiones máximas de entrepiso del ANLHT y predicción ec. 3.11 se tiene un solo ED2.2 (es decir, fractura completa en la conexión viga-columna) en toda su distribución z/H . Sin embargo, aunque las distorsiones permanentes son inferiores al 0.5% tabla 4.2 y el edificio puede ser reparable. Se evalúa los costos y tiempos de

reparación para que el edificio recupere su funcionalidad. A continuación, en la figura 5.15 se muestra la función de recuperación del edificio donde T_{R1} corresponde al tiempo de reparación de cada conexión de forma individual (es decir, una a la vez por entrepiso). Además, T_{R2} reparación simultanea (es decir, para el nivel 1 una a la vez, nivel 2 a 3 dos a la vez, nivel 4 a 5 tres a la vez y nivel 6 todas a la vez), esto al aumentar la mano de obra con la finalidad de recuperar la funcionalidad del edificio en menor tiempo.

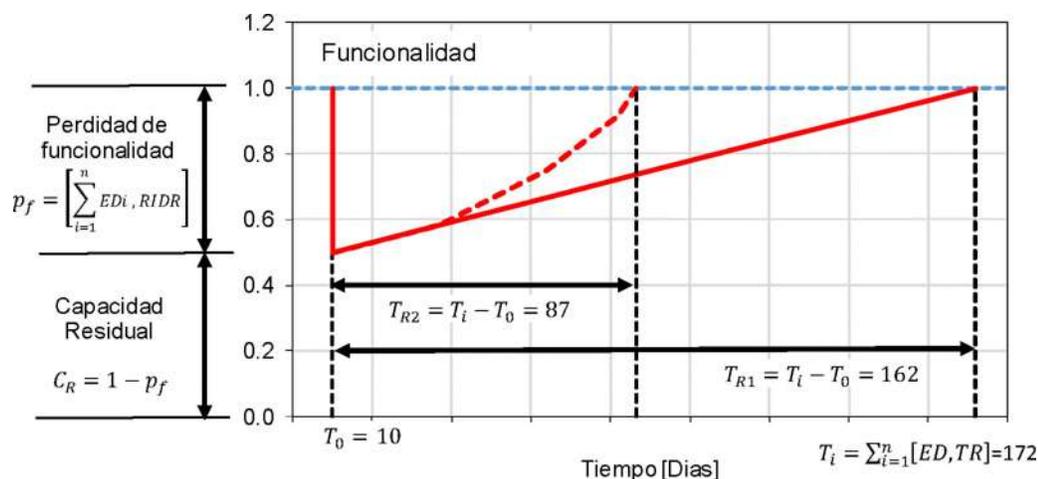


Figura 5.15 Función de recuperación del edificio 6 niveles.

Utilizando los costos de reparación que forman parte de las funciones de recuperación, se hace una comparación con el costo total del reemplazo del MRM considerando el sistema de piso, muros divisorios y cancelería. Con la finalidad de revisar la factibilidad de la rehabilitación o en su caso considerar su demolición por el elevado costo de las reparaciones. Es importante, mencionar que los precios unitarios y conceptos utilizados pertenecen al catálogo CMIC (2019)

Costo de la rehabilitación \$ 2,291,739.70 M. N.

Costo de reemplazo \$ 4,960,577.00 M.N.

FEMA352 (2000) recomienda que los costos de rehabilitación no deberán de exceder del 60% del costo del edificio en estado original (es decir, sin daños). Revisando la recomendación anterior con los costos de reparación del MRM del edificio en estudios, los costos de la rehabilitación para que vuelva a su funcionalidad son del 46%. Por lo tanto, se puede considerar que esta dentro de un limite aceptable. En caso contrario se deberá consultar con el dueño del edificio para tomar la decisión de realizar la rehabilitación o la sustitución por uno nuevo.

6 Resumen y conclusiones

6.1 Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en proponer una metodología para evaluar la resiliencia sísmica de edificios basada en la distorsión permanente. Es decir, después de un evento sísmico el sistema estructural de un edificio puede incursionar en un comportamiento inelástico presentando deformaciones en sus elementos (por ejemplo, en la viga, columna y zona de panel). Sin embargo, durante el movimiento del terreno el edificio experimentara una demanda de distorsión máxima causando daños en el sistema sismorresistente (por ejemplo, uno de los sistemas populares empleados en la práctica profesional son los marcos resistentes a momento). Por lo tanto, al finalizar la excitación sísmica el edificio quedara en vibración libre hasta llegar al reposo exhibiendo una distorsión permanente con daños en sus elementos estructurales, desconociendo totalmente la distorsión máxima que pudo haber experimentado durante el evento sísmico.

En este estudio se evaluaron las demandas sísmicas en distorsión permanente máxima de entrepiso, $RIDR_{max}$, y distorsión máxima de entrepiso, IDR_{max} , para un grupo de edificios (3, 6, 9 y 13 niveles) a base de marcos de acero resistentes a momento modelados y calibrados por Chora (2014). Para ello, se utilizan como escenario sísmico de 40 historias del terreno registradas en fuente cercana con efectos de directividad positiva Mavroeidis&Papageorgiou (2002) y Fu&Menun (2004). Se realizaron análisis dinámicos incrementales (ADI's) utilizando como medida de intensidad la pseudo-aceleración espectral asociada al periodo fundamental de la estructura. Proponiendo una ecuación predictiva funcional con relación IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ con tendencia exponencial. Se recurrió al uso de pulsos equivalentes (PE) con la finalidad de identificar si estos logran predecir tanto en amplitud como en distribución z/H las distorsiones $RIDR$ e IDR con la finalidad de obtener $RIDR_{max}$ e IDR_{max} reduciendo el tiempo computacional. Sin embargo, después de realizar los ADI's se observó que los PE predicen satisfactoriamente IDR_{max} pero no las distorsiones permanentes.

Se propone una metodología para la elaboración de las funciones de recuperación que forman parte del presente trabajo de investigación con la finalidad de relacionar los estados de daño (ED) con técnicas de reparación (es decir, costos y tiempo de reparación) para devolver la funcionalidad al

edificio. Para ellos se proponen 5 ED (es decir, cosmético ED.0, fluencia ED1.1, ED1.2 y fractura ED2.1 y ED2.2) siguiendo las recomendaciones de FEMA352(2000) y Ramírez et al. (2012). Se utilizan las técnicas de reparación disponibles en FEMA352(2000) e Ito&Mory (2016). De esta manera, conociendo los daños y las técnicas de reparación se utilizan el catálogo de la CMIC (2019) para obtener los costos y tiempos de recuperación.

Sin embargo, la pérdida de funcionalidad para las funciones de recuperación para una conexión y el edificio fueron propuestas esquemáticamente con la finalidad de dar a conocer su relación con el nivel de ED y la distorsión permanente. FEMA-P-58 (2018) propone que un edificio que experimenta una distorsión permanente de entrepiso del 1% tiene el 50% de probabilidad de no ser reparado.

Finalmente se desarrolla la metodología propuesta para evaluar la resiliencia sísmica en un ejemplo de aplicación para un edificio de 6 niveles a base de marcos de acero resistentes a momento ubicado en Burbank, California, EU. 1) se utiliza el modelo analítico desarrollado y calibrado por Chora (2014) para 2) obtener sus propiedades dinámicas y mecánicas realizando un análisis estático no línea (AENL). 3) se calcula la resistencia lateral relativa, R , para cada uno de los registros sísmicos, 4) se calcula la predicción de $RIDR_{max}$ utilizando la ecuación propuesta por Ruiz-García y Chora (2014). Como ejemplo del valor de $RIDR_{max}$ in-situ se toma el valor del análisis no lineal en la historia del tiempo (ANLHT) para cada registro identificándolo como $RIDR_{maxANLHT}$. 5) Cálculo de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ utilizando las ecuaciones de la tabla 2.2 y la propuesta en esta investigación comparando su aproximación con la distorsión máxima de entrepiso del ANLHT, $IDR_{maxANLHT}$. 6) Se recurre al uso de funciones de fragilidad específicas para calcular la probabilidad de alcanzar o exceder un ED por ejemplo Ramírez et al. (2012). Finalmente se utilizan las 7) funciones de recuperación para evaluar la factibilidad de la rehabilitación, costos y tiempo de recuperación en relación a los ED y la distorsión permanente.

6.2 Conclusiones

Con base a los estudios realizados en el presente trabajo de investigación se ofrecen las siguientes conclusiones:

1) En la evolución de la respuesta mediana en los perfiles de distorsión permanente de cada uno de los edificios considerados dentro de este estudio experimentaron una disminución en amplitud y distribución z/H con relación al aumento de la medida de intensidad $S_a(T_1)$. Este comportamiento se conoce como re-centramiento estudiado por Aguilar (2014) donde se presenta un cambio de dirección en la $RIDR_{max}$. Sin embargo, para los perfiles de distorsión máxima si son proporcionales a la medida de intensidad (es decir, si la medida de intensidad $S_a(T_1)$ aumenta lo hará el perfil IDR).

2) La respuesta mediana de los perfiles de distorsión permanente de entrepiso en el uso de los pulsos equivalentes no logran predecir de forma aproximada en amplitud y distribución z/H conforme aumenta la medida de intensidad $S_a(T_1)$. Sin embargo, los perfiles de distorsión máxima de entrepiso tienen una aproximación aceptable, Kalkan&Kunnath (2006), Sehhati et al (2011), Alonso-Rodríguez y Miranda (2015).

3) Para el cálculo de la predicción de la distorsión permanente máxima utilizando la ecuación propuesta por Ruiz-García y Chora (2014) tiene una aproximación aceptable al compararla con $RIDR_{maxANLHT}$. Es fácil determinar su valor al solo necesitar las propiedades dinámicas y mecánicas correspondientes del modelo analítico. El uso del coeficiente de distorsión inelástico, C_r , así como también el coeficiente de distorsión permanente COD_r deberán pertenecer a las características de los registros sísmicos (es decir, fuente lejana o cerca).

4) Predecir la distorsión permanente máxima de entrepiso, $RIDR_{max}$, para el diseño de nuevos edificios nos puede dar una mejor referencia para re-configurar el diseño estructural si el valor de $RIDR_{max} \geq 1.0\%$. De acuerdo a FEMA-P58-1 (2018) el edificio tiene el 50% de probabilidad de no poder ser rehabilitado (es decir, se deberá considerar la demolición del edificio). Así mismo, McCormick et al. (2008) indica que los ocupantes del edificio pueden sufrir mareos e incomodidades físicas a este nivel de distorsión permanente de entrepiso.

5) Obtener la distorsión máxima de entrepiso, IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ nos permite conocer con el uso de curvas de fragilidad específicas la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño específico. Para este trabajo de investigación se utilizaron las curvas de fragilidad propuestas

por Ramírez et al. (2012) para conexiones pre-Northridge con estados de daño Fluencia y fractura considerando dos tipos de acero A36 y A572. Es decir, se pueden evaluar los daños de un edificio conociendo la $RIDR_{max}$ después de a ver ocurrido un evento sísmico al predecir la IDR_{max} que pudo a ver alcanzado durante la excitación sísmica.

6) El uso de funciones de recuperación nos permiten evaluar un edificio de acuerdo a los diferentes estados de daño que presente después de un evento sísmico. Es decir, son una medida básica para evaluar la resiliencia sísmica de edificios al conocer el tiempo y costos de reparación para que el edificio recupere nuevamente su funcionalidad. Sin embargo, FEMA352(2000) propone que el costo de las reparaciones no deberá de exceder del 60% del edificio sin daño.

7) Los tiempos de recuperación para que el edificio recupere nuevamente su funcionalidad están estrictamente relacionados con los niveles de estados de daño y los tipos de técnicas de reparación que se utilicen.

8) La pérdida de funcionalidad, p_f , está estrictamente relacionada con el nivel de los estados de daño y la distorsión permanente que pueden experimentar los elementos que forman parte del sistema estructural del edificio en relación con su altura z/H después de un evento sísmico. Es decir, pueden existir una combinación de daños entre fluencia y fractura en las conexiones de cada entrepiso. Sin embargo, la distorsión permanente determina si el edificio es seguro para su ocupación inmediata, la suspensión de sus funciones por un tiempo específico y en distorsiones excesivas su demolición.

9) Finalmente la obtención de la capacidad residual (remanente), C_R , de un edificio después de un evento sísmico, será el recíproco de la pérdida de funcionalidad. Es decir, $C_R = 1 - p_f[ED, RIDR_{max}]$.

6.3 Líneas futuras de investigación

A continuación, se mencionan algunas de las futuras líneas de investigación que permitirán reforzar la metodología propuesta para evaluar la resiliencia sísmica de edificios basada en la distorsión permanente:

-Obtener las relaciones funcionales de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ para edificios pre-Northridge (es decir, diseñado con los códigos de construcción anteriores a 1994) con diferente periodo fundamental a los que se consideraron en este trabajo, edificios diseñados con códigos recientes, diferente material y sistema estructural.

-Considerar la interacción suelo-estructura, realizar estudios en modelos en tres dimensiones considerando los efectos de torsión en los elementos estructurales, considerar la falla frágil por fractura de la soldadura en las conexiones.

-Evaluar los daños que puede experimentar un edificio en cada uno de los elementos que forman parte de su sistema estructural (por ejemplo, los marcos resistentes a momento) en relación con la distorsión permanente y máxima de entrepiso después de un evento sísmico.

-Realizar un estudio a detalle sobre la pérdida de funcionalidad de un edificio después de un evento sísmico (es decir, la pérdida de resistencia al experimentar diferentes niveles de distorsión permite). Reforzando el concepto de las funciones de recuperación

-Ampliar la metodología propuesta estudiando edificios con diferentes niveles, materiales ante otro grupo de registros ordinarios o de fuente cercana en suelo blando

Edificios considerados en este estudio. [Adaptado de Chora (2014)]

A.1. Edificio de 3 niveles

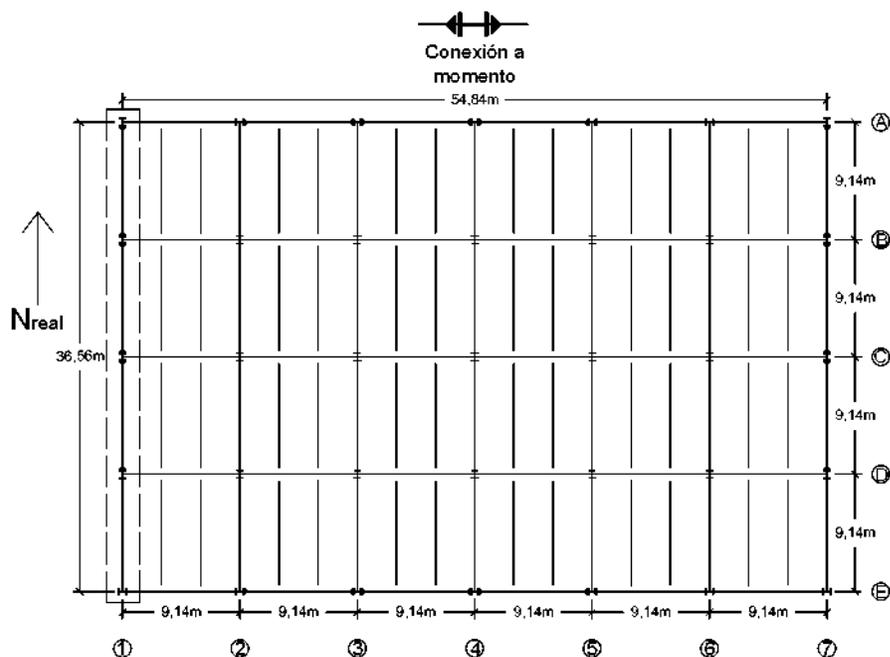


Figura A.1 Vista en planta del edificio de 3 niveles.

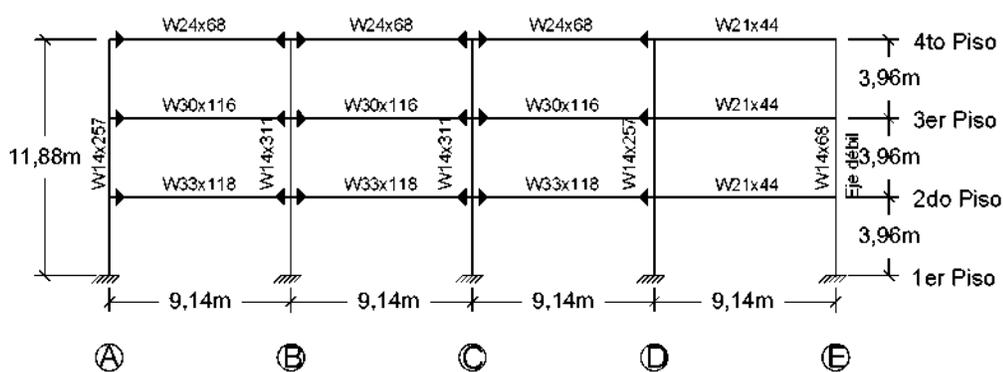


Figura A.2 Elevación en dirección N-S del edificio de 3 Niveles.

Tabla A.1 Cargas usadas para el edificio de 3 niveles.

Piso	Peso (t)	Masa ($t - s^2/m$)
2	1041.80	97.00
3	1041.80	97.00
Azotea	1221.50	124.50

Tabla A.2 Componentes de las secciones consolidadas en el edificio de 3 niveles.

Nombre	Secciones
W-01	W14x257 + 0.5(W14X311) + w14x68
W-02	W14x68 + 1.5(w14x82)
W-03	2.5(W14x68)

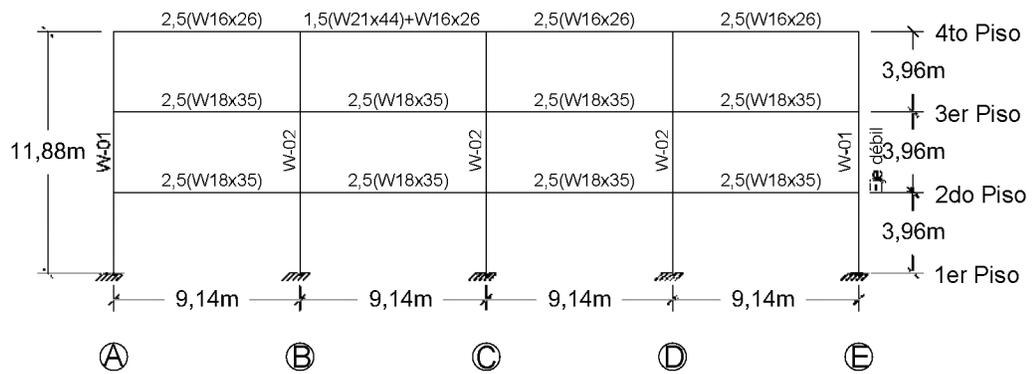


Figura A.3 Marco interior consolidado para el edificio de 3 niveles.

A.2 Edificio de 6 Niveles

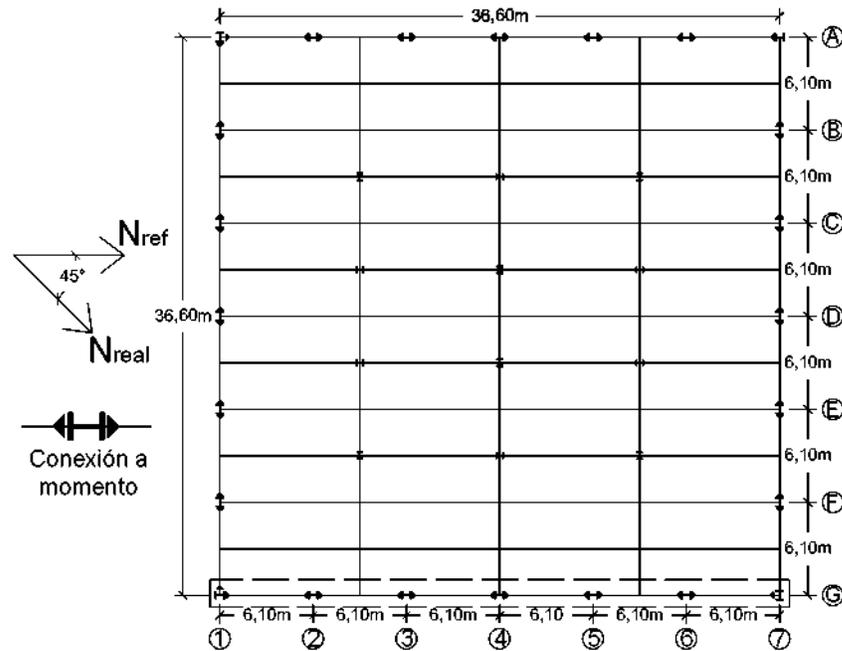


Figura A.4 Vista en planta del edificio de 6 niveles.

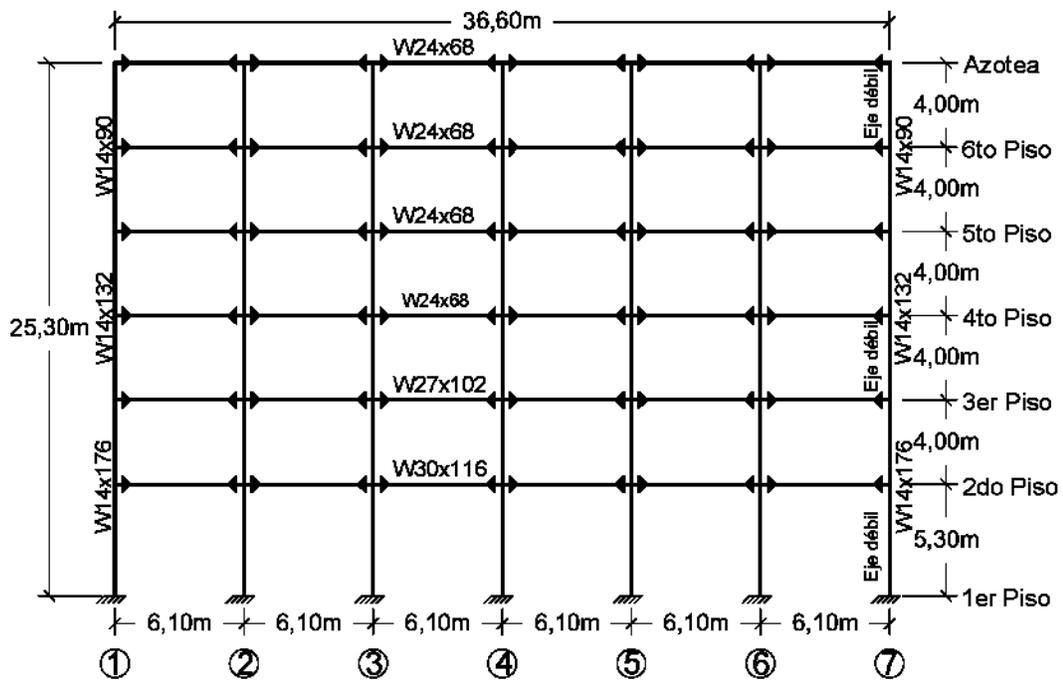


Figura A.5 Elevación en dirección N-S del edificio de 6 niveles.

Tabla A.3 Cargas usadas para el edificio de 6 niveles.

Piso	Peso (t)	Masa ($t - s^2/m$)
2	414.60	42.30
3	525.50	53.60
4	525.10	53.50
5	527.70	53.80
6	536.90	54.70
Azotea	543.2	55.40

A.3 Edificio de 9 Niveles

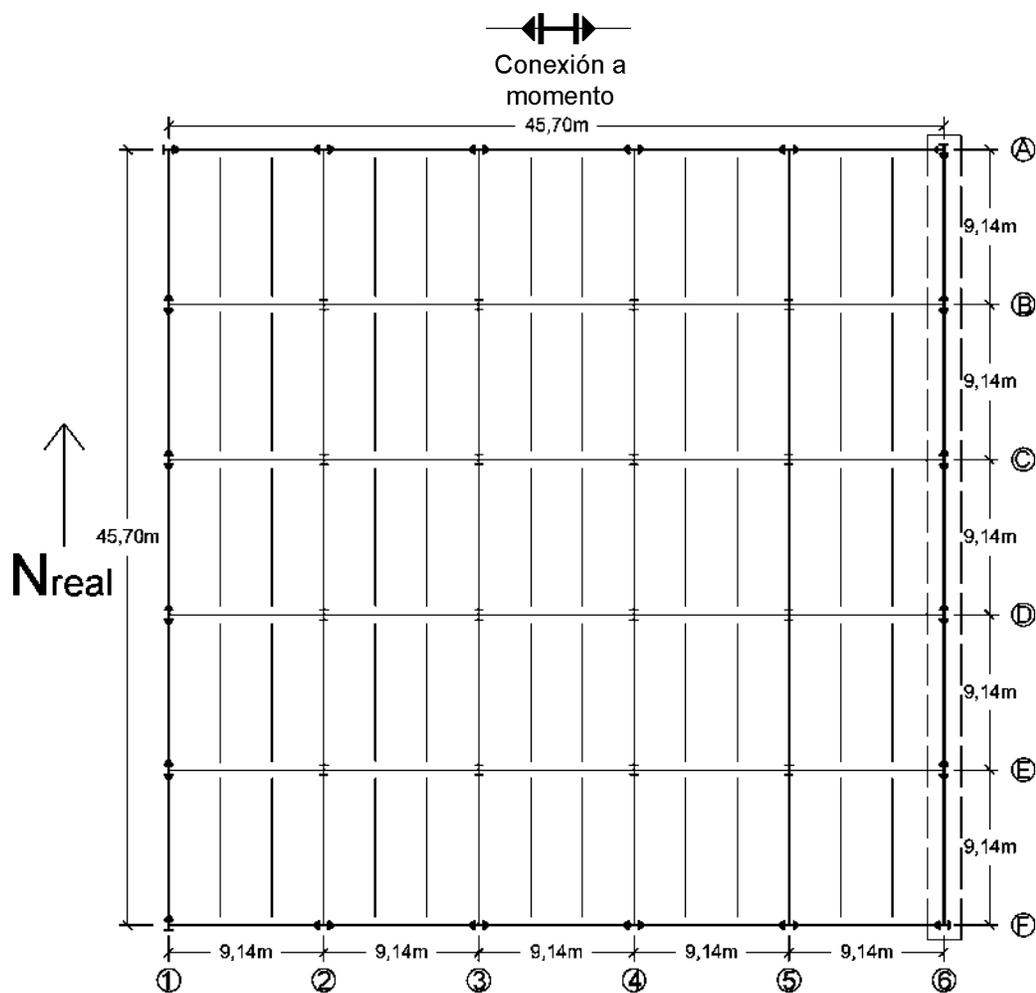


Figura A.6 Vista en planta del edificio de 9 niveles.

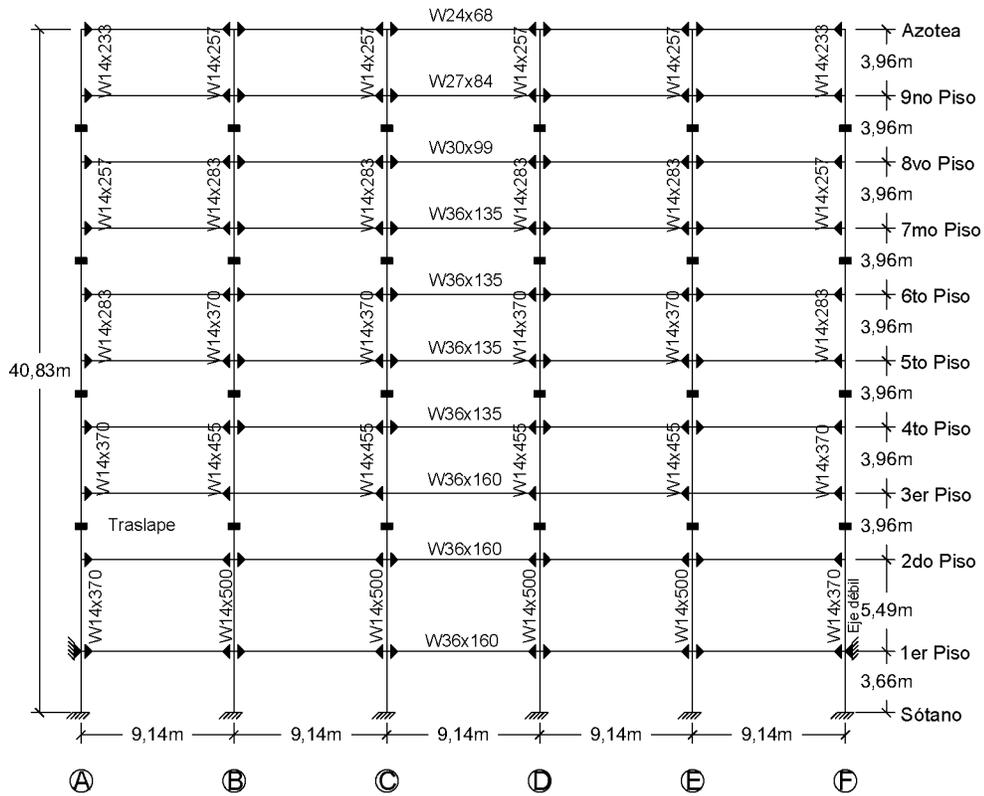


Figura A.7 Alzado en dirección N-S del edificio de 9 niveles.

Tabla A.4 Cargas usadas para el edificio de 9 niveles.

Piso	Peso (t)	Masa (t – s ² /m)
1	1136.50	-----
2	1136.50	105.90
3	1089.20	101.50
4	1089.20	101.50
5	1089.20	101.50
6	1089.20	101.50
7	1089.20	101.50
8	1089.20	101.50
9	1089.20	101.50
Azotea	1277.00	130.20

Tabla A.5 Componentes de las secciones consolidadas en el edificio de 3 niveles.

Nombre	Secciones
W-04	2*(W14x257)
W-05	W14x61 + W14x48
W-06	2*(W14x48)
W-07	2*(W14x283)
W-08	W14x90 + W14x82
W-09	2*(W14x82)
W-10	2*(W14x370)
W-11	W14x120 + W14x109
W-12	2*(W14x109)
W-13	2*(W14x455)
W-14	W14x159 + W14x145
W-15	2*(W14x145)
W-16	2*(W14x500)
W-17	W14x211 + W14x193
W-18	2*(W14x193)

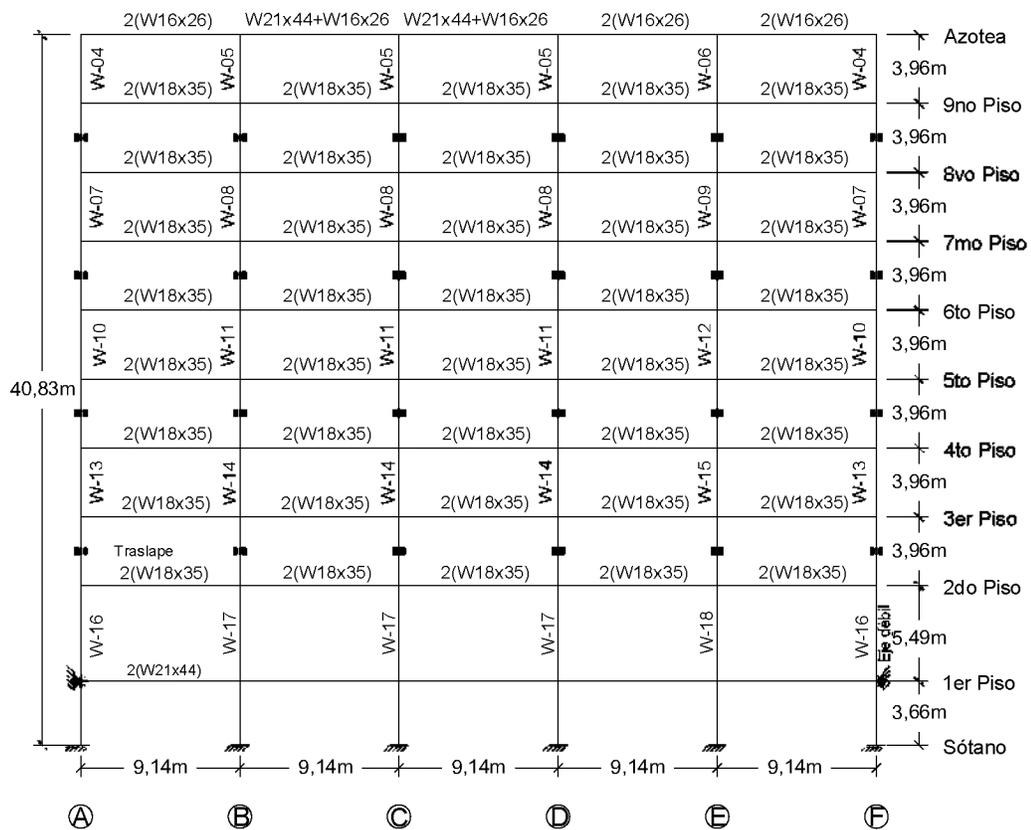


Figura A.8 Marco interior consolidado para el edificio de 9 niveles.

A.4 Edificio de 13 Niveles

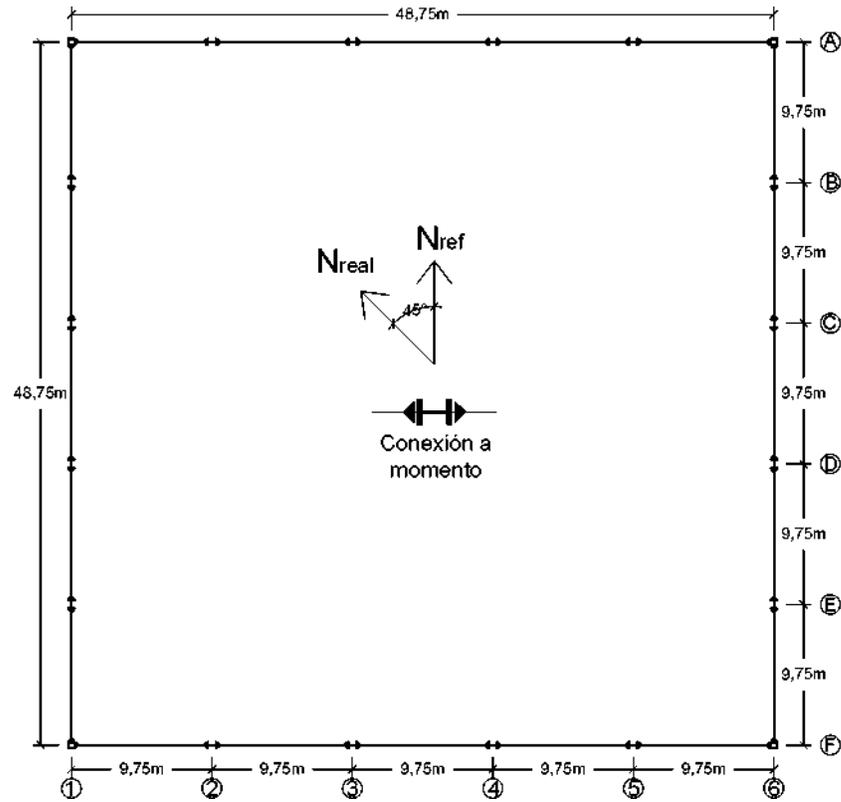


Figura A.9 Vista en planta del edificio de 13 niveles.

Tabla A.6 Cargas usadas para el edificio de 13 niveles.

Piso	Peso (t)	Masa ($t - s^2/m$)
1	1095.00	----
2	1095.00	111.60
3	1095.00	111.60
4	1095.00	111.60
5	1095.00	111.60
6	1095.00	111.60
7	1095.00	111.60
8	1095.00	111.60
9	1095.00	111.60
10	1095.00	111.60
11	1095.00	111.60
12	1095.00	111.60
Azotea	919.70	93.70

A continuación, se muestran las curvas de capacidad de cada modelo analítico correspondiente a los edificios que forman parte de este estudio. En línea azul se muestra la relación cortante en la base, V_b , normalizado con el peso total de edificio, W , contra el desplazamiento de azotea, Δ_{Azotea} , normalizado con la altura del edificio, H . En línea naranja se muestra la idealización bilineal por el método de igual energía para obtener el coeficiente asociado a la fluencia, C_y .

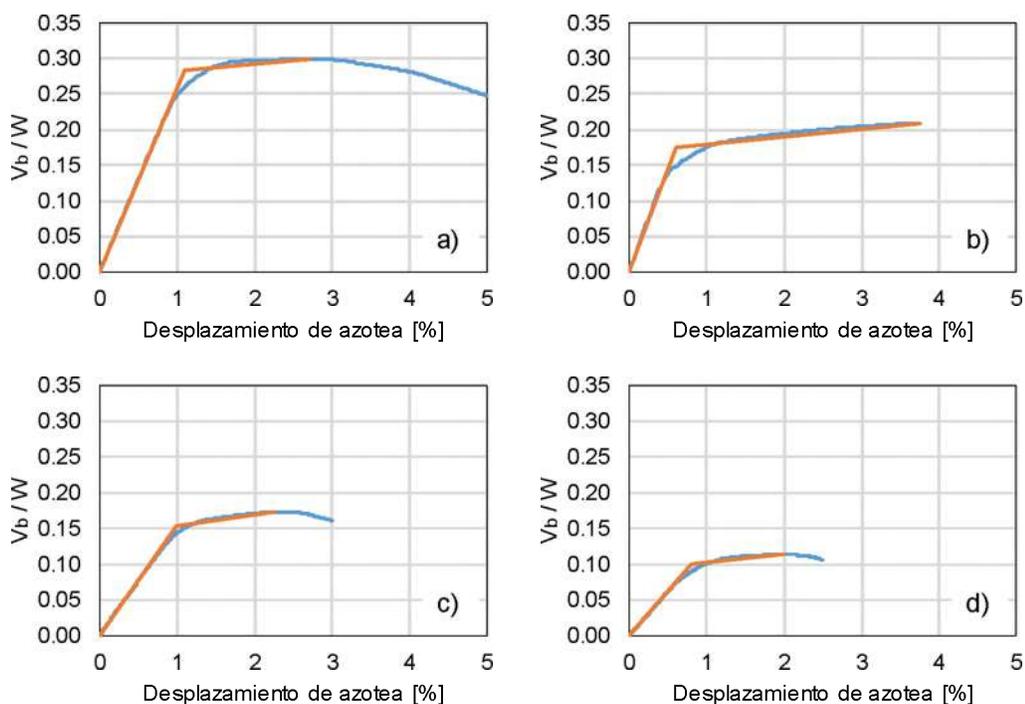


Figura A.11 Curvas de capacidad de los modelos analíticos con marco exterior: a) 3NmE, b) 6NmE, c) 9NmE y d) 13NmE.

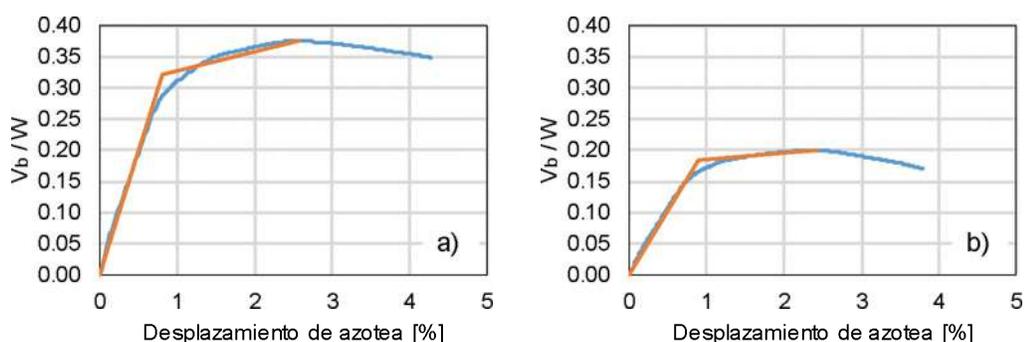


Figura A.12 Curvas de capacidad de los modelos analíticos con marco exterior e interior: a) 3NmE y b) 9NmE.

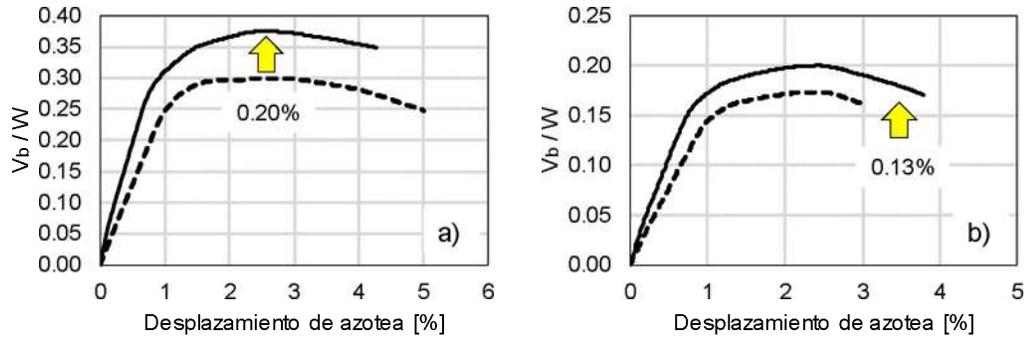


Figura A.13 Comparación de las curvas de capacidad de los modelos analíticos considerando la participación del marco interior para los edificios de: a) 3 y b) 9 niveles.

Historias del terreno registradas en fuente cercana

B.1 Registros de fuente cerca

Tabla B.1 Registros fuente cercana. [Adaptado de Ruiz-García (2011)]

No	Fecha [M/D/A]	Mw	Nombre Sismo	Estación	D [km]	PGA [cm/s^2]	PGV [cm/s]	T_p [s]	T_g [s]	Tag
1	06/28/66	6.1	Parkfield	Station 2(Cholame #2)	0.1	466.8	75.1	1.88	0.67	PARK
2	02/09/71	6.6	San Fernando	Pacoima Dam	3.3	1443.9	114.3	1.38	1.33	PCD
3	05/02/83	6.4	Coalinga	Pleasant Valley P.P-yard	8.5	586.2	57.9	0.70	0.55	HPVY
4	04/24/84	6.2	Morgan Hill	Anderson Dam	2.6	244.6	36.5	0.49	0.45	G06
5				Gilroy Array #6	11.8	155.0	54.5	1.04	1.14	AND
6	07/08/86	6	N. Palm Springs	North Palm Spring	8.2	656.3	73.5	1.26	0.92	NPS
7				Desert Hot Springs	8.0	322.0	26.9	1.38	0.41	DSP
8				Whitewater Trout Farm	7.3	523.5	35.8	0.63	0.53	WWT
9	11/24/87	6.7	Superstition Hills	E1 Centro Imp. Co. Cent	13.9	302.6	51.9	2.41	1.49	BICC
10	10/01/87		Whittier Narrows	Bell Gardens-Jaboneria	9.8	251.1	19.1	0.71	0.62	JAB
11				Santa Fe Springs-E Joslin	10.8	390.8	23.7	0.70	0.26	EJS
12	09/17/89	6.9	Loma Prieta	Gilroy Array #1	11.2	419.3	38.5	4.24	0.40	G01
13				Gilroy Array #2	12.7	398.5	45.7	1.43	1.53	G02
14				Gilroy Array #3	14.4	523.0	49.3	1.79	0.47	G03
15				Gilroy Array #4	16.1	338.5	35.7	1.37	1.51	G04
16				Gilroy-Gavilan Coll.	11.6	288.5	30.8	1.77	0.39	GIL
17				Gilroy-Historic Bldg.	12.7	276.3	31.9	1.54	1.45	GOF
18				Saratoga-Aloha Ave.	13.0	355.8	55.6	2.25	1.67	STG
19				Saratoga-W Valley Coll.	13.7	395.3	71.3	2.16	1.17	WVC
20				Los Gatos	3.5	704.1	172.8	3.21	2.90	LOSG
21				Lexington Dam	6.3	673.2	178.6	0.86	1.05	LEXD
22	03/13/92	6.9	Erzican	Erzican	2.0	424.1	120.2	2.31	2.10	ERZ
23	06/28/92	7.3	Landers	Lucerne Valley	1.1	699.9	136.0	5.54	4.59	LAND
24	01/17/94	6.7	Northridge	Canoga Park-Topanga Can	15.8	368.6	53.5	2.02	2.07	CNP

Tabla B.1 Continuación registros fuente cercana. [Adaptado de Ruiz-García (2011)]

No	Fecha [M/D/A]	Mw	Nombre Sismo	Estación	D [km]	PGA [cm/s^2]	PGV [cm/s]	T_p [s]	T_g [s]	Tag
25				Canyon Country-W Lost Cany	13.0	457.1	53.5	1.89	0.65	LOSG
26				Jensen Filter Plant	6.2	385.6	104.5	2.83	2.70	JEN
27				Newhall-Fire Station	7.1	709.8	120.9	0.93	1.26	NWH
28				Rinaldi Receiving	7.1	869.7	173.1	1.16	1.00	RRS
29				Sepulveda VA	8.9	708.1	65.5	2.99	0.87	SPV
30				Sylmar Converter	6.2	583.0	130.3	2.88	2.95	SCS
31				Sylmar Converter East	6.1	822.8	116.5	3.05	3.06	SCE
32				Sylmar Olive View	6.4	718.7	123.1	2.53	2.58	SYL
33				Newhall-W. Pico Canyon Rd.	7.1	417.6	87.7	2.18	2.25	WPI
34				Pacoima Dam Downstream	8.0	489.1	49.6	0.48	0.44	PAC
35				Pacoima Kagel Canyon	8.2	516.5	56.2	0.72	0.87	PKC
36	01/17/95	6.9	Hyogo-Ken-Nambu	KJMA	0.6	838.0	95.7	0.86	0.85	KJM
37				Post Island	6.6	425.0	100.3	2.34	1.34	PORT
38				Takatori	4.3	771.5	173.8	2.11	1.29	TAKA
39				JMA	3.4	1067.7	160.3	0.90	0.87	JMA
40	08/17/01	7.4	Kokaeli	Gebze	17.0	239.4	50.3	6.47	4.29	GBZ

B.2 Espectros de respuesta

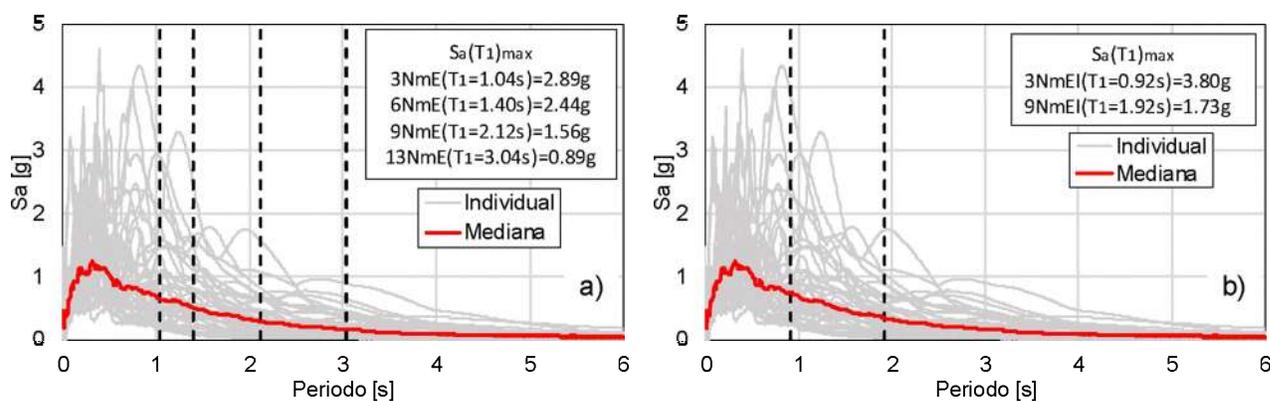


Figura B.1 Espectros de respuesta de pseudo-aceleración de los 40 registros normalizados: a) modelos con marco exterior y b) modelos con marco exterior e interior.

B.3 Pulsos equivalentes

B.3.1 Mavroeidis y Papageorgiou (2002)

$$v(t) = A \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi f_p}{\gamma} (t - t_0) \right) \right] \cos [2\pi f_p (t - t_0) + v] \quad t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \quad \text{con } \gamma > 1 \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$v(t) = 0 \quad \text{resto}$$

Donde:

A: amplitud de la señal (cm/s)

f_p : parámetro modulador de frecuencia, $f_p = 1/T_p$

v : parámetro modulador de amplitud de fase ($v = 0$, $v \pm \pi/2$ simétrico o no simétrico)

γ : define la oscilación de la señal

De igual forma que en la ecuación 4.1, para obtener la aceleración del terreno solo basta con derivar la ecuación 4.5 escribiéndose de la siguiente manera:

$$b_1 = 2\pi f_p (t - t_0) + v \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$b_2 = \frac{2\pi f_p}{\gamma} (t - t_0) \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$a(t) = -A\pi f_p \left\{ \text{seno}(b_1) [1 + \cos(b_2)] + \frac{1}{\gamma} \cos(b_1) * \text{seno}(b_2) \right\} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

B.3.2 Fu y Menun (2004)

$$v_p(t) = V_p \exp\{1 - \alpha(t - t_p) - \exp[-\alpha(t - t_p)]\} \text{sen}[2\pi(t - t_0)/T_p] \quad t_0 \leq t \leq t_0 + 2T_p \quad \text{Ec. (3.5)}$$

$$v_p(t) = 0 \quad \text{resto}$$

Donde:

V_p y T_p : características de amplitud en velocidad (cm/s) y tiempo (s) del pulso de velocidad

t_0 : especifica el tiempo en que inicia el pulso de velocidad

α : define el crecimiento o disminución del pulso de velocidad

$t_p = t_0 + 0.75T_p$: tiempo donde se produce la máxima velocidad

La aceleración del terreno se obtiene derivando la ecuación 4.1 quedando de la siguiente manera

$$a_p(t) = V_p A_p(t) \cos[2\pi(t - t_0)/T_p - \varphi] \quad t_0 \leq t \leq t_0 + 2T_p \quad \text{Ec. (3.6)}$$

$$a_p(t) = 0 \quad \text{resto}$$

Donde:

$$A_p(t) = \exp\{1 - \alpha(t - t_p) - \exp[-\alpha(t - t_p)]\} \sqrt{\{-\alpha + \alpha \exp[-\alpha(t - t_p)]\}^2 + (2\pi/T_p)^2} \quad \text{Ec. (3.7)}$$

$A_p(t)$: función de modulación de la aceleración

$$\varphi = \arctan \frac{-\alpha + \alpha e^{-\alpha(t-t_p)}}{2\pi/T_p} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

φ : ángulo de fase

Tabla B.2 Datos para calibrar los pulsos equivalentes.

No	Tag	Mavroeidis y Papageorgiou (2002)						Fu y Menun (2004)					
		A [cm/s ²]	T _p [s]	v[0, π/2, -π/2]	α > 1	f _p	t ₀ [s]	PGV (cm/s)	V _p [cm/s]	T _p [s]	α	t ₀ [s]	t _p [s]
1	BICC	51.0	2.40	0.00	1.80	0.42	13.1	51.9	51.0	2.40	-1.10	11.25	13.05
2	PARK	75.0	1.90	1.57	2.00	0.53	4.1	75.0	-75.0	1.90	-1.50	3.10	4.53
3	TAKA	-144.5	2.11	0.00	3.50	0.47	5.0	173.8	-144.5	2.11	1.02	3.40	4.98
4	PORT	-97.8	2.34	-1.57	2.00	0.43	15.3	100.3	-97.8	2.34	-1.27	14.11	15.87
5	ERZ	92.6	2.31	1.57	1.60	0.43	3.3	120.2	92.6	2.31	1.32	1.06	2.79
6	G04	26.0	1.37	-1.57	4.00	0.73	5.7	35.7	20.9	1.37	0.00	4.39	5.42
7	G03	-34.8	1.79	0.00	1.60	0.56	4.4	49.3	34.8	1.79	2.20	3.11	4.45
8	G02	-31.7	1.43	-1.57	4.10	0.70	4.8	45.7	-31.7	1.43	0.47	3.41	4.48
9	G0F	-21.0	1.54	-1.57	3.90	0.65	4.8	31.9	-21.0	1.54	-0.78	3.29	4.45
10	SYL	-58.5	2.53	0.00	3.60	0.40	5.0	123.1	58.5	2.53	-0.32	3.11	5.01
11	SCE	-60.6	3.05	-1.57	2.60	0.33	4.5	116.5	-60.6	3.05	0.67	1.34	3.63
12	SCS	-130.3	2.88	-1.57	2.40	0.35	4.4	130.3	-74.6	2.88	0.52	1.53	3.69
13	SPV	30.0	2.99	-1.57	3.00	0.33	5.0	65.5	19.1	2.99	0.00	2.06	4.30
14	NWH	-106.9	0.93	-1.57	1.80	1.08	5.5	120.9	-106.8	0.93	3.54	4.63	5.33
15	JEN	104.5	2.83	1.57	2.00	0.35	4.0	104.5	69.8	2.83	-0.40	2.67	4.79
16	LOS	56.0	1.50	1.57	1.50	0.67	4.8	53.5	27.2	1.89	0.89	3.87	5.29
17	CNP	-47.0	2.02	1.57	2.00	0.50	3.7	53.5	-40.3	2.02	-1.12	2.67	4.19
18	HPVY	44.2	0.90	-1.57	3.00	1.11	7.2	55.2	44.2	4.33	-0.56	3.77	7.02
19	EJS	15.5	0.70	-1.57	2.71	1.43	4.1	23.7	15.5	0.70	-2.71	3.71	4.24
20	JAB	20.5	0.71	1.57	3.00	1.41	5.0	19.1	-20.5	0.71	0.71	4.38	4.91
21	GBZ	41.6	6.47	1.57	2.00	0.15	9.3	50.3	-41.6	6.47	0.53	2.76	7.61
22	LAND	-136.0	5.54	1.57	1.10	0.18	11.2	136.0	-68.2	5.54	-0.14	8.67	12.83
23	JMA	-160.3	0.90	0.00	3.00	1.11	8.2	160.3	-118.1	0.90	0.00	7.13	7.81

Tabla B.2 Continuación datos para calibrar los pulsos equivalentes.

No	Tag	Mavroeidis y Papageorgiou (2002)						Fu y Menun (2004)					
		A [cm/s ²]	T _p [s]	v[0, π/2, -π/2]	α > 1	f _p	t ₀ [s]	PGV (cm/s)	Vp [cm/s]	T _p [s]	α	t ₀ [s]	t _p [s]
24	KJM	-95.7	0.86	0.00	3.00	1.16	8.2	95.7	-78.3	0.86	0.00	7.15	7.80
25	LEXD	156.2	1.81	0.00	1.93	0.55	4.2	178.8	156.2	1.81	-1.93	2.83	4.19
26	LOSG	173.0	3.21	1.57	3.30	0.31	9.2	173.0	109.2	3.21	0.50	5.87	8.28
27	WVC	70.7	2.16	0.00	1.10	0.46	4.9	71.3	-70.7	2.16	-4.19	3.33	4.95
28	STG	-50.6	2.25	1.57	1.40	0.44	5.9	55.6	-50.6	2.25	-1.77	4.64	6.33
29	GIL	-30.8	1.77	0.00	1.50	0.56	3.1	30.8	20.6	1.77	-2.56	1.76	3.09
30	G01	36.9	0.50	0.00	1.10	2.00	3.2	38.5	-36.9	1.00	-11.00	2.50	3.25
31	PKC	-50.1	0.72	-1.57	1.90	1.39	3.7	56.2	-50.1	0.72	3.09	2.98	3.52
32	PAC	46.1	0.48	1.57	1.70	2.08	3.5	49.6	-46.1	0.48	6.58	3.04	3.40
33	WPI	101.5	2.18	1.57	1.49	0.46	5.2	87.7	101.5	2.18	-1.48	4.00	5.64
34	RRS	165.0	1.16	1.57	1.10	0.86	2.6	173.1	165.0	1.16	3.13	1.50	2.37
35	PCD	-103.2	1.38	-1.57	2.50	0.72	3.4	114.3	-103.2	1.38	1.95	2.00	3.04
36	G06	32.0	1.04	1.57	3.10	0.96	6.1	36.5	-32.0	1.04	1.70	5.04	5.82
37	AND	27.3	0.49	0.00	1.70	2.04	4.9	27.3	-27.3	0.49	-5.96	4.51	4.88
38	WWT	-27.3	0.63	0.00	3.50	1.59	3.2	35.8	-27.3	0.63	0.63	2.97	3.44
39	DSP	22.0	1.38	1.57	2.05	0.72	2.6	26.9	-22.0	1.38	2.05	1.21	2.25
40	NPS	-58.9	1.26	0.00	1.90	0.79	2.9	73.5	58.9	1.26	-2.28	1.98	2.93

Relaciones predictivas de IDR_{max} y de $RIDR_{max}$

C.1 Relaciones predictivas de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$

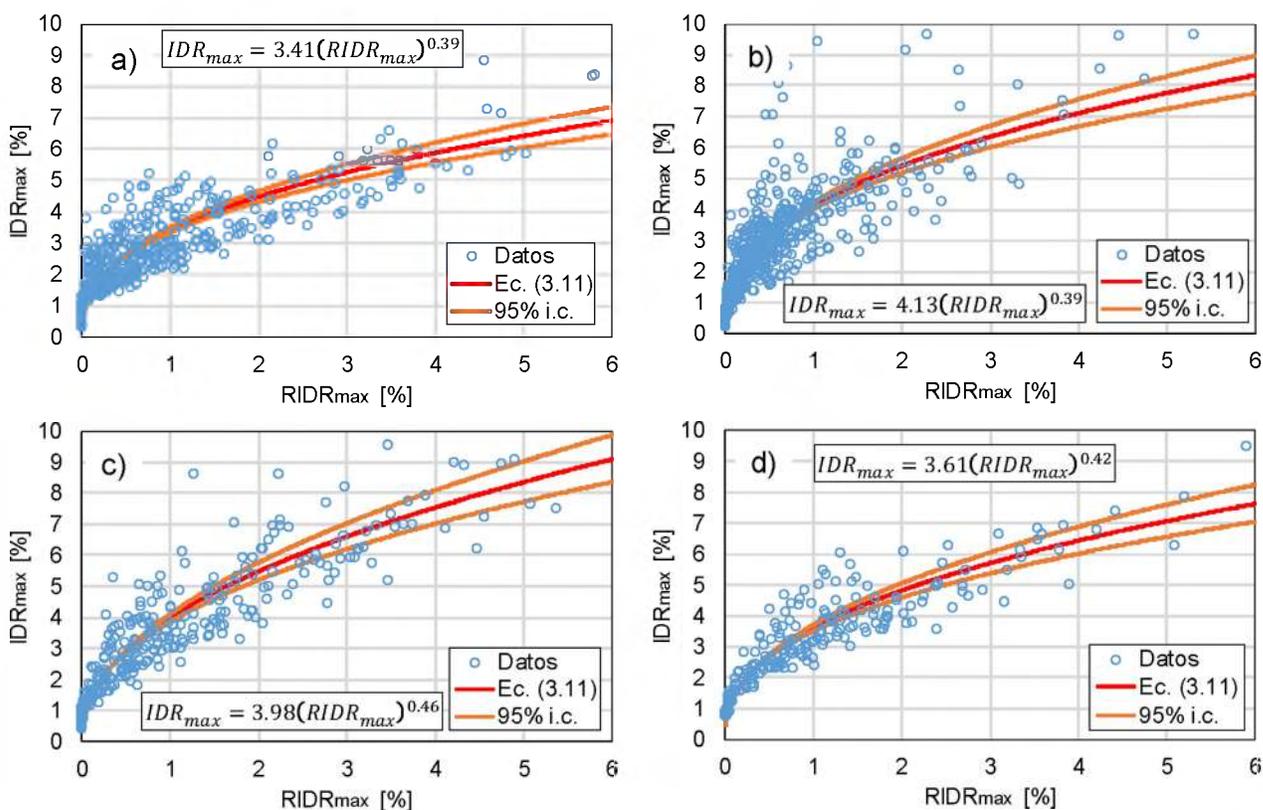


Figura C.1 Ecuaciones predictivas IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ de los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N

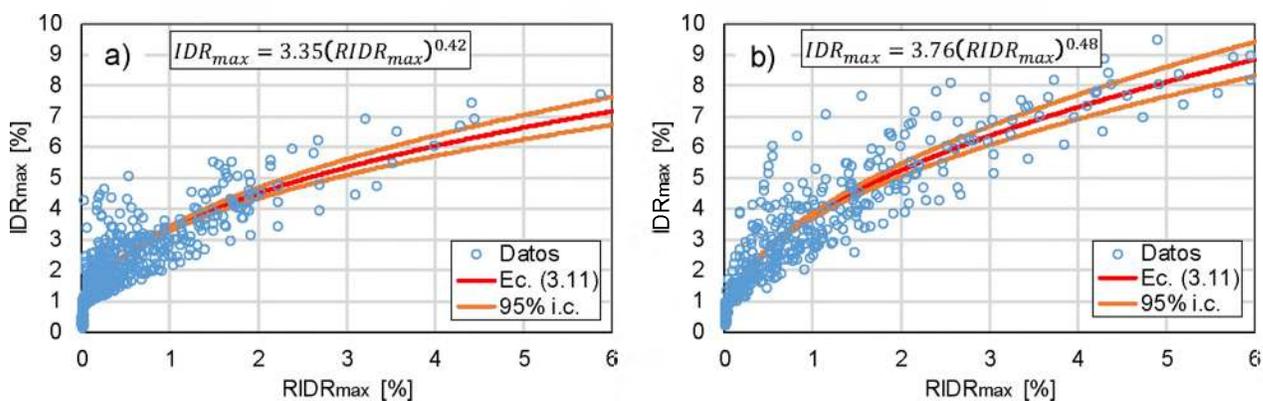


Figura C.2 Ecuaciones predictivas IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$ de los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N

C.2 Relaciones predictivas de $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max}

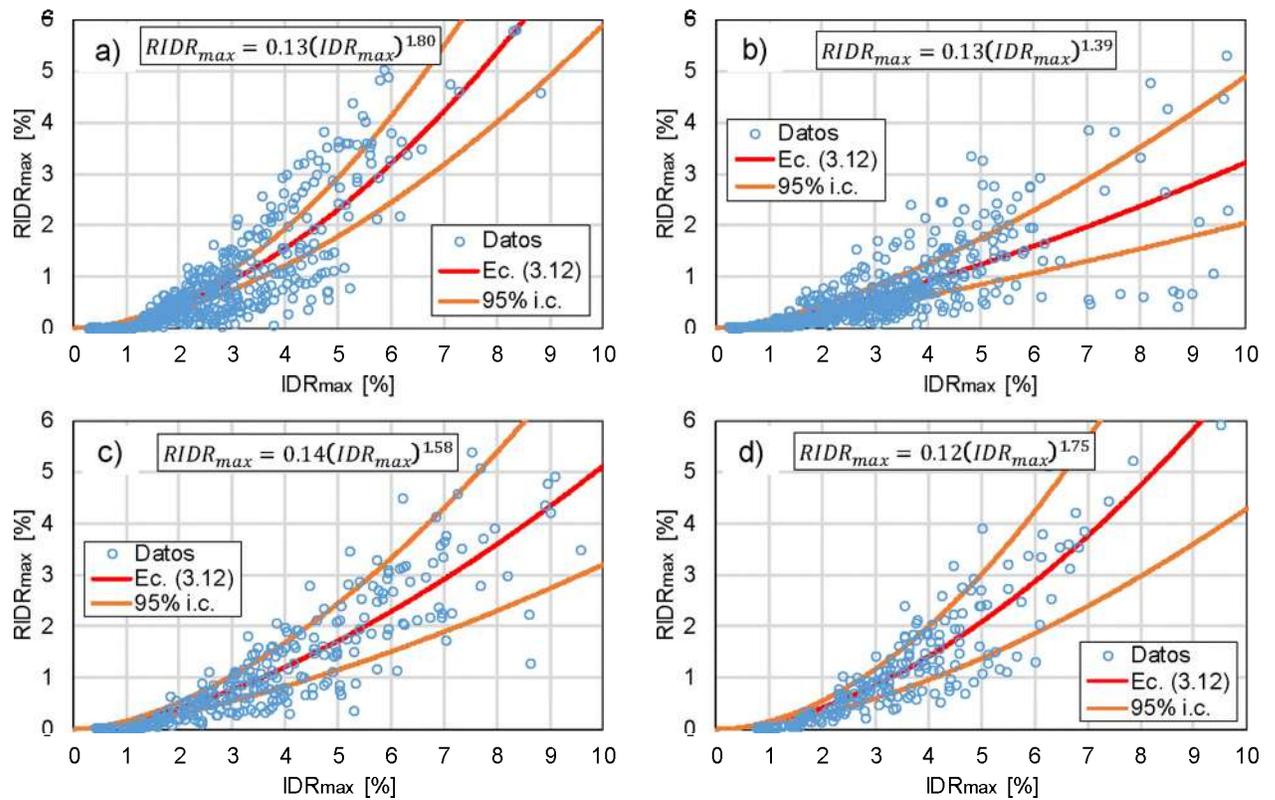


Figura C.3 Ecuaciones predictivas $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max} de los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N

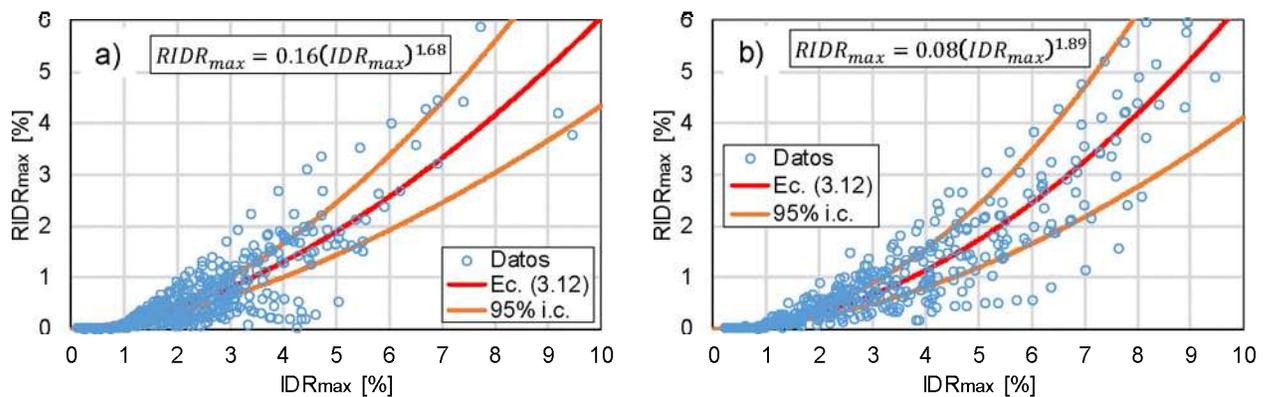


Figura C.4 Ecuaciones predictivas $RIDR_{max}$ a partir de IDR_{max} de los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N

C.3 Coeficiente de variación de los perfiles *IDR*

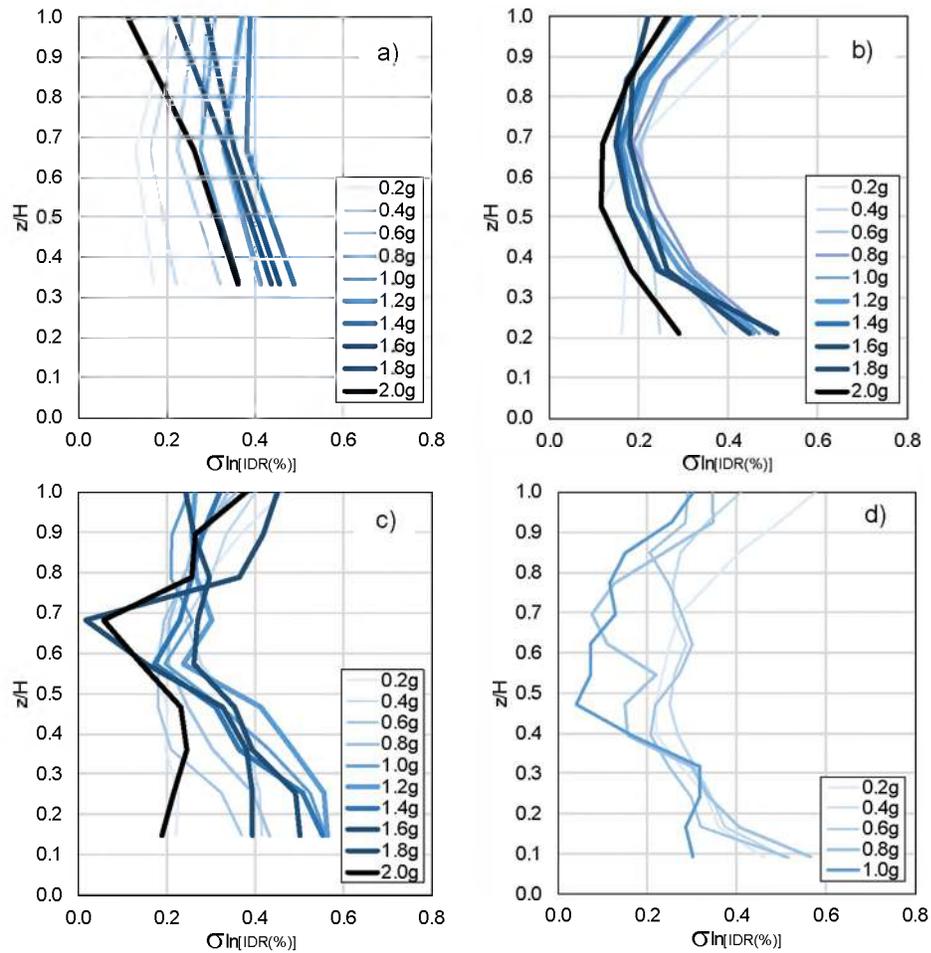


Figura C.5 Coeficiente de variación de los perfiles *IDR* edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N

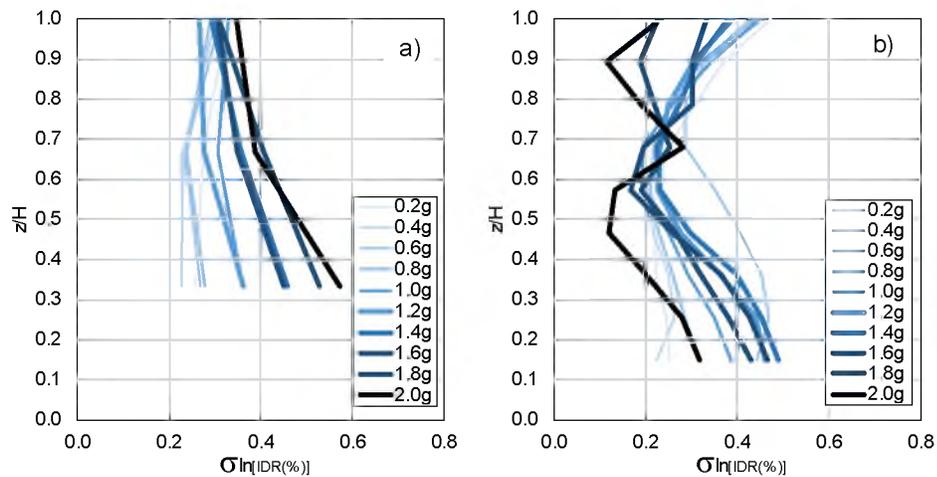


Figura C.6 Coeficiente de variación de los perfiles *IDR* edificios con marco exterior e interior: a) 3N y c) 9N

C.4 Coeficiente de variación de los perfiles *RIDR*

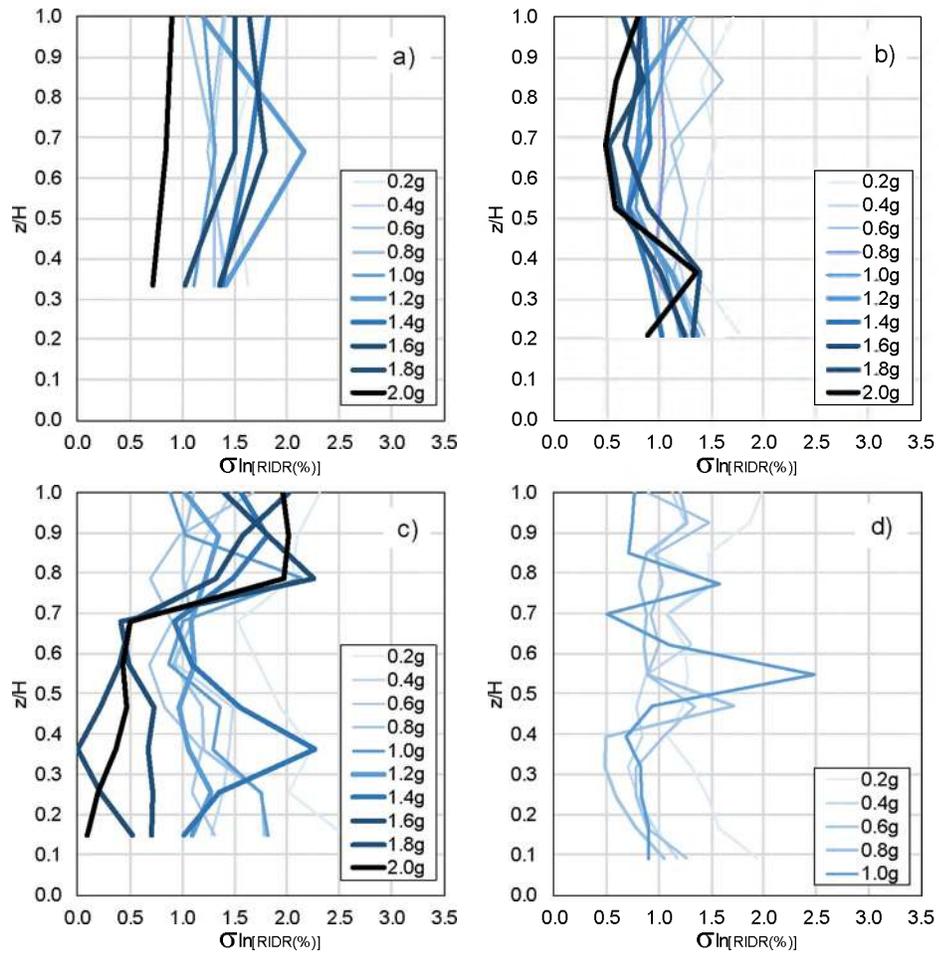


Figura C.7 Coeficiente de variación de los perfiles *RIDR* edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N

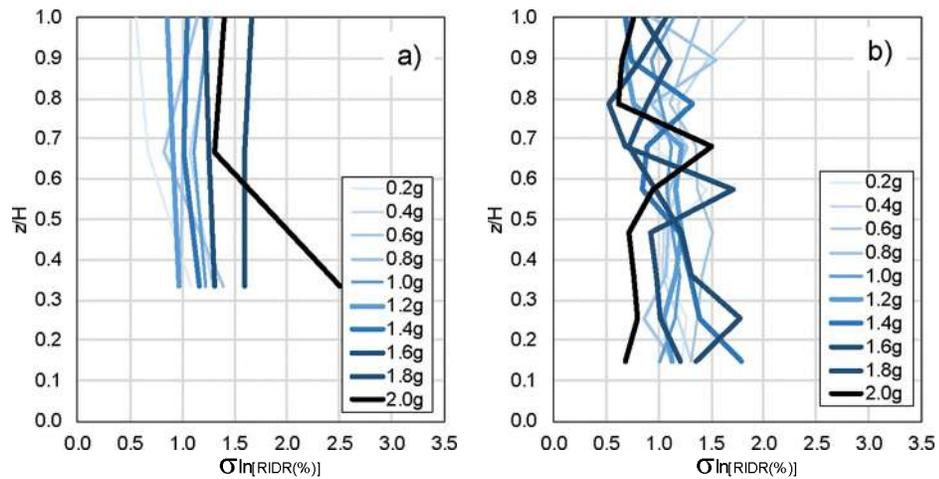


Figura C.7 Coeficiente de variación de los perfiles *RIDR* edificios con marco exterior: a) 3N y b) 9N.

C.5 Relación entre IDR_{max} y la $M.I.S_a(T_1)_{max}$

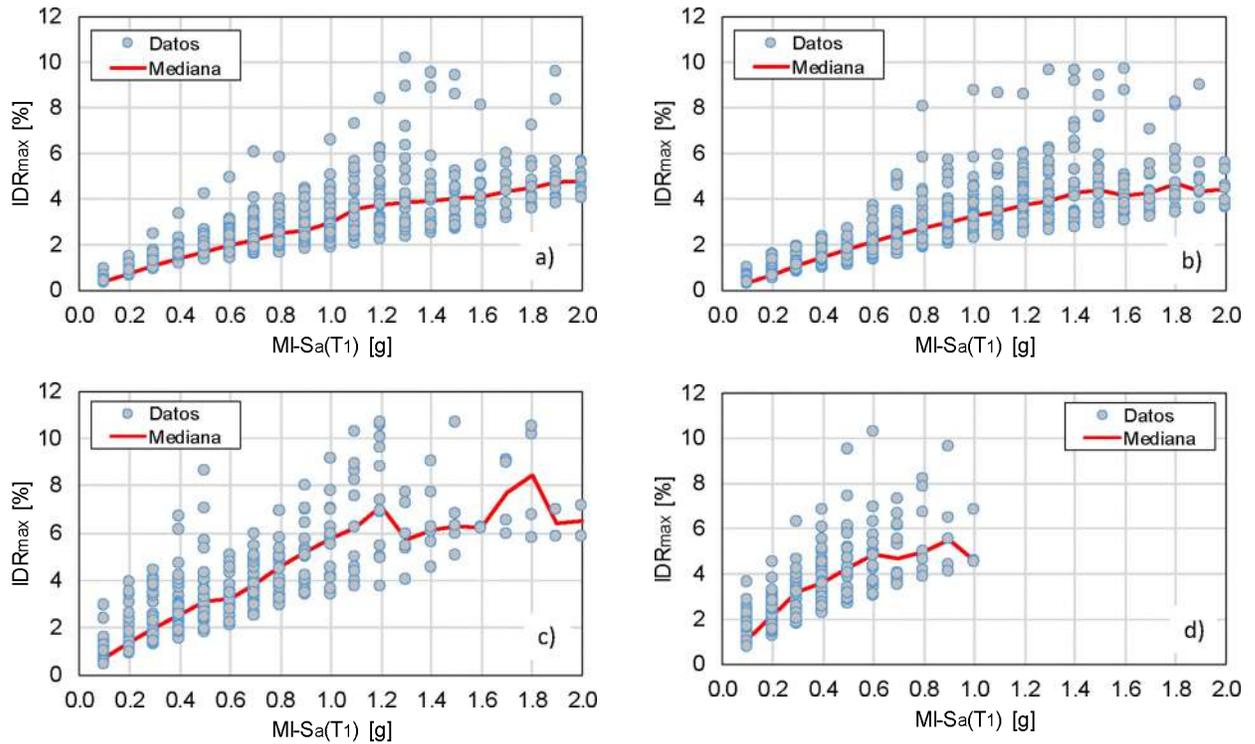


Figura C.8 IDR en relación con la medida de intensidad $S_a(T_1)$ para los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

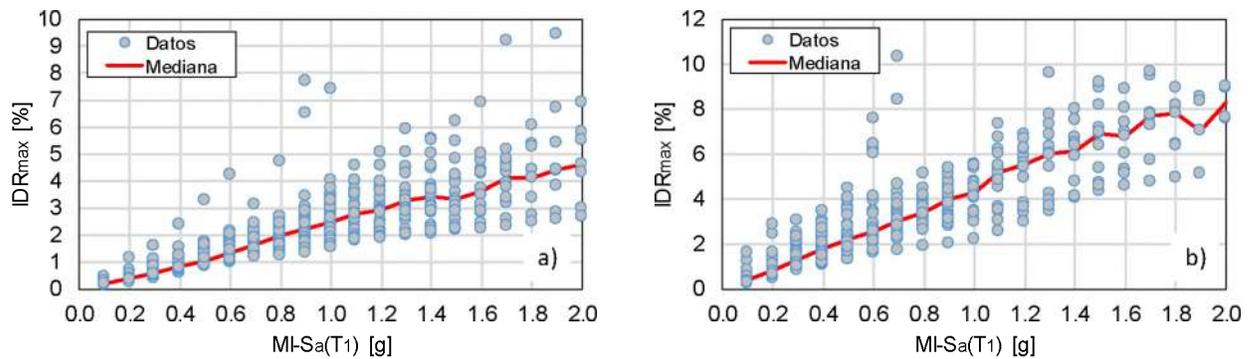


Figura C.8 IDR en relación con la medida de intensidad $S_a(T_1)$ para los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y d) 9N.

C.6 Relación entre $RIDR_{max}$ y la $M.I.S_a(T_1)_{max}$

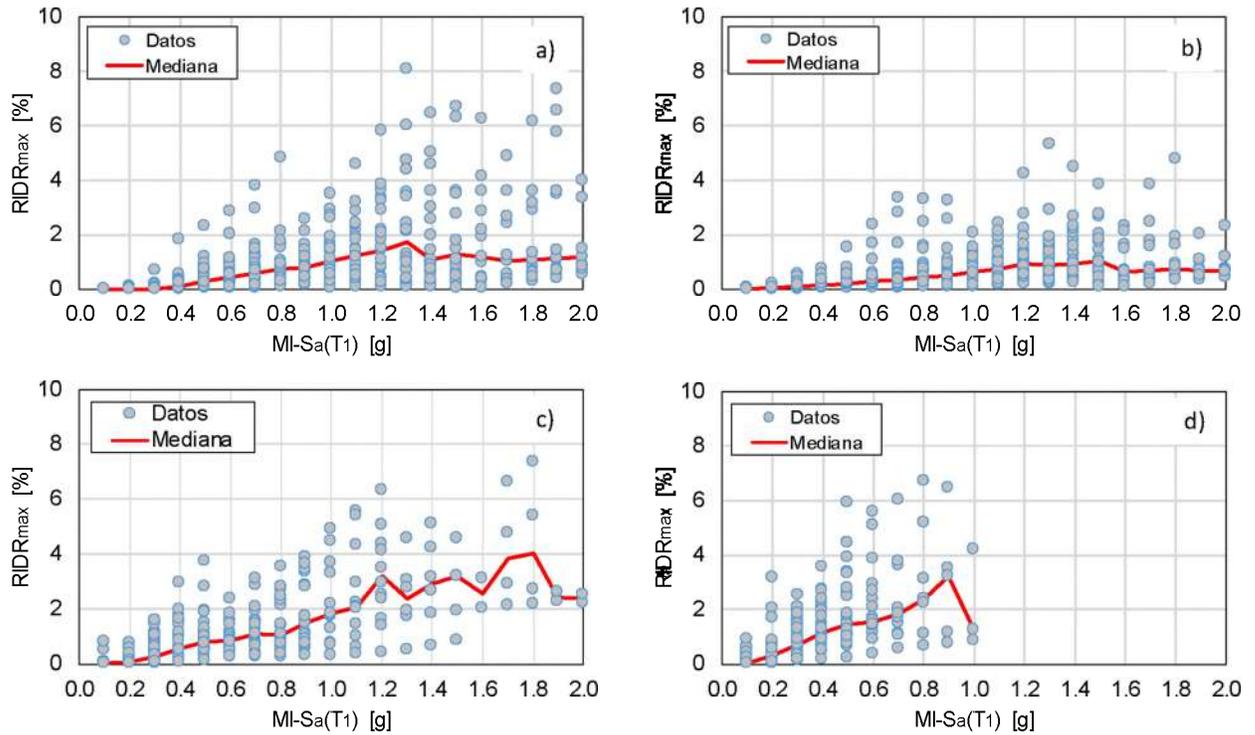


Figura C.9 $RIDR$ en relación con la medida de intensidad $S_a(T_1)$ para los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

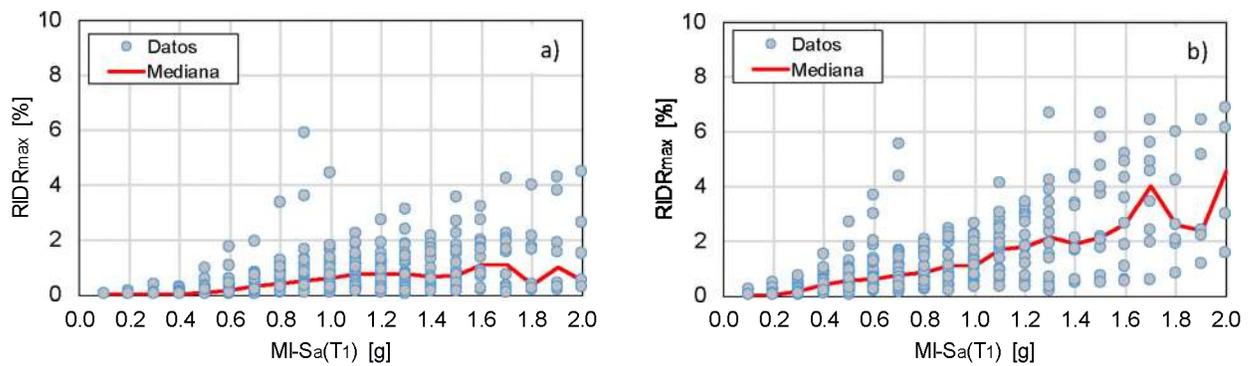


Figura C.10 $RIDR$ en relación con la medida de intensidad $S_a(T_1)$ para los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y d) 9N.

C.7 Respuesta de los edificios considerados en este estudio ante pulsos equivalentes

C.7.1 Perfiles de *RIDR* de los edificios con marco exterior

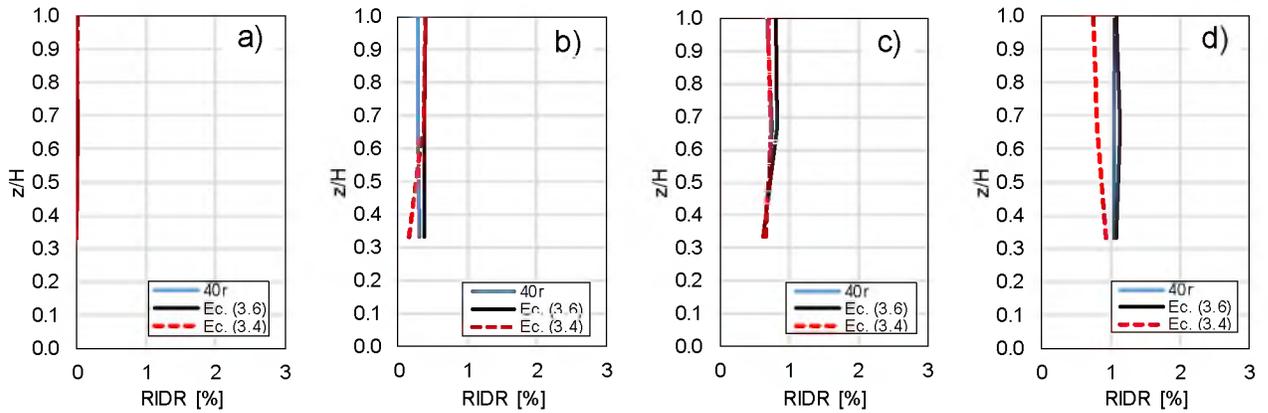


Figura C.11 Edificio de 3 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

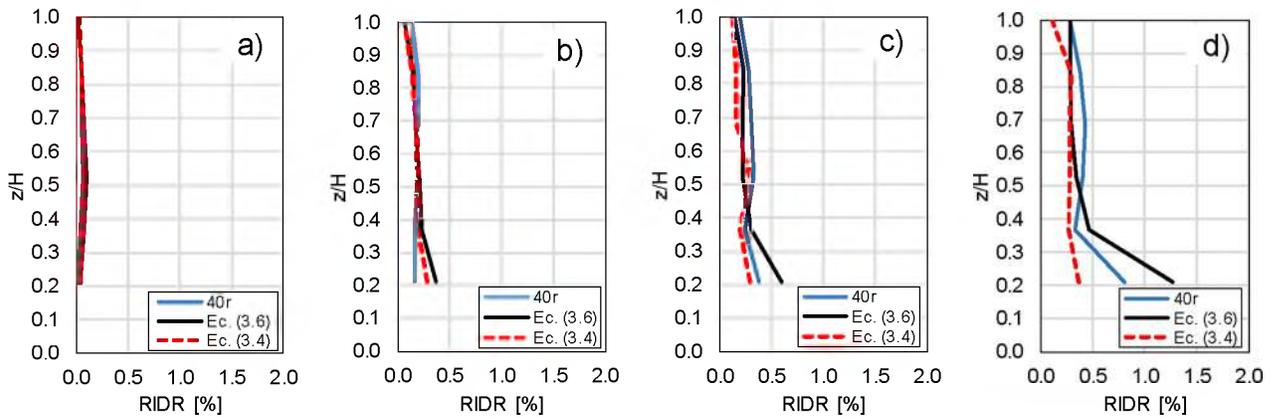


Figura C.12 Edificio de 6 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

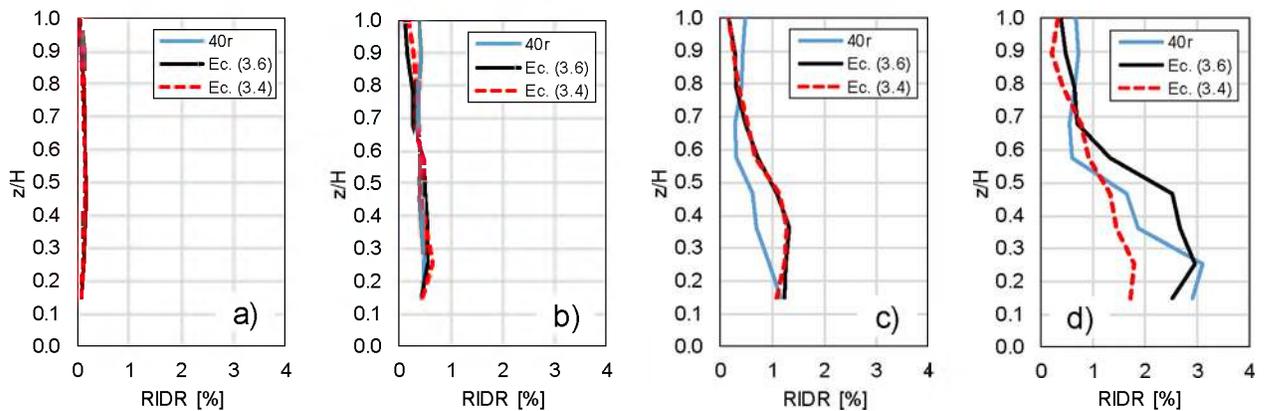


Figura C.13 Edificio de 9 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

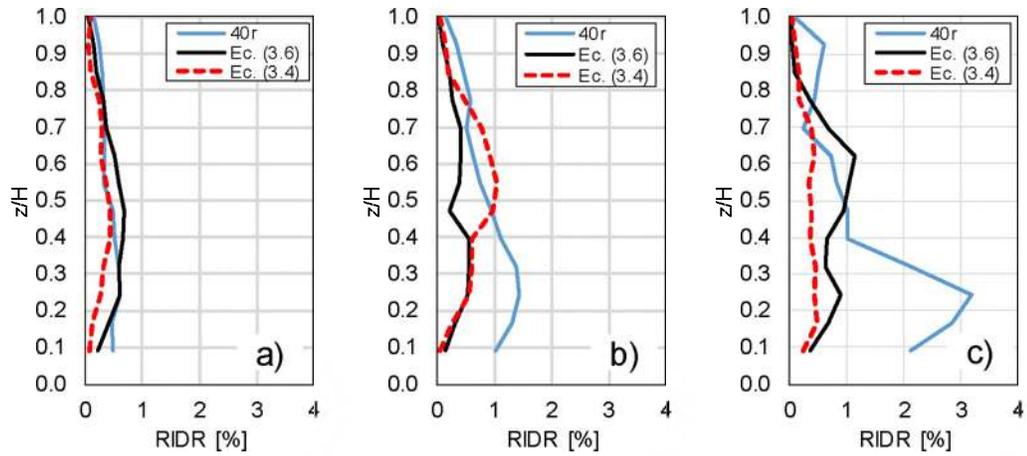


Figura C.14 Edificio de 13 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$ y c) $0.9g$

C.7.2 Perfiles de RIDR de los edificios con marco exterior e interior

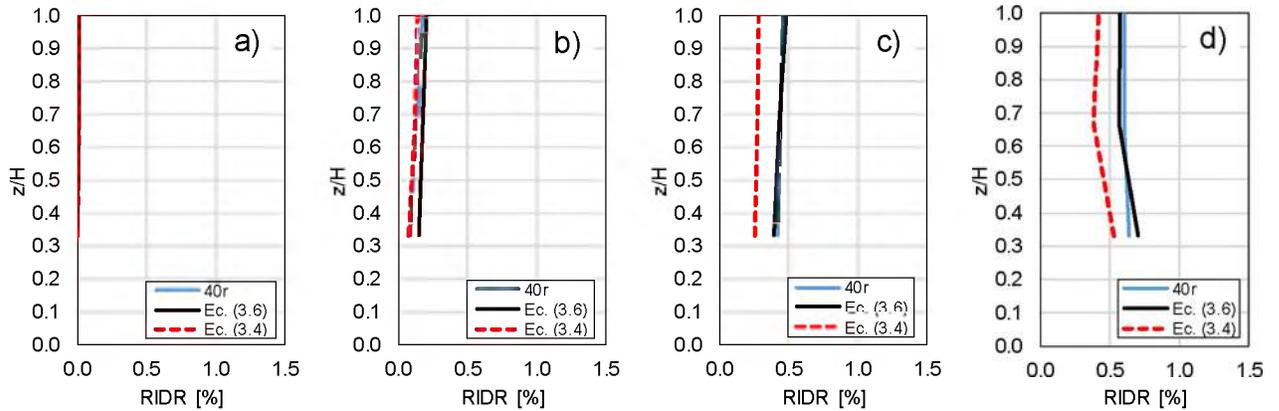


Figura C.15 Edificio de 3 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

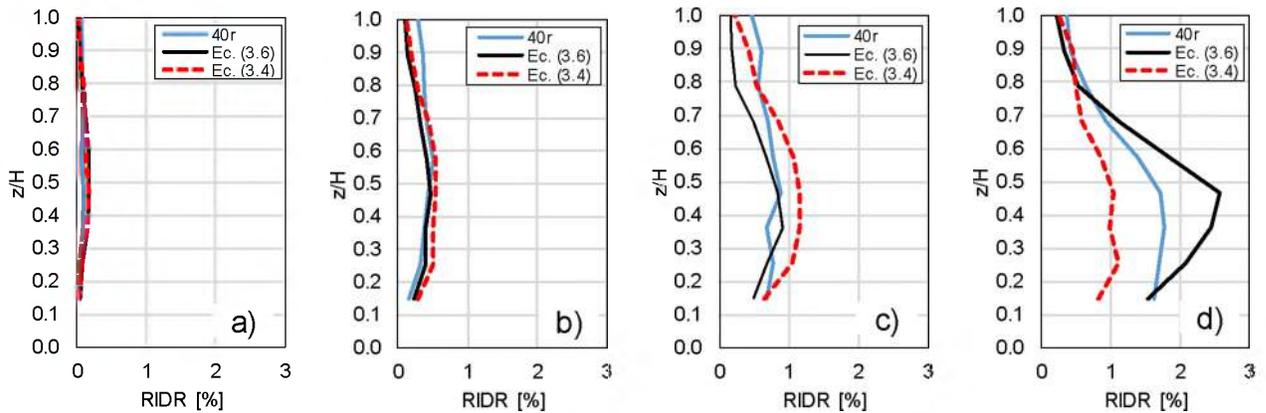


Figura C.16 Edificio de 9 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

C.7.3 Perfiles de IDR de los edificios con marco exterior

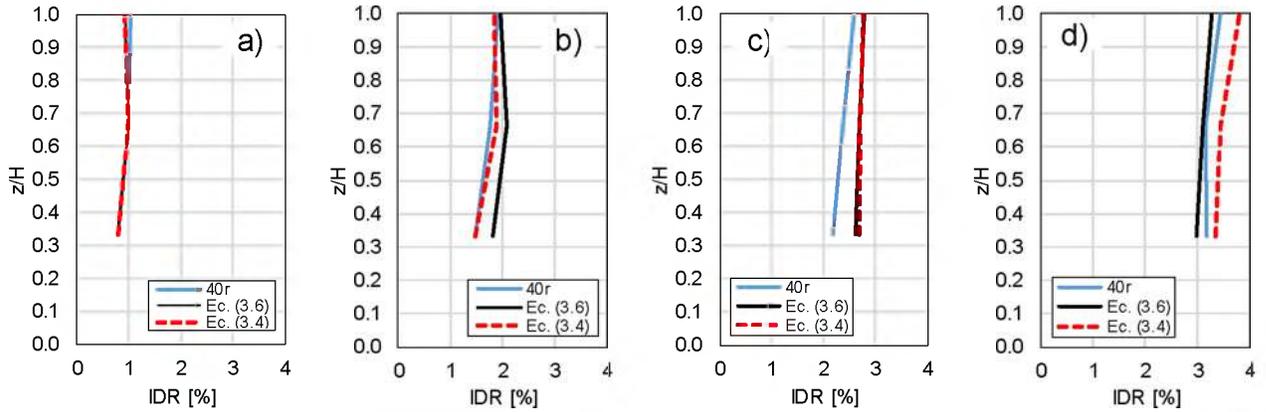


Figura C.17 Edificio de 3 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

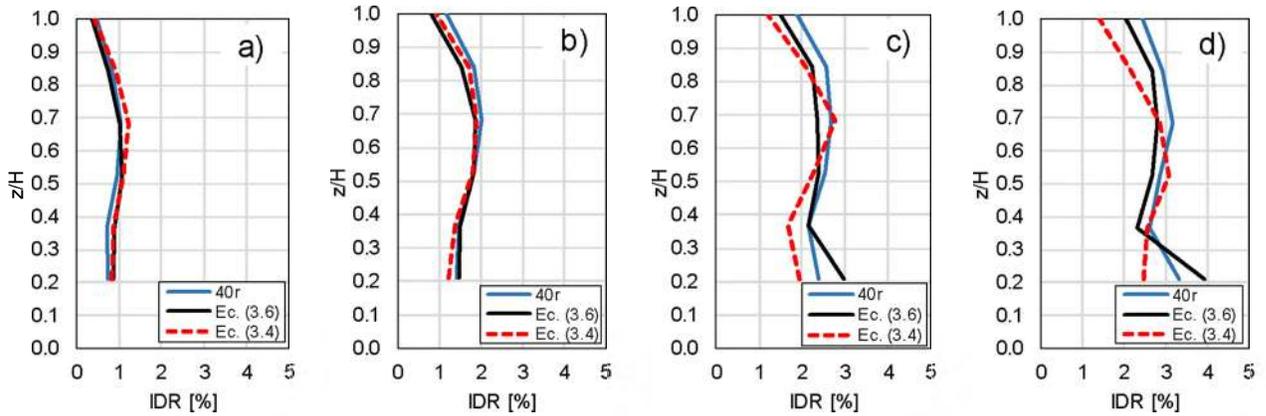


Figura C.18 Edificio de 6 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

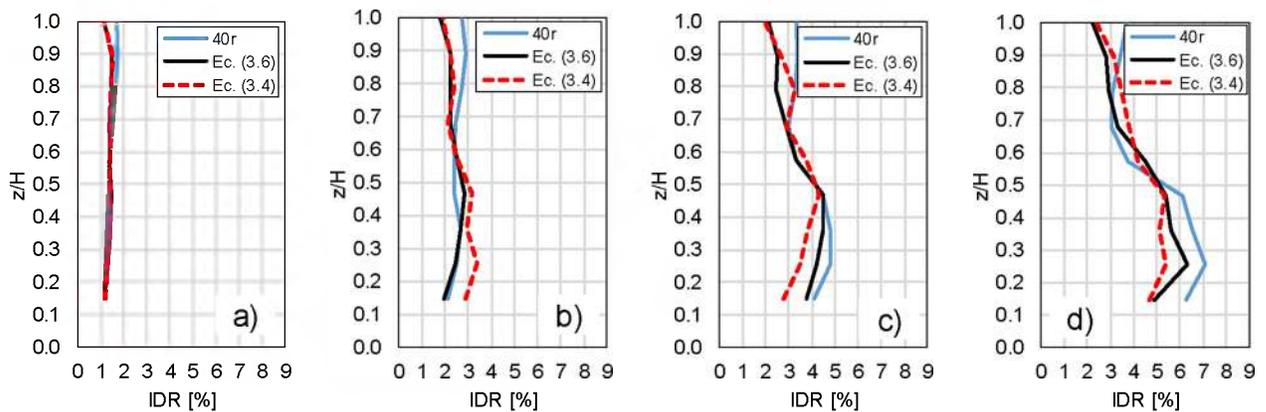


Figura C.19 Edificio de 9 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

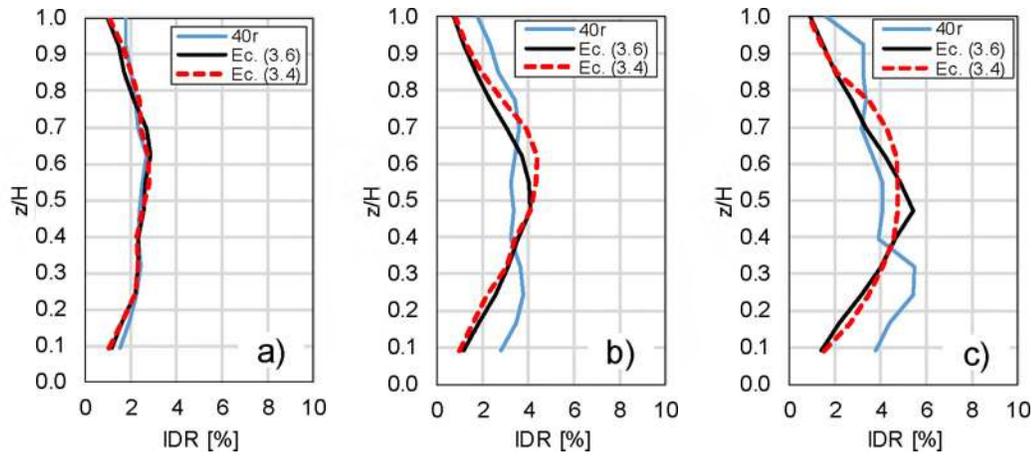


Figura C.20 Edificio de 13 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$ y c) $0.9g$

C.7.4 Perfiles de IDR de los edificios con marco exterior e interior

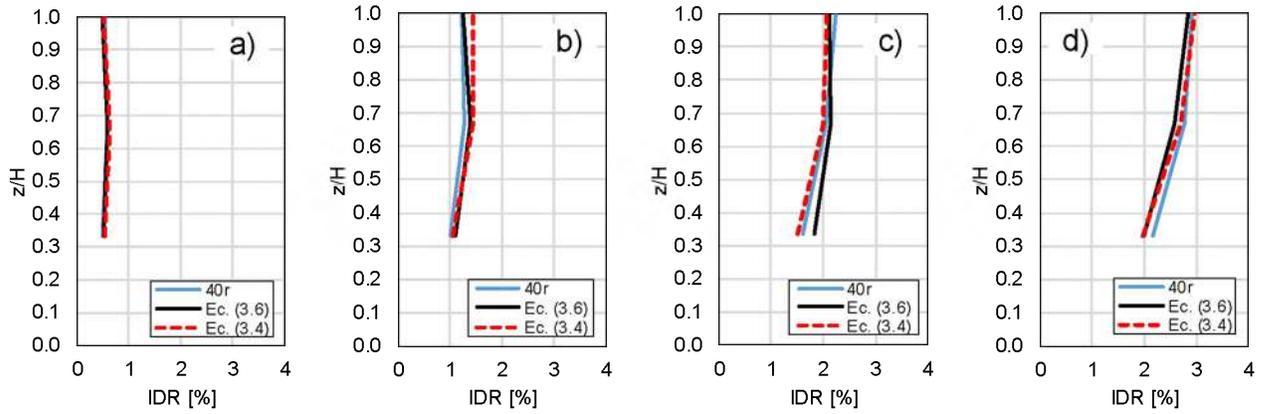


Figura C.21 Edificio de 3 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

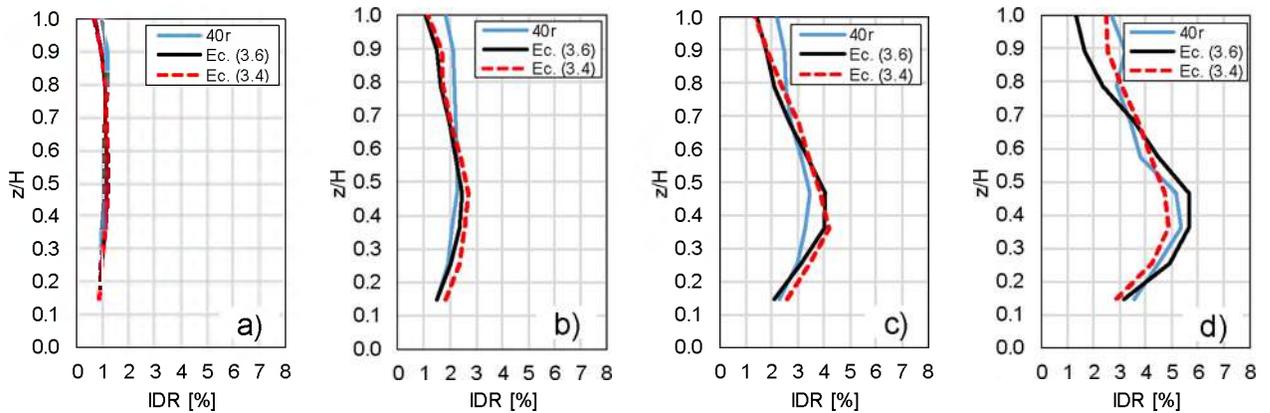


Figura C.22 Edificio de 6 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

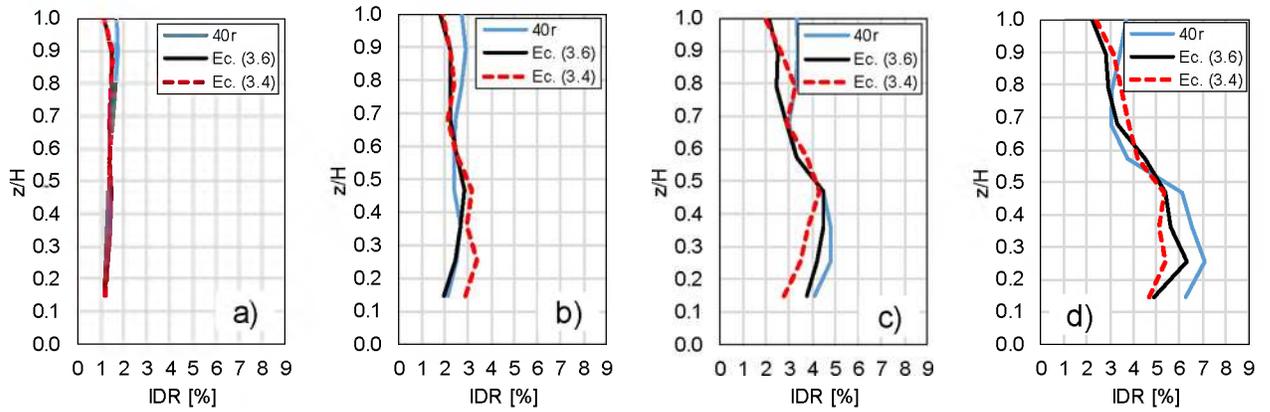


Figura C.23 Edificio de 9 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$, c) $0.9g$ y d) $1.2g$

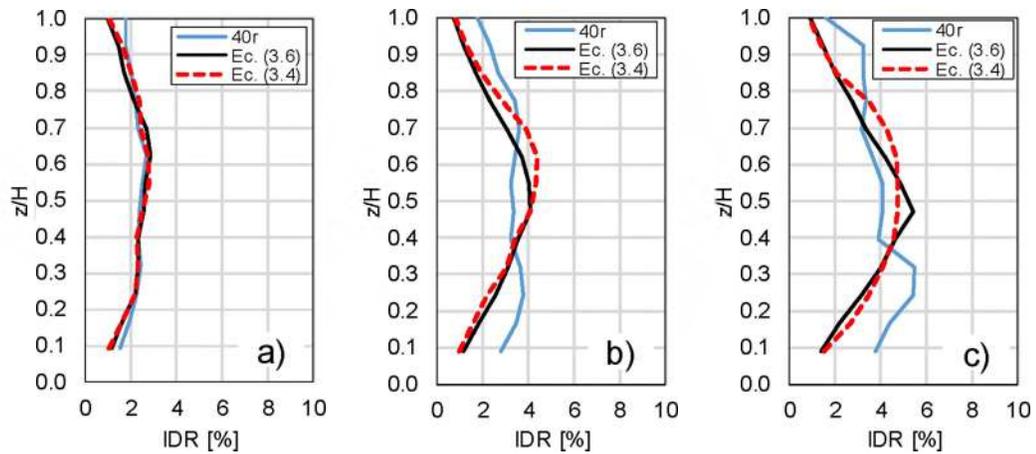


Figura C.24 Edificio de 13 niveles con $M.I.S_a(T_1)$: a) $0.3g$, b) $0.6g$ y c) $0.9g$

C.7.5 Predicción de $RIDR_{max}$ e IDR_{max}

- Ecuaciones para determinar el error medio estándar (EMS) [Adaptado de Ruiz-Garcia y Chora (2014)]

$$EMS(\%) = \sqrt{\frac{1}{n_r} \sum_{i=1}^{n_r} (RIDR_{max,PE} - RIDR_{max,ANLHT})^2} \quad \text{Ec. (C.1)}$$

$$EMS(\%) = \sqrt{\frac{1}{n_r} \sum_{i=1}^{n_r} (IDR_{max,PE} - IDR_{max,ANLHT})^2} \quad \text{Ec. (C.2)}$$

donde:

n_r : Numero de registros sísmicos.

$RIDR_{max,PE}$ y $IDR_{max,PE}$: respuesta en distorsión permanente y máxima de entrepiso de los edificios considerados dentro de este estudio ante los pulsos equivalentes.

$RIDR_{max,ANLHT}$ y $IDR_{max,ANLHT}$: respuesta en distorsión permanente y máxima de entrepiso de los edificios considerados dentro de este estudio ante los 40 movimientos del terreno.

C.7.5.1 Predicción de $RIDR_{max}$

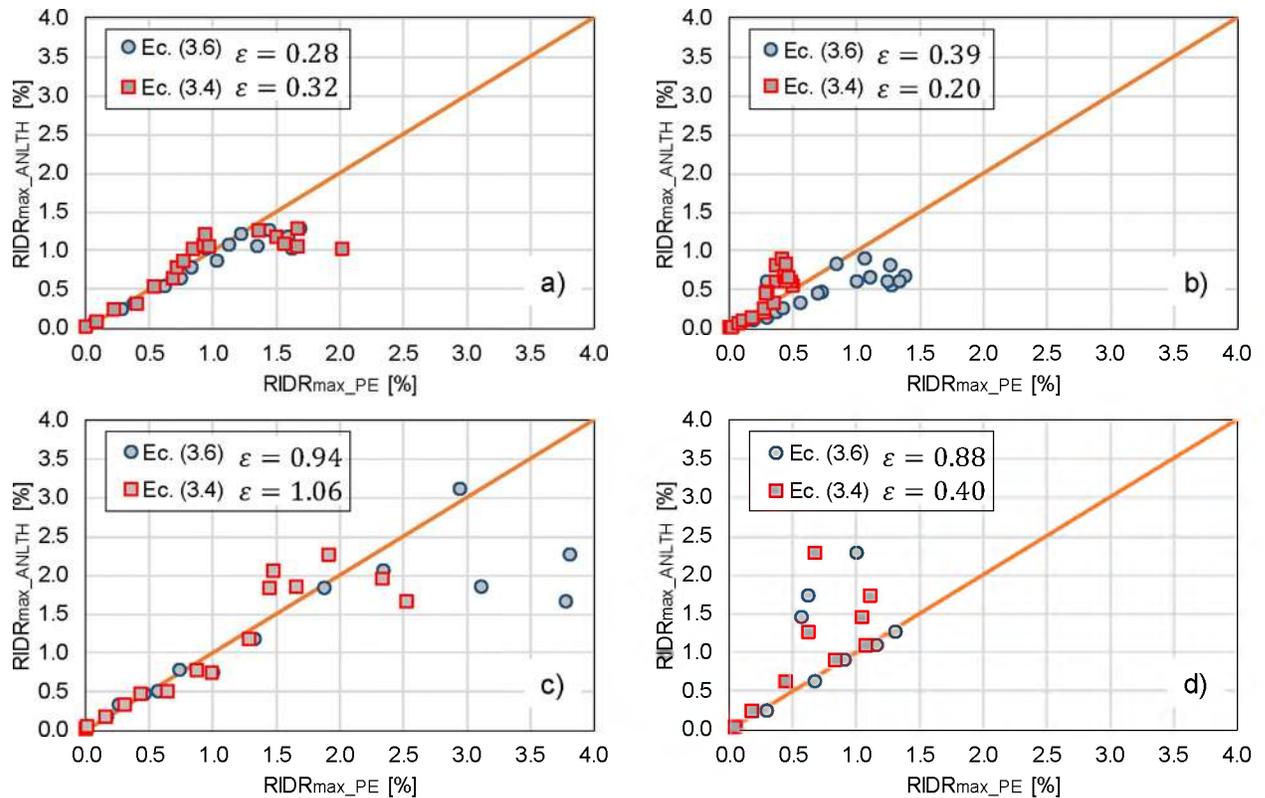


Figura C.25 Predicción distorsión permanente de entrepiso para los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

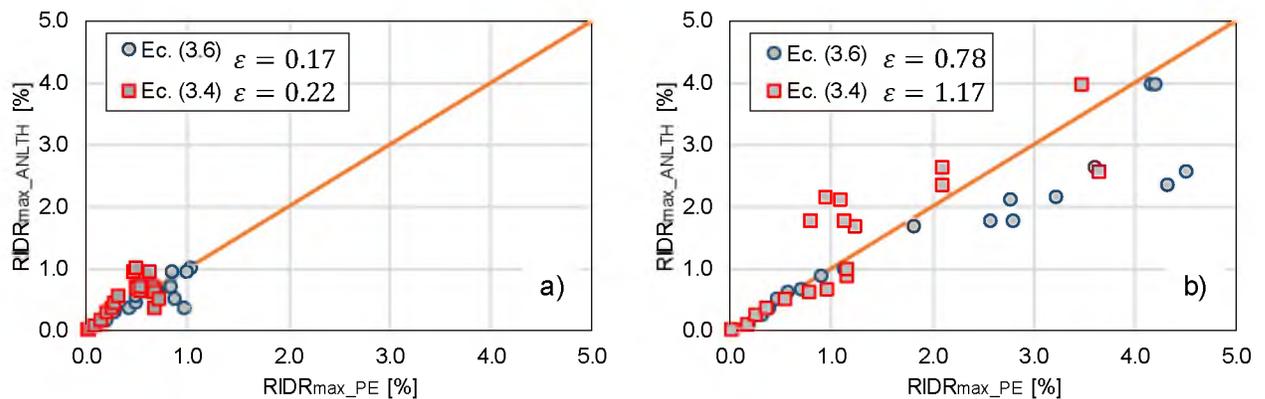


Figura C.25 Predicción distorsión permanente de entrepiso para los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N.

C.7.5.2 Predicción de IDR_{max}

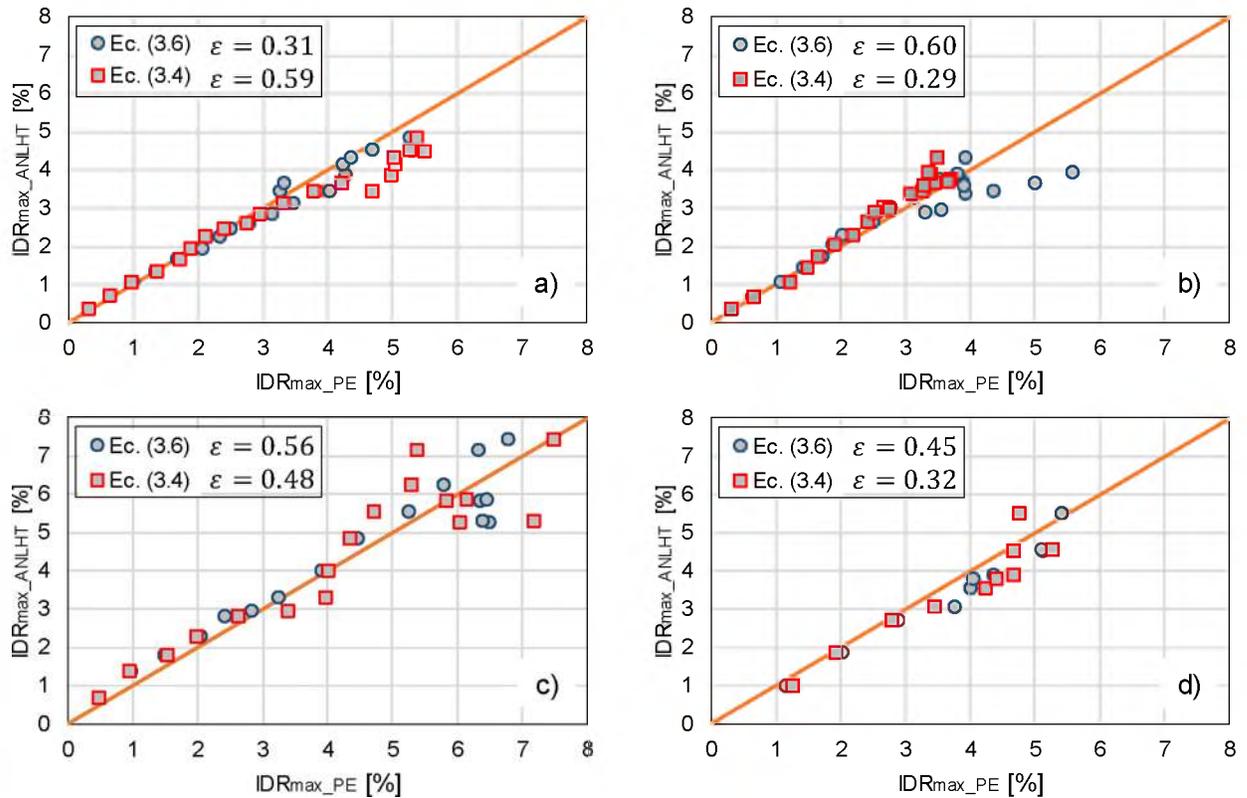


Figura C.26 Predicción distorsión máxima de entrepiso para los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

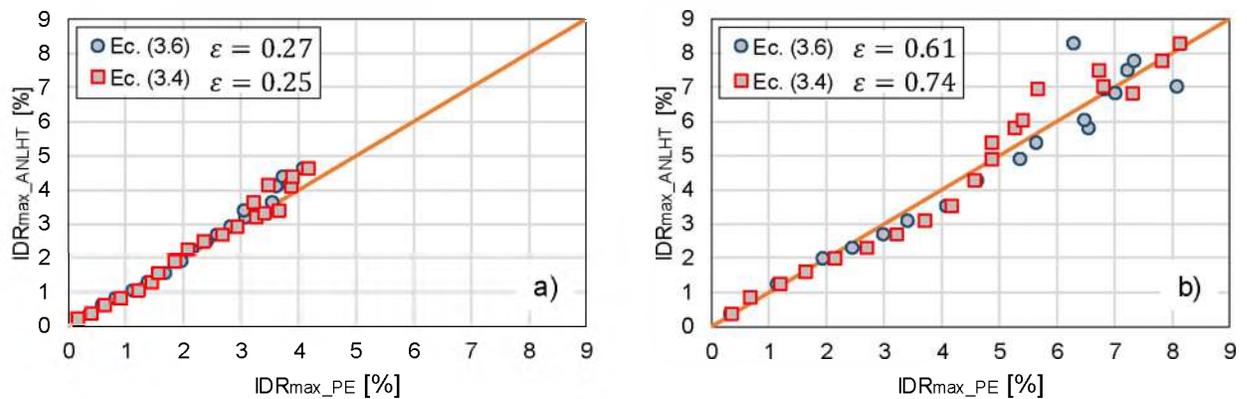


Figura C.27 Predicción distorsión máxima de entrepiso para los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N.

C.7.6 Predicción de $RIDR_{max}$ e IDR_{max} para medidas de intensidad $S_a(T_1) \leq 1.0g$

C.7.6.1 Predicción de $RIDR_{max}$

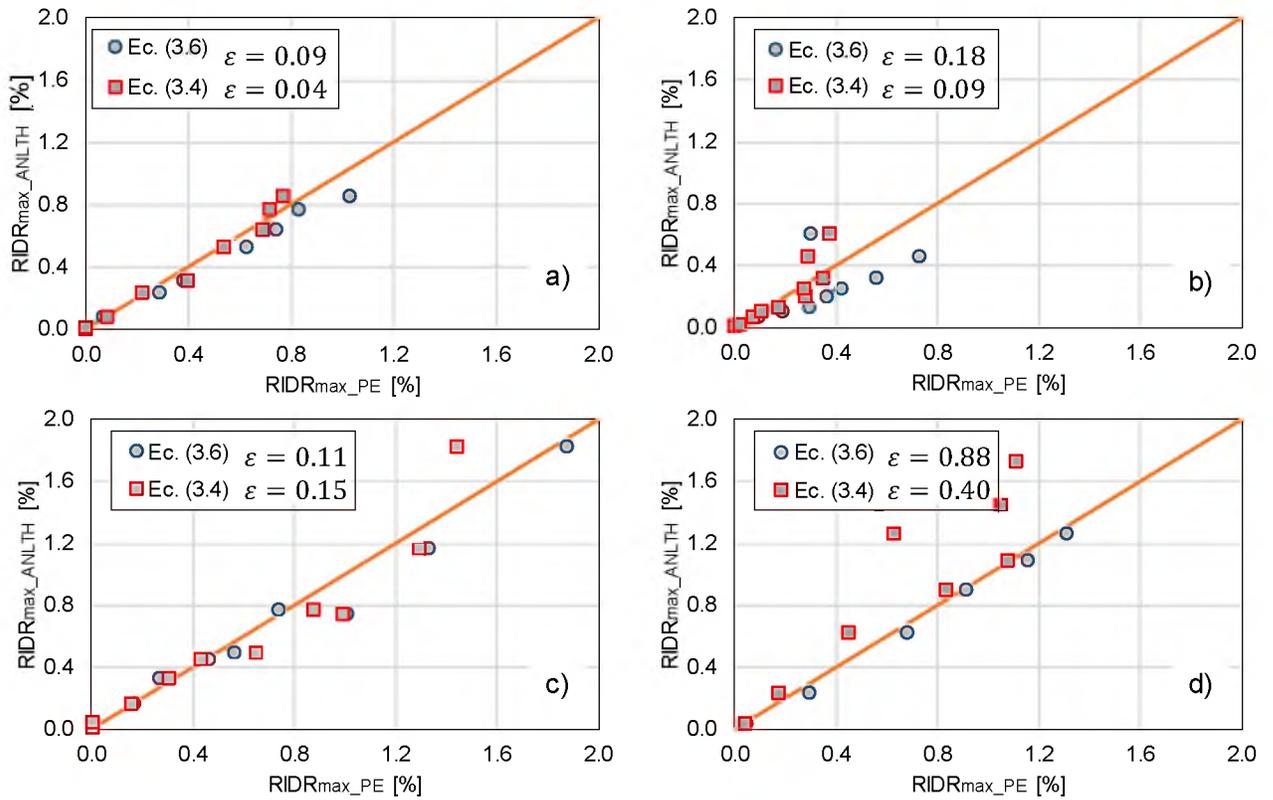


Figura C.28 Predicción distorsión permanente de entrepiso para los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

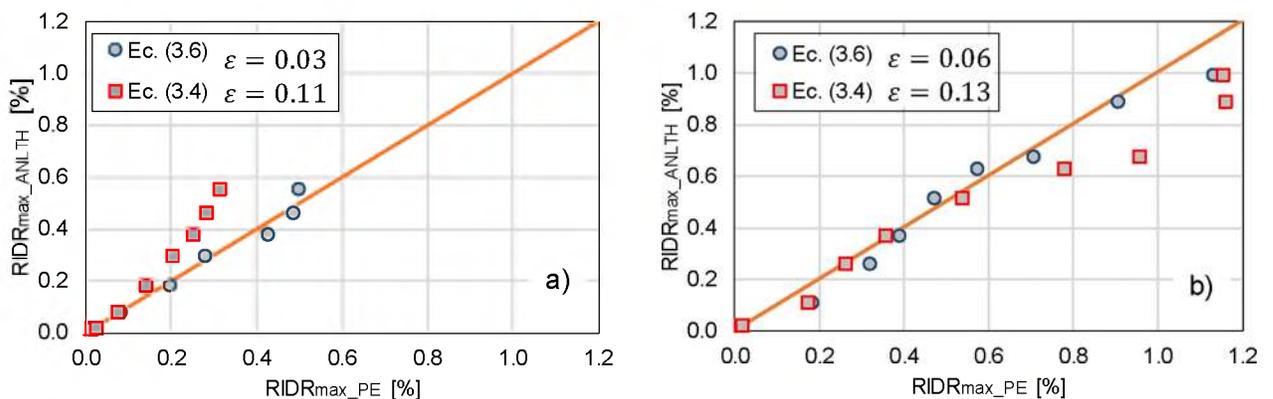


Figura C.29 Predicción distorsión permanente de entrepiso para los edificios con marco exterior e interior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

C.7.6.2 Predicción de IDR_{max}

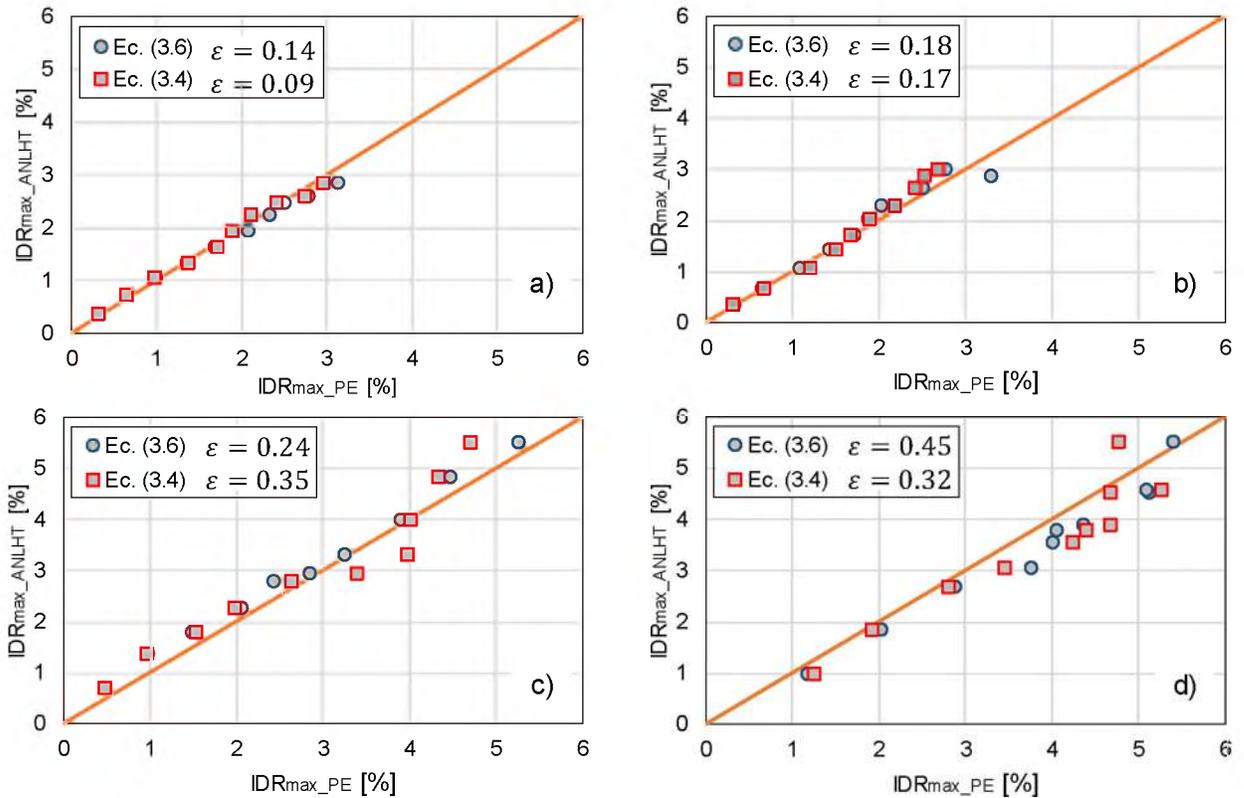


Figura C.30 Predicción distorsión máxima de entrepiso para los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

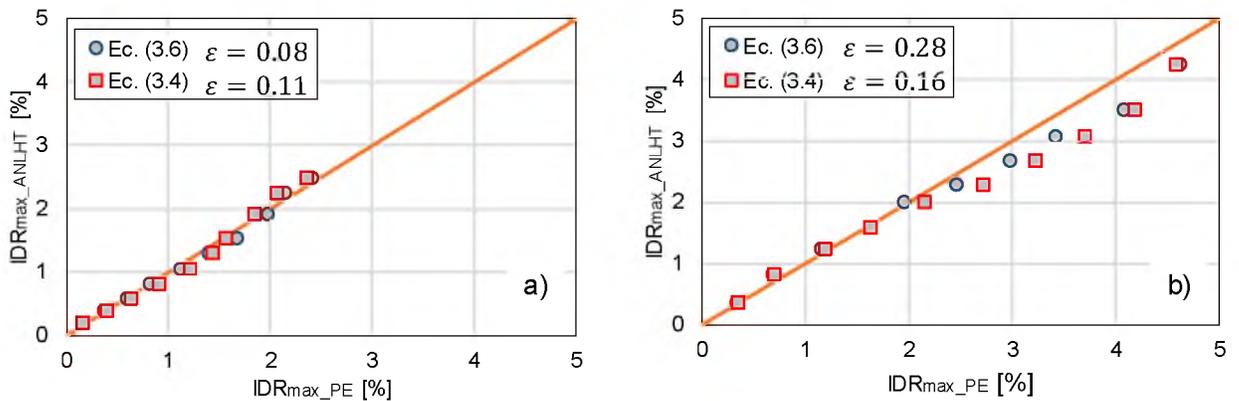


Figura C.30 Predicción distorsión máxima de entrepiso para los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N

Funciones de recuperación

D.1 Conceptos, costos y rendimientos [catálogo CMIC (2019)]

<i>Reparación EDO (cosmética)</i>											
clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U	Importe	Rendimiento	J. de grupo	N. grupos	D. nominal	D. final	
TR0.1	Pintura de esmalte 100 de la marca Comex, en estructura de perfiles pesados, aplicada con compresora, a dos manos, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	719.28	\$5.03	\$3,617.98	400.00kg/jor	1.80	1.00	1.80	1.8	
TR0.2	Pintura primer sobre superficies metálicas a dos manos, aplicada con compresora, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	8.06	\$77.37	\$623.60	30.00m2/jor	0.27	1.00	0.27	0.27	
TR0.3	Desmontaje de placas de falso plafón de 0.60X0.60 m, y suspensión, incluye: acarreo hasta el almacén, andamios, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$37.27	\$87.96	40.00m2/jor	0.06	1.00	0.06	0.06	
TR0.4	Falso plafón modular de 61x61 cm. modelo cortega con suspensión visible de la marca armstrong, incluye: materiales, trazo, soportaría, suspensión, tornillos, taquetes, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$571.11	\$1,347.82	10.00m2/jor	0.24	1.00	0.24	0.24	
					Total	\$5,677.36				Hrs	3hrs

Reparación ED1.1 (fluencia o pandeo en viga)											
clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U	Importe	Rendimiento	J. de grupo	N. grupos	D. nominal	D. final	
TR0.1	Pintura de esmalte 100 de la marca Comex, en estructura de perfiles pesados, aplicada con compresora, a dos manos, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	719.28	\$5.03	\$3,617.98	400.00kg/jor	1.80	1.00	1.7982	1.80	
TR0.2	Pintura primer sobre superficies metálicas a dos manos, aplicada con compresora, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	8.06	\$77.37	\$623.60	30.00m2/jor	0.27	1.00	0.2687	0.27	
TR0.3	Desmontaje de concreto de falso plafón de 0.60X0.60 m, y suspensión, incluye: acarreo hasta el almacén, andamios, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$37.27	\$87.96	40.00m2/jor	0.06	1.00	0.0590	0.06	
TR0.4	Falso plafón modular de 61x61 cm. modelo cortega con suspensión visible de la marca armstrong, incluye: materiales, trazo, soportaría, suspensión, tornillos, taquetes, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$571.11	\$1,347.82	10.00m2/jor	0.24	1.00	0.2360	0.24	
TR1.1	Demolición de concreto armado, con rompedora neumática, incluye: equipo de corte, rompedora, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m3	0.31	\$1,330.35	\$412.41	1.45m3/jor	0.21	1.00	0.2138	0.21	
TR1.2	Losacero cal. 18, armada con malla electrosoldada 6x6/10-10, con concreto premezclado estructural de F'c=250 kg/cm2, bombeado, incluye: conectores soldados, materiales, acarreo, cortes, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta	m2	2.36	\$784.86	\$1,852.27	100.00m2/jor	0.02	1.00	0.0236	0.02	
TR1.3	Demolición de muro 14 cm, de espesor, a mano con marro, incluye: cadenas, castillos y aplanado de mezcla por ambas caras, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m2	2.65	\$119.03	\$315.43	5.00m2/jor	0.53	1.00	0.5300	0.53	
TR1.4	Muro de 18 cm. de espesor a base de tabique rojo recocido de 14 cm, con cadenas y castillos de 15x20 cm, con aplanado acabado fino por ambas caras y acabado con pintura vinilica vinimex	m2	2.65	\$1,125.54	\$2,982.68	0.84m2/jor	3.15	1.00	3.1548	3.15	
TR1.5	Estructura metálica (placa a-36 pesada) incluye: materiales, acarreo, cortes, trazo, habilitado, soldadura, aplicación de primer anticorrosivo, montaje, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	246.61	\$45.49	\$11,218.29	150.00kg/jor	1.64	1.00	1.6441	1.64	
TR1.6	Enderezado de acero estructural (Vigas I.P.R. pesadas) con calor, Incluye: Mano de obra, material, equipo, herramientas y andamios.	kg	155.43	\$5.75	\$893.72	75.00kg/jor	2.07	1.00	2.0724	2.07	
TR1.7	Desmontaje de cancelería metálica en fachada, incluye: acarreo hasta el almacén de la obra, limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$90.55	\$479.92	16.00m2/jor	0.33	1.00	0.3313	0.33	
TR1.8	Desmontaje de cristales de fachada, utilizando hamaca hasta una altura de 12 m., incluye: limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta. (para este análisis, se considera que se cambiaran al menos 100 m2 por lo que el costo de montaje y desmontaje de hamaca se dividirá entre 100 m2)	m2	5.3	\$271.60	\$1,439.48	12.00m2/jor	0.44	1.00	0.4417	0.44	
TR1.9	Cancelería "fachada integral" a base de perfiles de aluminio anodizado natural a cada 90 cm. en el sentido horizontal y a cada 1.60 m. en el sentido vertical, con cristal filtrazol de 6 mm. de espesor pegado con silicon, fijación a la estructura con dos angulo de aluminio de 3"x3/16" y dos taquetes de expansión de 1/2" en cada uno de cada nivel en todos los perfiles verticales, incluye: materiales, acarreo, cortes, desperdicios, trazo, elevación, fijación, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$2,332.84	\$12,364.05	3.00m2/jor	1.77	1.00	1.7667	1.77	
					Total	\$37,635.60				Hrs	13hrs

Reparación ED1.2 (fluencia o pandeo en viga y columna)											
clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U	Importe	Rendimiento	J. de grupo	N. grupos	D. nominal	D. final	
TR0.1	Pintura de esmalte 100 de la marca Comex, en estructura de perfiles pesados, aplicada con compresora, a dos manos, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	719.28	\$5.03	\$3,617.98	400.00kg/jor	1.80	1.00	1.7982	1.80	
TR0.2	Pintura primer sobre superficies metálicas a dos manos, aplicada con compresora, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	8.06	\$77.37	\$623.60	30.00m2/jor	0.27	1.00	0.2687	0.27	
TR0.3	Desmontaje de concreto de falso plafond de 0.60X0.60 m, y susandámios, incluye: acarreo hasta el almacén, andamios, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$37.27	\$87.96	40.00m2/jor	0.06	1.00	0.0590	0.06	
TR0.4	Falso plafón modular de 61x61 cm. modelo cortega con suspension visible de la marca armstrong, incluye: materiales, trazo, soportaría, suspensión, tornillos, taquetes, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$571.11	\$1,347.82	10.00m2/jor	0.24	1.00	0.2360	0.24	
TR1.1	Demolición de concreto armado, con rompedora neumática, incluye: equipo de corte, rompedora, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m3	0.31	\$1,330.35	\$412.41	1.45m3/jor	0.21	1.00	0.2138	0.21	
TR1.2	Losacero cal. 18, armada con malla electrosoldada 6x6/10-10, con concreto premezclado estructural de F'c=250 kg/cm2, bombeado, incluye: conectores soldados, materiales, acarreo, cortes, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta	m2	2.36	\$784.86	\$1,852.27	100.00m2/jor	0.02	1.00	0.0236	0.02	
TR1.3	Demolición de muro 14 cm, de espesor, a mano con marro, incluye: cadenas, castillos y aplanado de mezcla por ambas caras, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m2	2.65	\$119.03	\$315.43	5.00m2/jor	0.53	1.00	0.5300	0.53	
TR1.4	Muro de 18 cm. de espesor a base de tabique rojo recocido de 14 cm, con cadenas y castillos de 15x20 cm, con aplanado acabado fino por ambas caras y acabado con pintura vinilica vinimex	m2	2.65	\$1,125.54	\$2,982.68	0.84m2/jor	3.15	1.00	3.1548	3.15	
TR1.5	Estructura metálica (placa a-36 pesada) incluye: materiales, acarreo, cortes, trazo, habilitado, soldadura, aplicación de primer anticorrosivo, montaje, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	580.46	\$45.49	\$26,405.13	150.00kg/jor	3.87	1.00	3.8697	3.87	
TR1.6	Enderezado de acero estructural (Vigas I.P.R. pesadas) con calor, Incluye: Mano de obra, material, equipo, herramientas y andamios.	kg	458.94	\$5.75	\$2,638.91	75.00kg/jor	6.12	1.00	6.1192	6.12	
TR1.7	Desmontaje de cancelería metálica en fachada, incluye: acarreo hasta el almacén de la obra, limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$90.55	\$479.92	16.00m2/jor	0.33	1.00	0.3313	0.33	
TR1.8	Desmontaje de cristales de fachada, utilizando hamaca hasta una altura de 12 m., incluye: limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta. (para este análisis, se considera que se cambiaran al menos 100 m2 por lo que el costo de montaje y desmontaje de hamaca se dividirá entre 100 m2)	m2	5.3	\$271.60	\$1,439.48	12.00m2/jor	0.44	1.00	0.4417	0.44	
TR1.9	Cancelería "fachada integral" a base de perfiles de aluminio anodizado natural a cada 90 cm. en el sentido horizontal y a cada 1.60 m. en el sentido vertical, con cristal filtrazol de 6 mm. de espesor pegado con silicon, fijación a la estructura con dos angulo de aluminio de 3"x3/16" y dos taquetes de expansión de 1/2" en cada uno de cada nivel en todos los perfiles verticales, incluye: materiales, acarreso, cortes, desperdicios, trazo, elevación, fijación, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$2,332.84	\$12,364.05	3.00m2/jor	1.77	1.00	1.7667	1.77	
					Total	\$54,567.62				Hrs	19hrs

Reparación ED2.1 (fractura en viga y fluencia en columna)											
clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U	Importe	Rendimiento	I. de grupo	I. grupo	D. nomina	D. final	
TR0.1	Pintura de esmalte 100 de la marca Comex, en estructura de perfiles pesados, aplicada con compresora, a dos manos, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	719.28	\$5.03	\$3,617.98	400.00kg/jor	1.80	1.00	1.7982	1.80	
TR0.2	Pintura primer sobre superficies metálicas a dos manos, aplicada con compresora, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	8.06	\$77.37	\$623.60	30.00m2/jor	0.27	1.00	0.2687	0.27	
TR0.3	Desmontaje de placas de falso plafond de 0.60X0.60 m, y suspensión, incluye: acarreo hasta el almacén, andamios, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$37.27	\$87.96	40.00m2/jor	0.06	1.00	0.0590	0.06	
TR0.4	Falso plafón modular de 61x61 cm. modelo cortega con suspensión visible de la marca armstrong, incluye: materiales, trazo, soportaría, suspensión, tornillos, taquetes, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$571.11	\$1,347.82	10.00m2/jor	0.24	1.00	0.2360	0.24	
TR1.1	Demolición de concreto armado, con rompedora neumática, incluye: equipo de corte, rompedora, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m3	0.31	\$1,330.35	\$412.41	1.45m3/jor	0.21	1.00	0.2138	0.21	
TR1.2	Losacero cal 18, armada con malla electrosoldada 6x6/10-10, con concreto premezclado estructural de F'c=250 kg/cm2, bombeado, incluye: conectores soldados, materiales, acarreo, cortes, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta	m2	2.36	\$784.86	\$1,852.27	100.00m2/jor	0.02	1.00	0.0236	0.02	
TR1.3	Demolición de muro 14 cm, de espesor, a mano con marro, incluye: cadenas, castillos y aplanado de mezcla por ambas caras, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m2	2.65	\$119.03	\$315.43	5.00m2/jor	0.53	1.00	0.5300	0.53	
TR1.4	Muro de 18 cm. de espesor a base de tabique rojo recocido de 14 cm, con cadenas y castillos de 15x20 cm, con aplanado acabado fino por ambas caras y acabado con pintura vinilica vinimex	m2	2.65	\$1,125.54	\$2,982.68	0.84m2/jor	3.15	1.00	3.1548	3.15	
TR1.5	Estructura metálica (placa a-36 pesada) incluye: materiales, acarreo, cortes, trazo, habilitado, soldadura, aplicación de primer anticorrosivo, montaje, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	580.46	\$45.49	\$26,405.13	75.00kg/jor	7.739467	1.00	7.73947	7.74	
TR1.6	Enderizado de acero estructural (Vigas I.P.R. pesadas) con calor, incluye: Mano de obra, material, equipo, herramientas y andamios.	kg	303.51	\$5.75	\$1,745.18	75.00kg/jor	4.05	1.00	4.0468	4.05	
TR2.1	Desmontaje de estructura metálica pesada con uso de grúa, hasta una altura de 6.00 m., incluye: cortes con equipo oxi-butano, descenso, acarreo hasta el almacén del sitio, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	246.61	\$7.50	1849.575	40.00kg/jor	6.16525	1.00	6.16525	6.17	
TR1.7	Desmontaje de canceleria metálica en fachada, incluye: acarreo hasta el almacén de la obra, limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$90.55	\$479.92	16.00m2/jor	0.33	1.00	0.3313	0.33	
TR1.8	Desmontaje de cristales de fachada, utilizando hamaca hasta una altura de 12 m., incluye: limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta. (para este análisis, se considera que se cambiaran al menos 100 m2 por lo que el costo de montaje y desmontaje de hamaca se dividirá entre 100 m2)	m2	5.3	\$271.60	\$1,439.48	12.00m2/jor	0.44	1.00	0.4417	0.44	
TR1.9	Canceleria "fachada integral" a base de perfiles de aluminio anodizado natural a cada 90 cm. en el sentido horizontal y a cada 1.60 m. en el sentido vertical, con cristal filtrazol de 6 mm. de espesor pegado con silicon, fijación a la estructura con dos ángulo de aluminio de 3"x3/16" y dos taquetes de expansión de 1/2" en cada uno de cada nivel en todos los perfiles verticales, incluye: materiales, acarreso, cortes, desperdicios, trazo, elevación, fijación, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$2,332.84	\$12,364.05	3.00m2/jor	1.77	1.00	1.7667	1.77	
					Total	\$55,523.48				Hrs	27hrs

Reparación ED2.2 (fractura en viga y columna)											
clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U	Importe	Rendimiento	J. de grupo	N. grupos	D. nominal	D. final	
TR0.1	Pintura de esmalte 100 de la marca Comex, en estructura de perfiles pesados, aplicada con compresora, a dos manos, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	719.28	\$5.03	\$3,617.98	400.00kg/jor	1.80	1.00	1.7982	1.80	
TR0.2	Pintura primer sobre superficies metálicas a dos manos, aplicada con compresora, incluye: preparación de la superficie, materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	8.06	\$77.37	\$623.60	30.00m2/jor	0.27	1.00	0.2687	0.27	
TR0.3	Desmontaje de placas de falso plafond de 0.60X0.60 m, y susandámios, incluye: acarreo hasta el almacén, andamios, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$37.27	\$87.96	40.00m2/jor	0.06	1.00	0.0590	0.06	
TR0.4	Falso plafón modular de 61x61 cm. modelo cortega con suspension visible de la marca armstrong, incluye: materiales, trazo, soportaría, suspensión, tornillos, taquetes, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	2.36	\$571.11	\$1,347.82	10.00m2/jor	0.24	1.00	0.2360	0.24	
TR1.1	Demolición de concreto armado, con rompedora neumática, incluye: equipo de corte, rompedora, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m3	0.31	\$1,330.35	\$412.41	1.45m3/jor	0.21	1.00	0.2138	0.21	
TR1.2	Losacero cal. 18, armada con malla electrosoldada 6x6/10-10, con concreto premezclado estructural de F'c=250 kg/cm2, bombeado, incluye: conectores soldados, materiales, acarreo, cortes, desperdicios, mano de obra, equipo y herramienta	m2	2.36	\$784.86	\$1,852.27	100.00m2/jor	0.02	1.00	0.0236	0.02	
TR1.3	Demolición de muro 14 cm, de espesor, a mano con marro, incluye: cadenas, castillos y aplanado de mezcla por ambas caras, mano de obra, andamios, equipo y herramienta.	m2	2.65	\$119.03	\$315.43	5.00m2/jor	0.53	1.00	0.5300	0.53	
TR1.4	Muro de 18 cm. de espesor a base de tabique rojo recocido de 14 cm, con cadenas y castillos de 15x20 cm, con aplanado acabado fino por ambas caras y acabado con pintura vinilica vinimex	m2	2.65	\$1,125.54	\$2,982.68	0.84m2/jor	3.15	1.00	3.1548	3.15	
TR1.5	Estructura metálica (placa a-36 pesada) incluye: materiales, acarreo, cortes, trazo, habilitado, soldadura, aplicación de primer anticorrosivo, montaje, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	719.68	\$45.49	\$32,738.24	75.00kg/jor	9.595733	1.00	9.59573	9.6	
TR2.1	Desmontaje de estructura metálica pesada con uso de grúa, hasta una altura de 6.00 m., incluye: cortes con equipo oxi-butano, descenso, acarreo hasta el almacén del sitio, mano de obra, equipo y herramienta.	kg	719.68	\$7.50	5397.6	40.00kg/jor	17.992	1.00	17.992	17.99	
TR1.7	Desmontaje de canceleria metálica en fachada, incluye: acarreo hasta el almacén de la obra, limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$90.55	\$479.92	16.00m2/jor	0.33	1.00	0.3313	0.33	
TR1.8	Desmontaje de cristales de fachada, utilizando hamaca hasta una altura de 12 m., incluye: limpieza de los perfiles, mano de obra, equipo y herramienta. (para este análisis, se considera que se cambiaran al menos 100 m2 por lo que el costo de montaje y desmontaje de hamaca se dividirá entre 100 m2)	m2	5.3	\$271.60	\$1,439.48	12.00m2/jor	0.44	1.00	0.4417	0.44	
TR1.9	Canceleria "fachada integral" a base de perfiles de aluminio anodizado natural a cada 90 cm. en el sentido horizontal y a cada 1.60 m. en el sentido vertical, con cristal filtrazol de 6 mm. de espesor pegado con silicon, fijación a la estructura con dos angulo de aluminio de 3"x3/16" y dos taquetes de expansión de 1/2" en cada uno de cada nivel en todos los perfiles verticales, incluye: materiales, acarreso, cortes, desperdicios, trazo, elevación, fijación, mano de obra, equipo y herramienta.	m2	5.3	\$2,332.84	\$12,364.05	3.00m2/jor	1.77	1.00	1.7667	1.77	
					Total	\$63,659.44				Hrs	36hrs

Predicción de $RIDR_{max}$ e IDR_{max}

E.1 ANLHT respuestas de los edificios ante los 40 registros de fuente cercana

Tabla E.1 Registros que generaron distorsiones máximas mayores al 10% y no formaron parte del análisis de cada uno de los edificios considerados dentro de este estudio (es decir, $IDR_{max} > 10\%$ se consideró un estado de colapso).

Modelo analítico	N. de Registros	Registros
3NmE	9	RRS, SCS, LEXD, LOSG, PCD, TAKA, JEN, KJM y SPV
3NmEI	6	RRS, SCS, LEXD, LOSG, PCD y JEN
6NmE	4	LEXD, LOSG, TAKA y JMA
9NmE	5	RRS, SCS, GOF, PCD y JEN
9NmEI	0	
13NmE	2	LEXD y LOSG

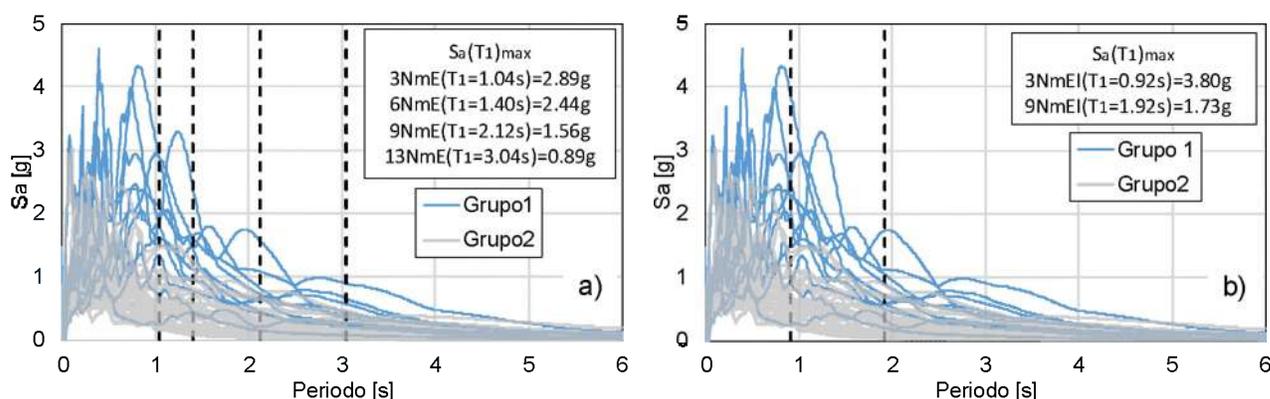


Figura E.1 Separación de los registros sísmicos de la tabla E.1 del grupo de 40 registros, grupo 1 (11 registros) y grupo 2 (29 registros) para los modelos analíticos: a) marco exterior y b) marco exterior e interior.

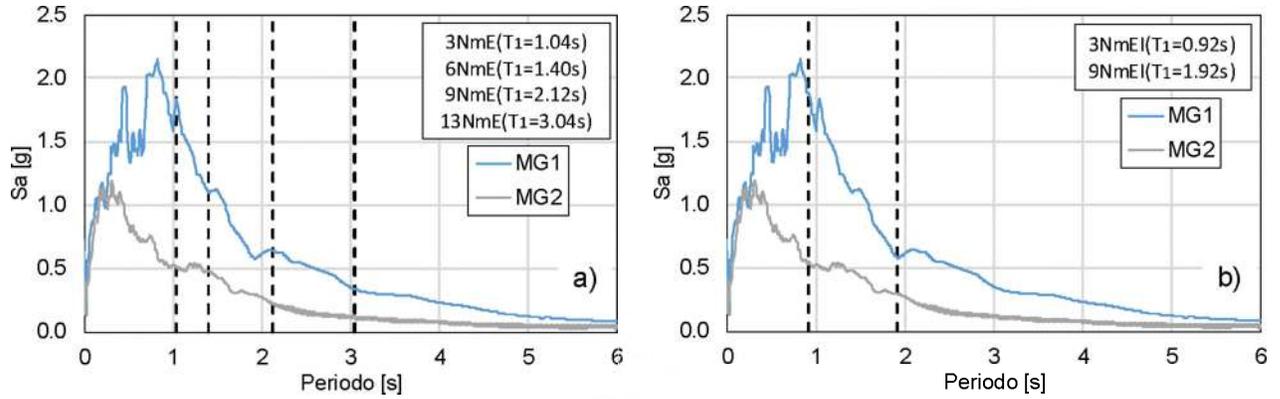


Figura E.2 Mediana de los espectros de respuesta grupos 1 y 2: a) mE y b) mEI

E.1.1 Perfiles de distorsión permanente de entrepiso

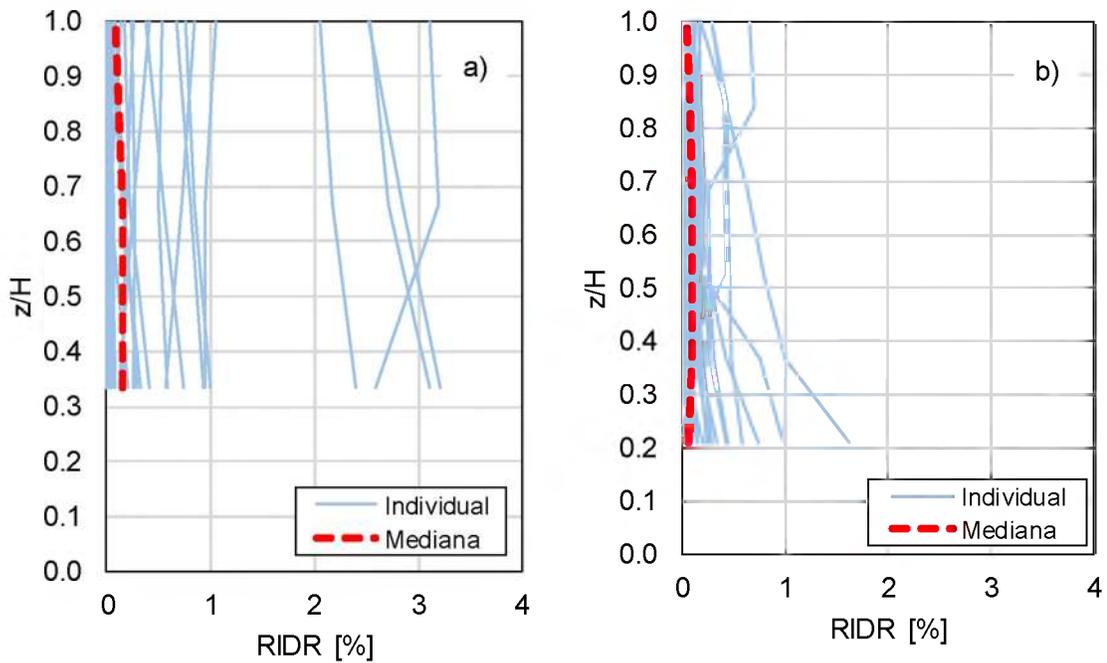


Figura E.3 Edificios con marco exterior: a) 3N y b) 6N.

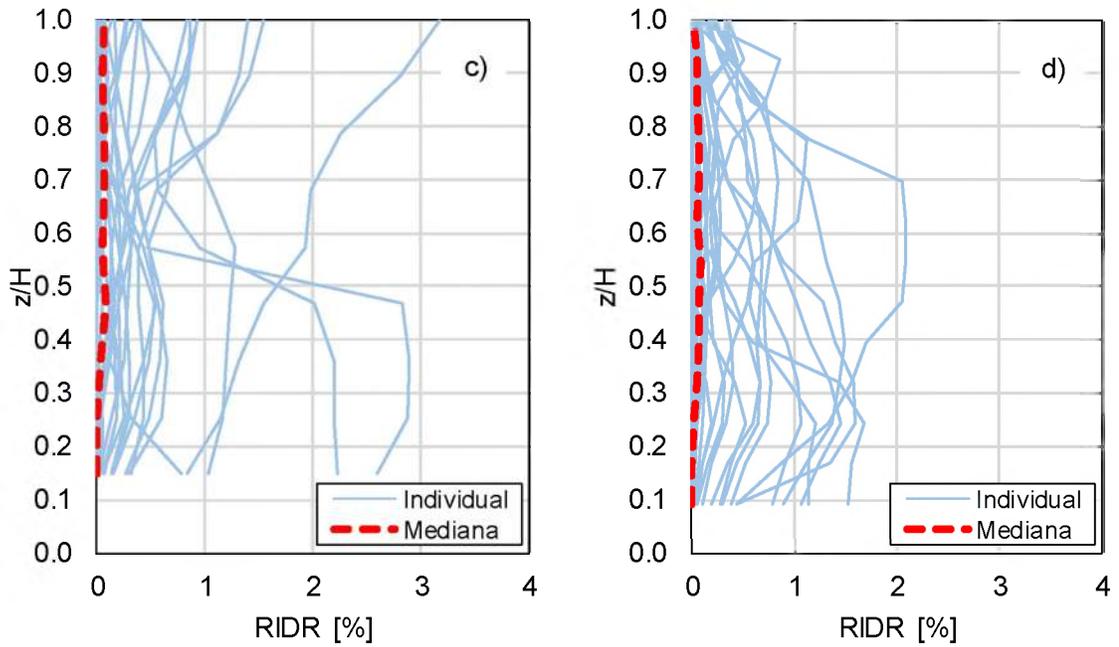


Figura E.3 continuación edificios con marco exterior: c) 9N y d) 13N.

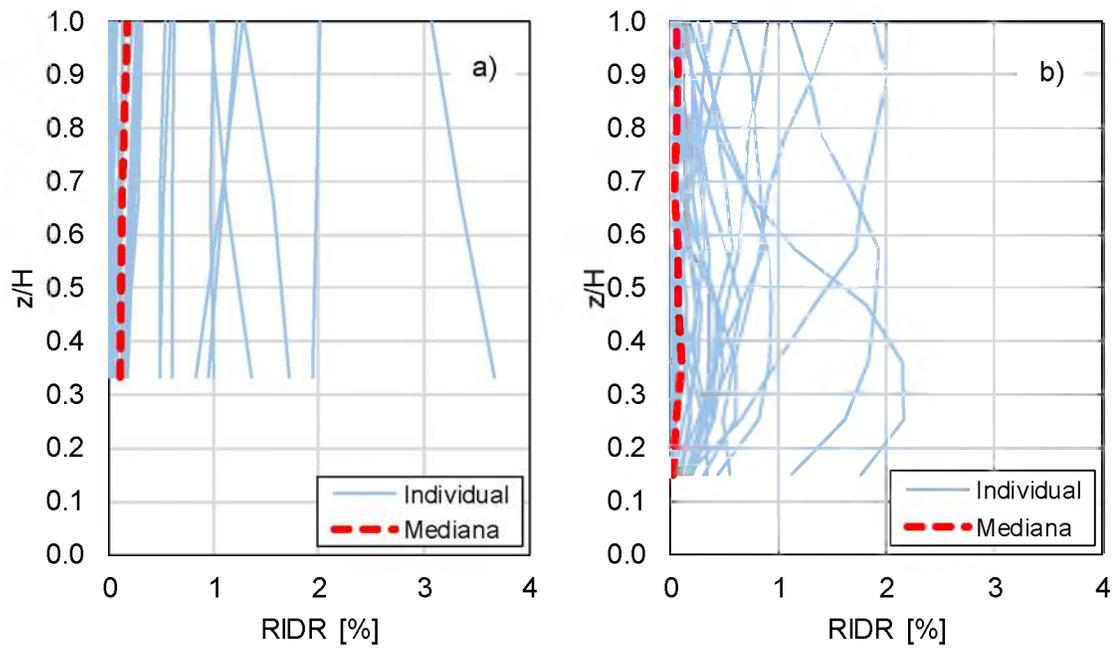


Figura E.4 Edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N.

E.1.2 Perfiles de distorsión máxima de entrepiso

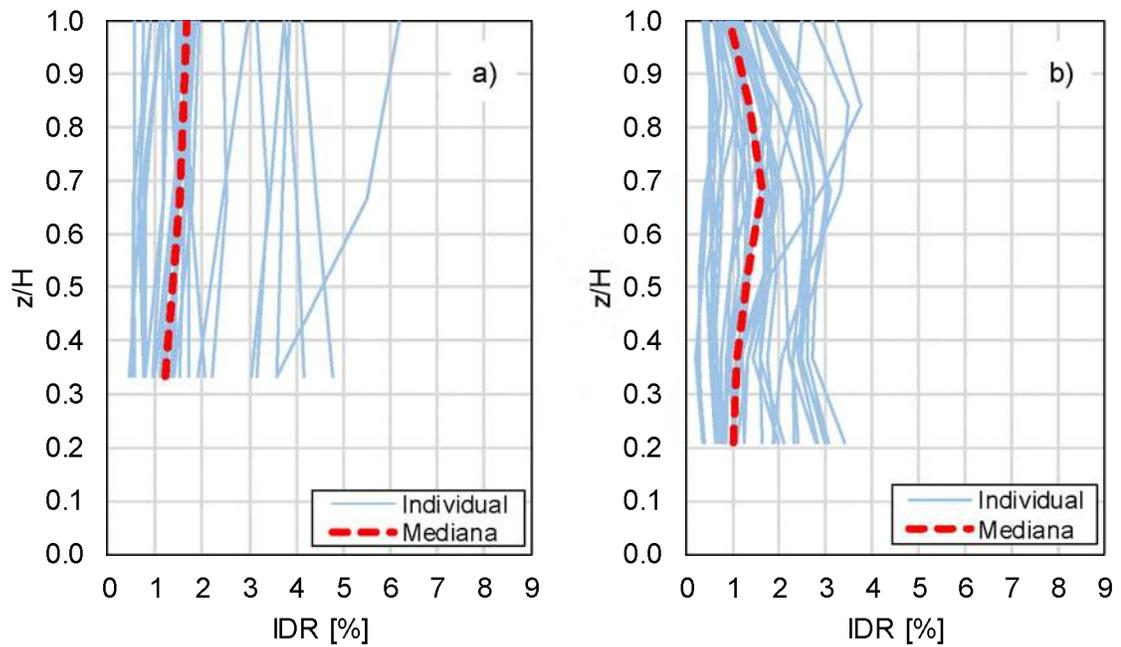


Figura E.5 Edificios con marco exterior: a) 3N y b) 6N.

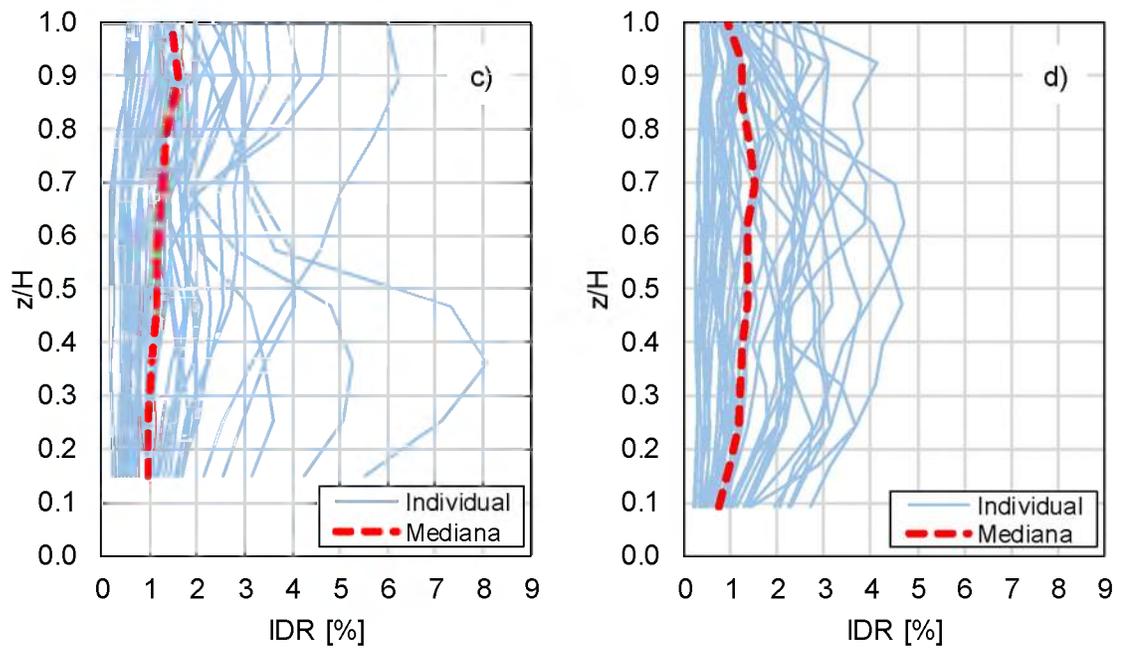


Figura E.6 continuación edificios con marco exterior: c) 9N y d) 13N.

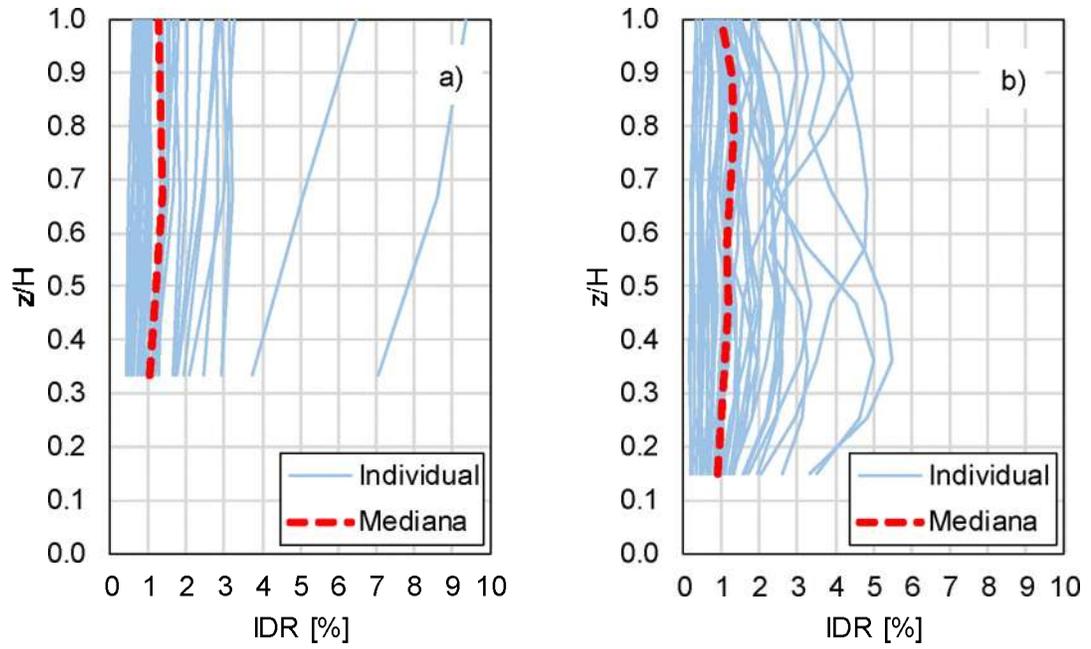


Figura E.7 Edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N.

E.2 Predicción de $RIDR_{max}$

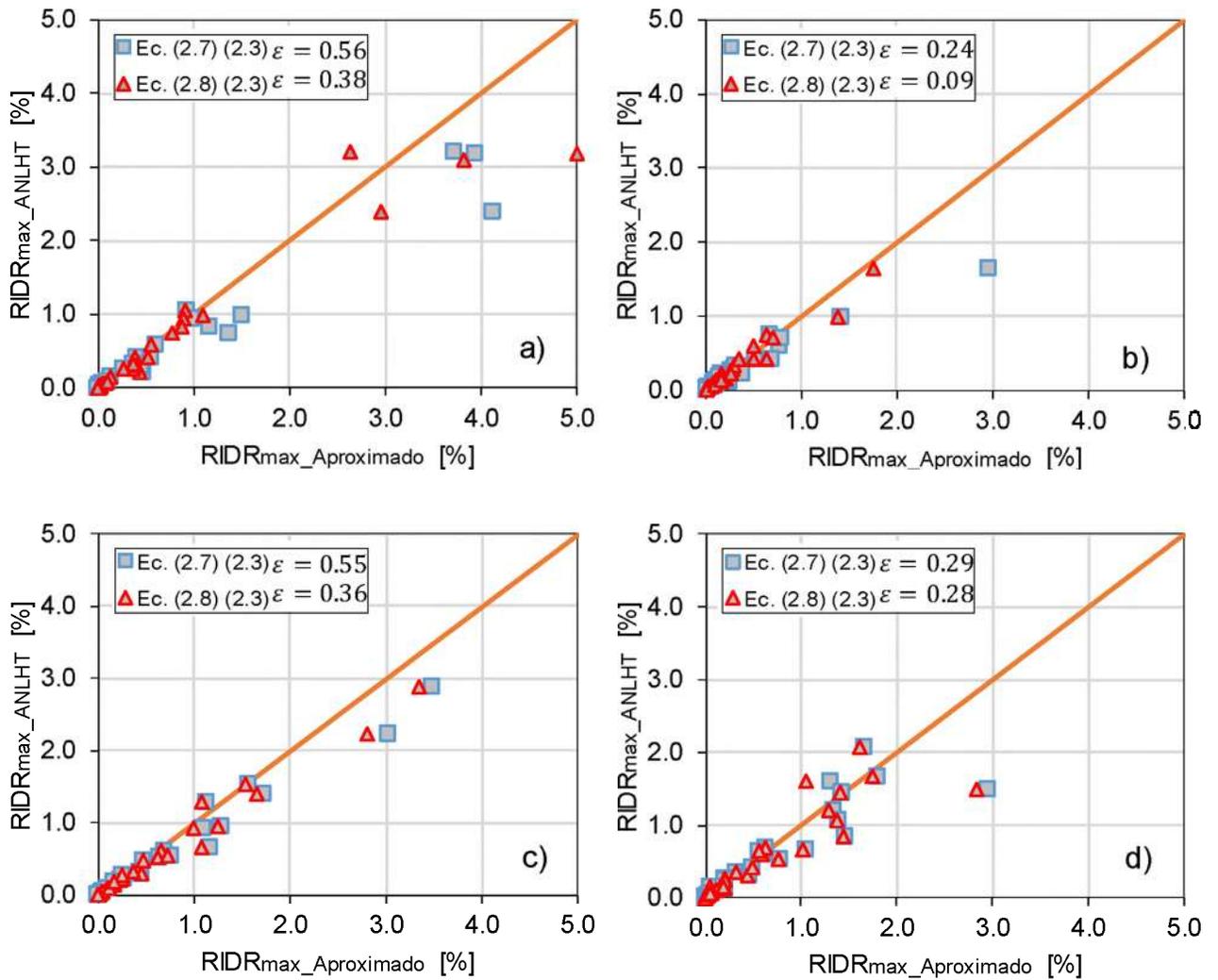


Figura E.8 Predicción de $RIDR_{max}$ para los edificios con marco exterior: a) 3N, b) 6N, c) 9N y d) 13N.

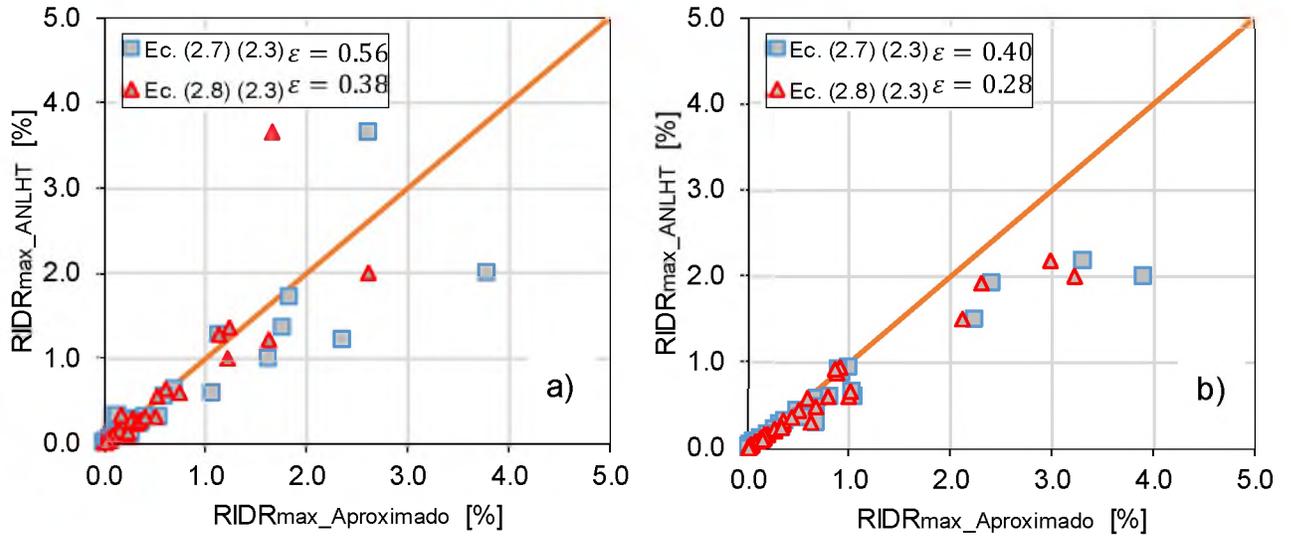


Figura E.9 Predicción de $RIDR_{max}$ para los edificios con marco exterior e interior: a) 3N y b) 9N.

E.3 Predicción de $RIDR_{max} < 1.0\%$

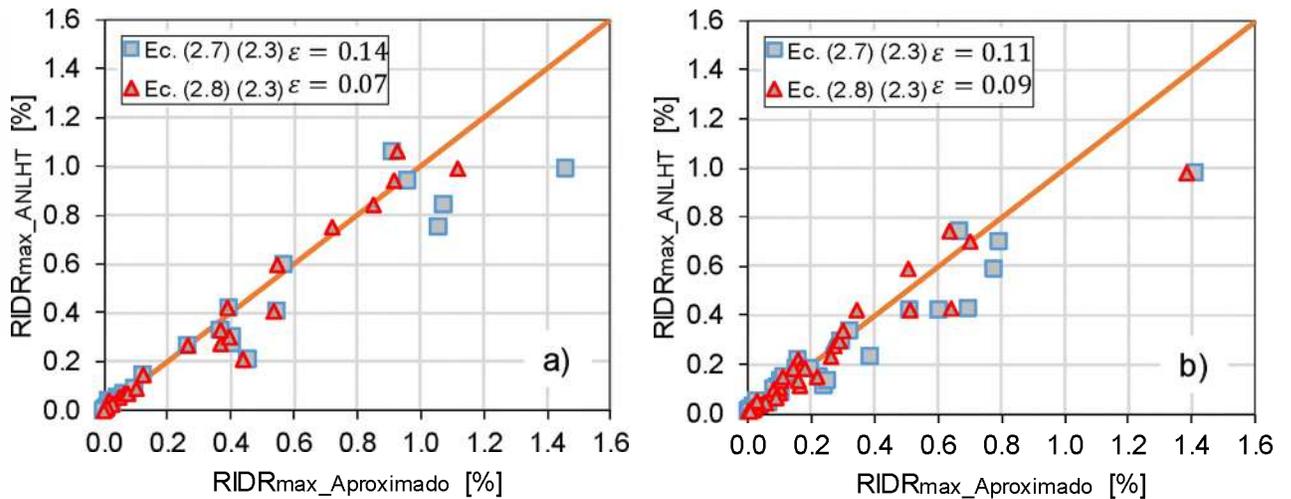


Figura E.10 Predicción de $RIDR_{max}$ para los edificios con marco exterior: a) 3N y b) 6N.

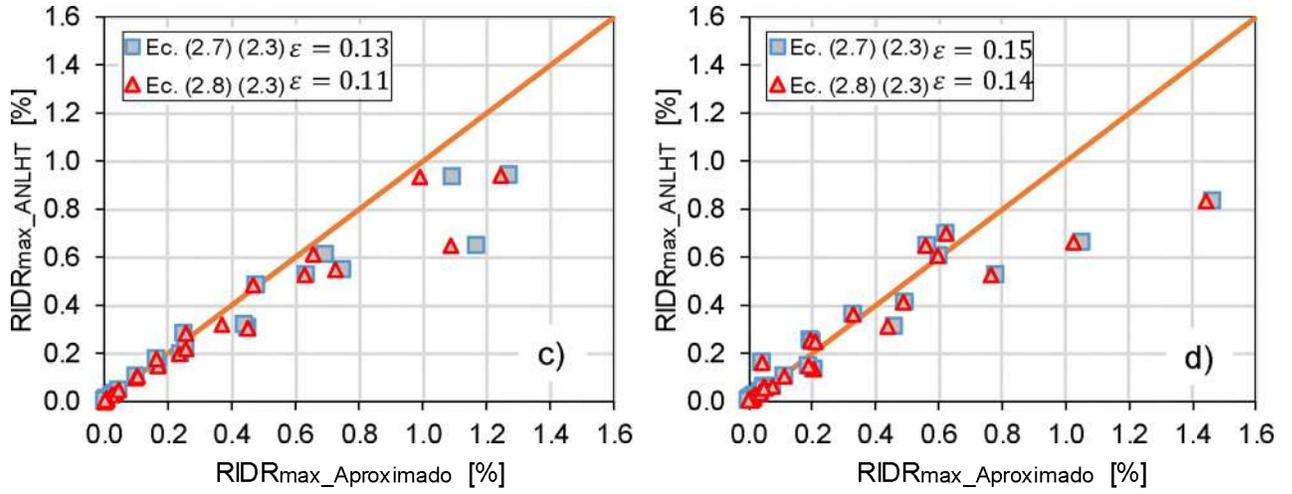


Figura E.10 Continuación predicción de $RIDR_{max}$ para los edificios con marco exterior: c) 9N y d) 13N.

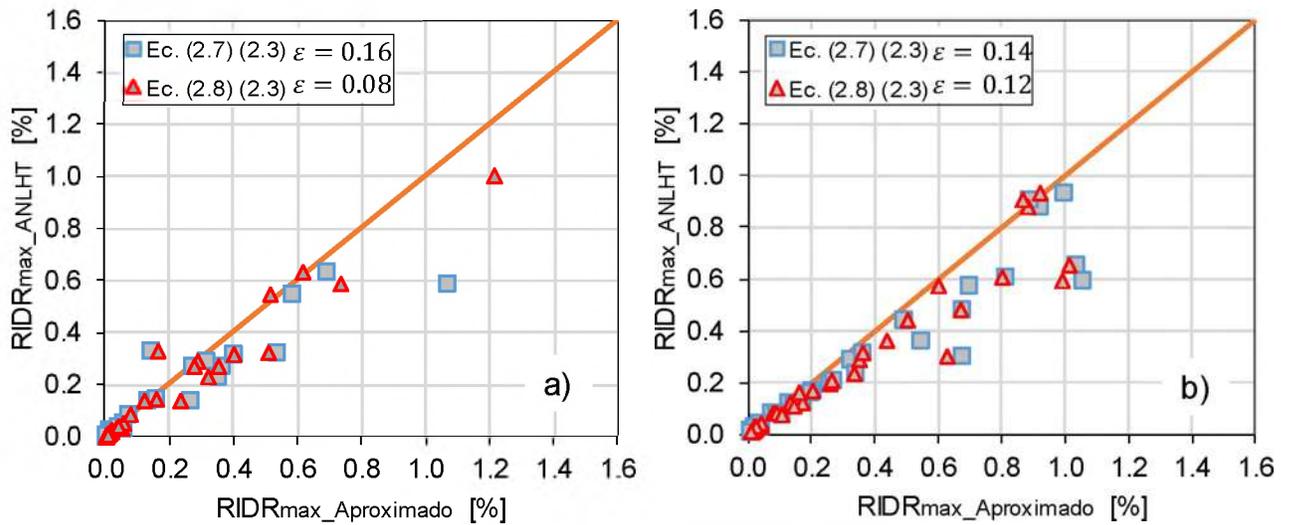


Figura E.11 Predicción de $RIDR_{max}$ para los edificios con marco exterior e interior: c) 3N y d) 9N.

E.4 Predicción de IDR_{max} a partir de $RIDR_{max}$

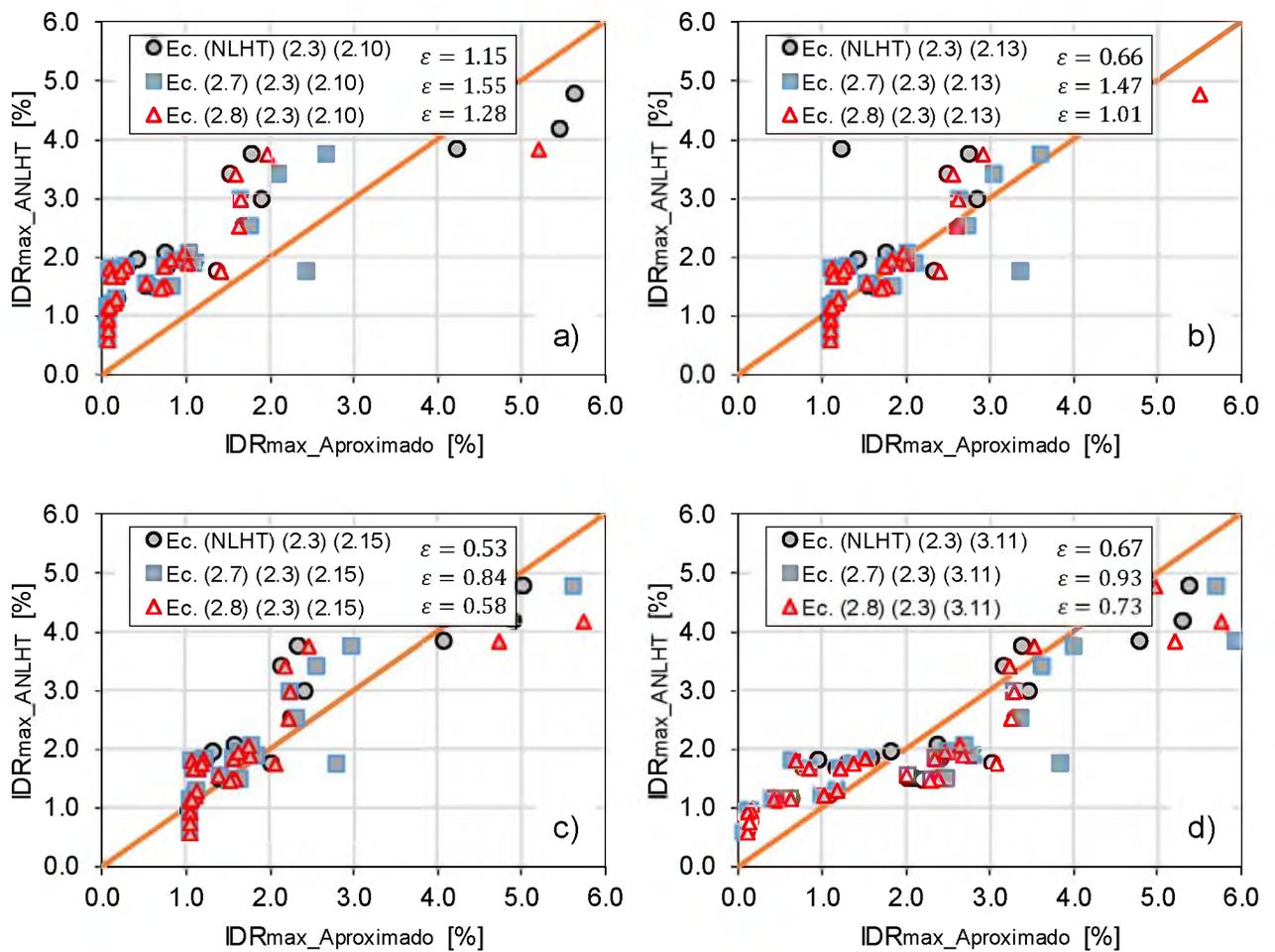


Figura E.12 Predicción IDR_{max} del edificio de 3 niveles (3NmE) utilizando las ecuaciones de: a) Christidis et al. (2011), b) Garcia (2015), c) Bravo-Haro&Elghazouli (2018) y d) Ruiz-García&Ramos-Cruz (2019).

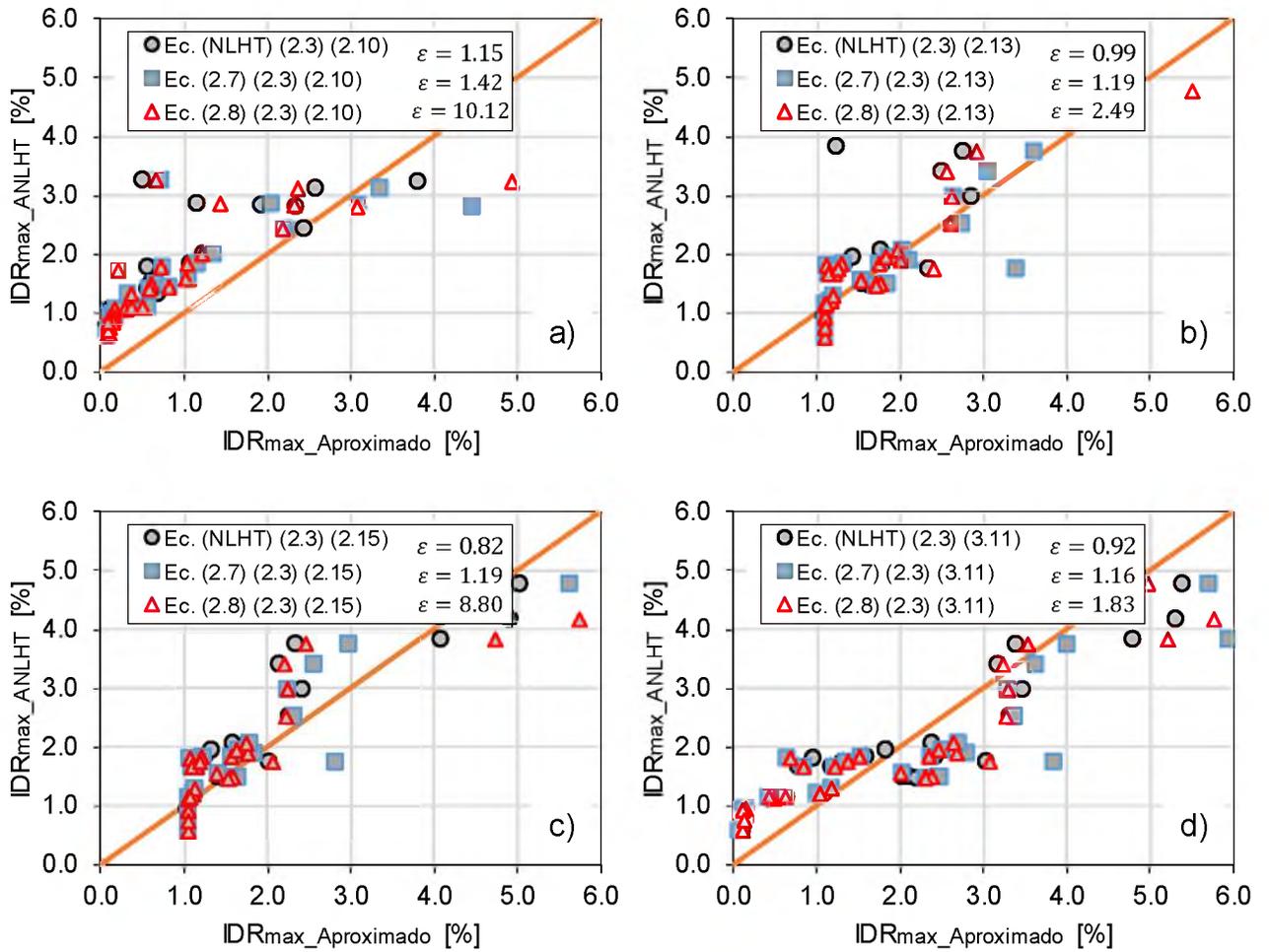


Figura E.13 Predicción IDR_{max} del edificio de 3 niveles (3NmEI) utilizando las ecuaciones de: a) Christidis et al. (2011), b) Garcia (2015), c) Bravo-Haro&Elghazouli (2018) y d) Ruiz-Garcia&Ramos-Cruz (2019).

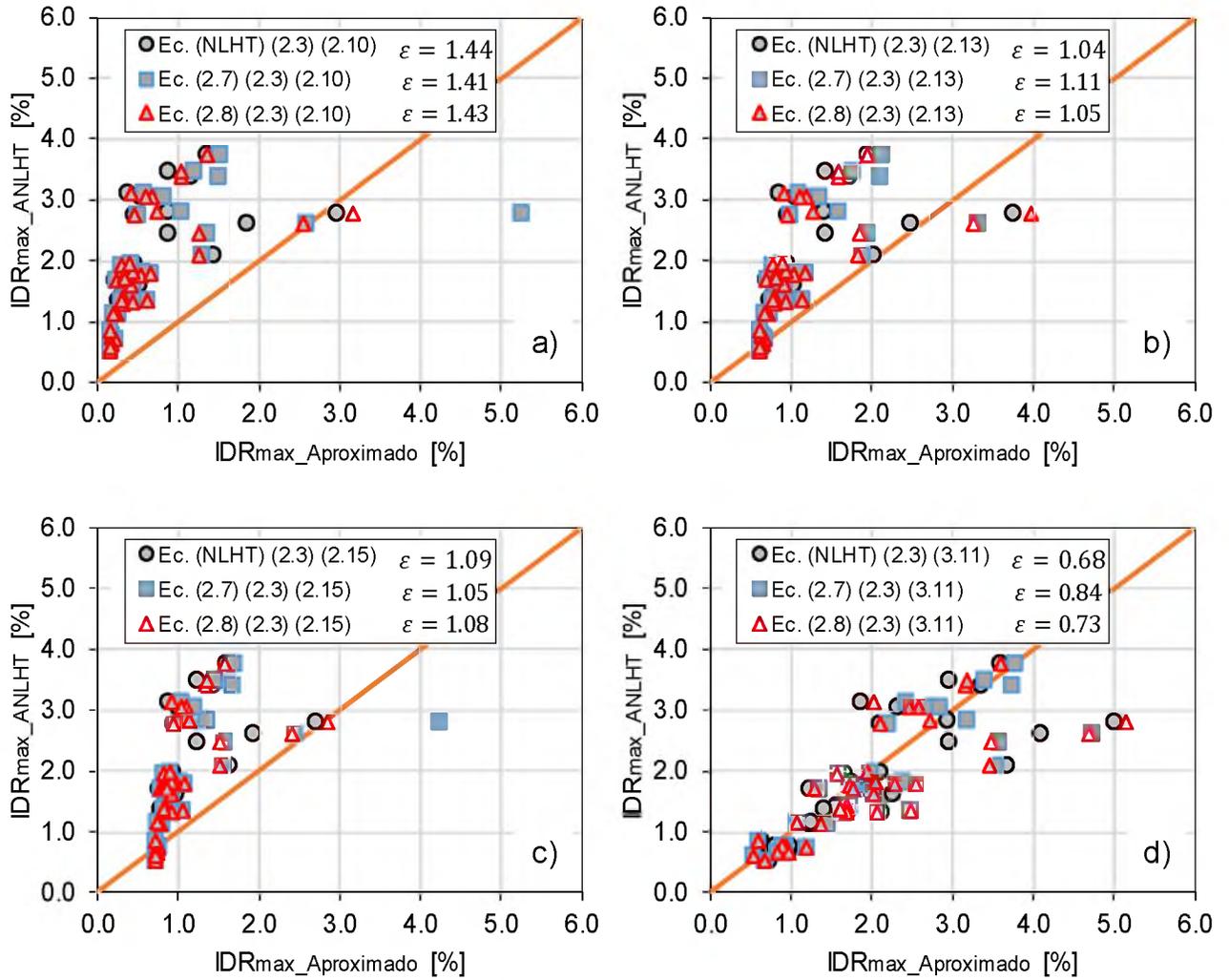


Figura E.14 Predicción IDR_{max} del edificio de 6 niveles (6NmE) utilizando las ecuaciones de: a) Christidis et al. (2011), b) Garcia (2015), c) Bravo-Haro&Elghazouli (2018) y d) Ruiz-Garcia&Ramos-Cruz (2019).

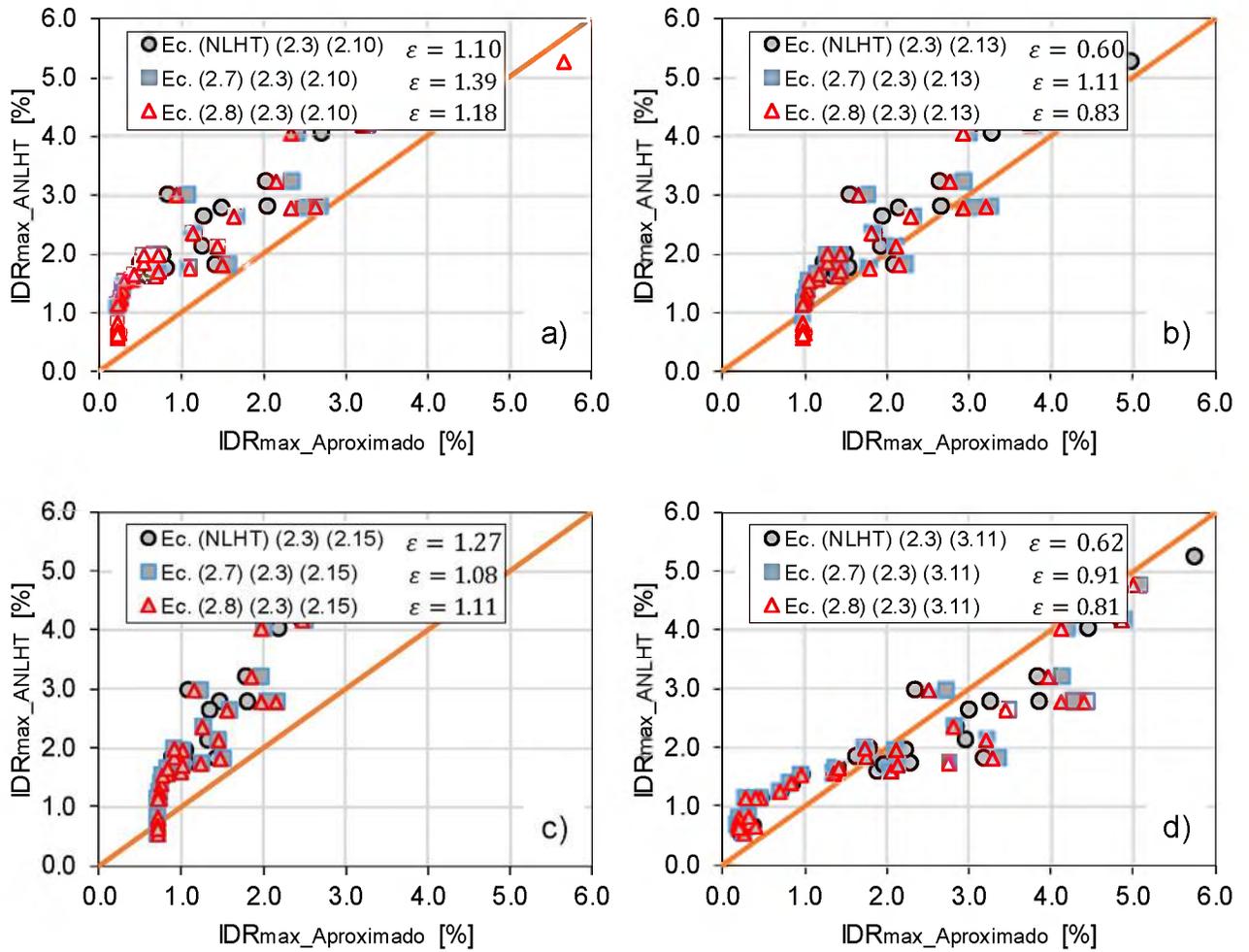


Figura E.15 Predicción IDR_{max} del edificio de 9 niveles (9NmE) utilizando las ecuaciones de: a) Christidis et al. (2011), b) Garcia (2015), c) Bravo-Haro&Elghazouli (2018) y d) Ruiz-Garcia&Ramos-Cruz (2019).

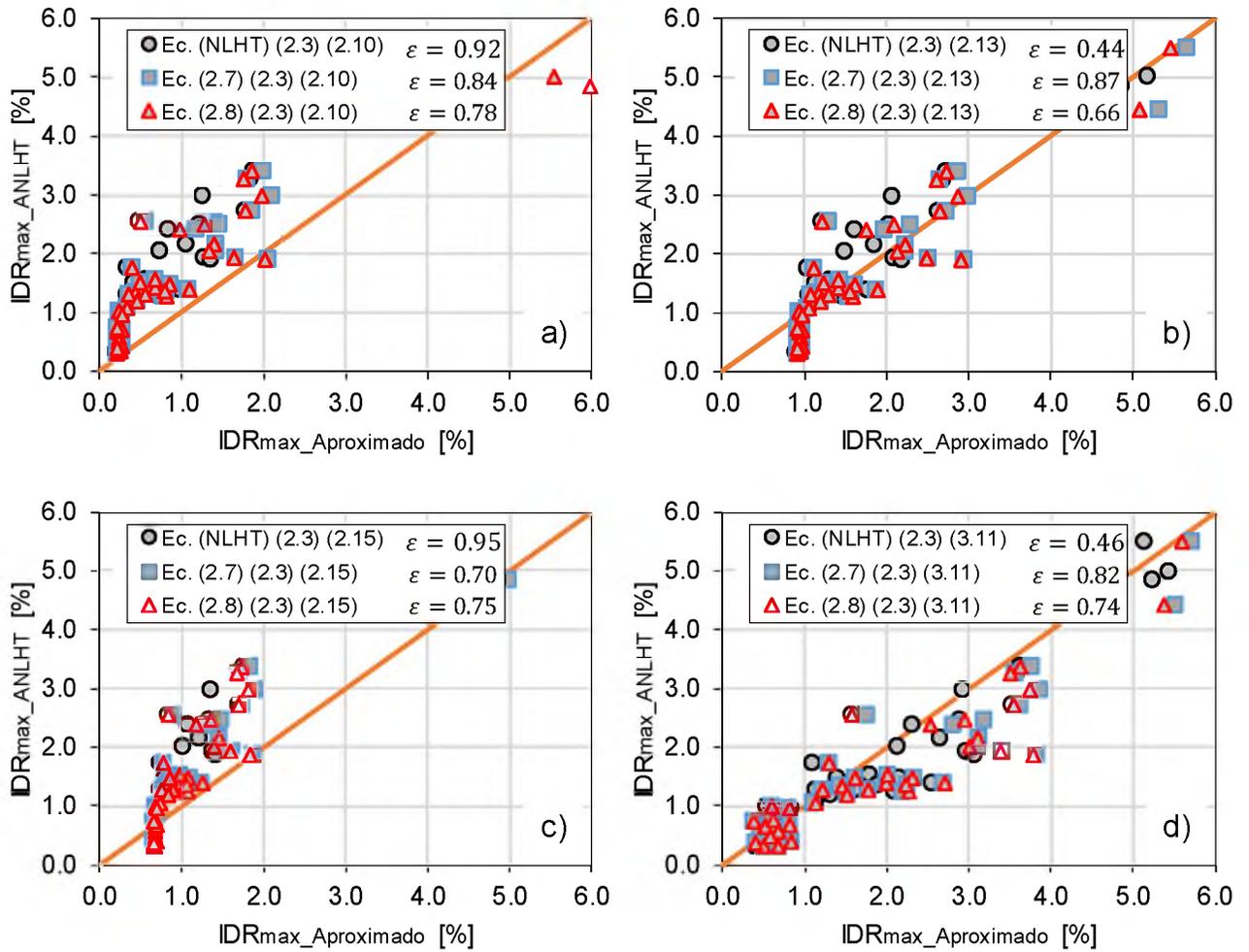


Figura E.16 Predicción IDR_{max} del edificio de 9 niveles (9NmEI) utilizando las ecuaciones de: a) Christidis et al. (2011), b) Garcia (2015), c) Bravo-Haro&Elghazouli (2018) y d) Ruiz-Garcia&Ramos-Cruz (2019).

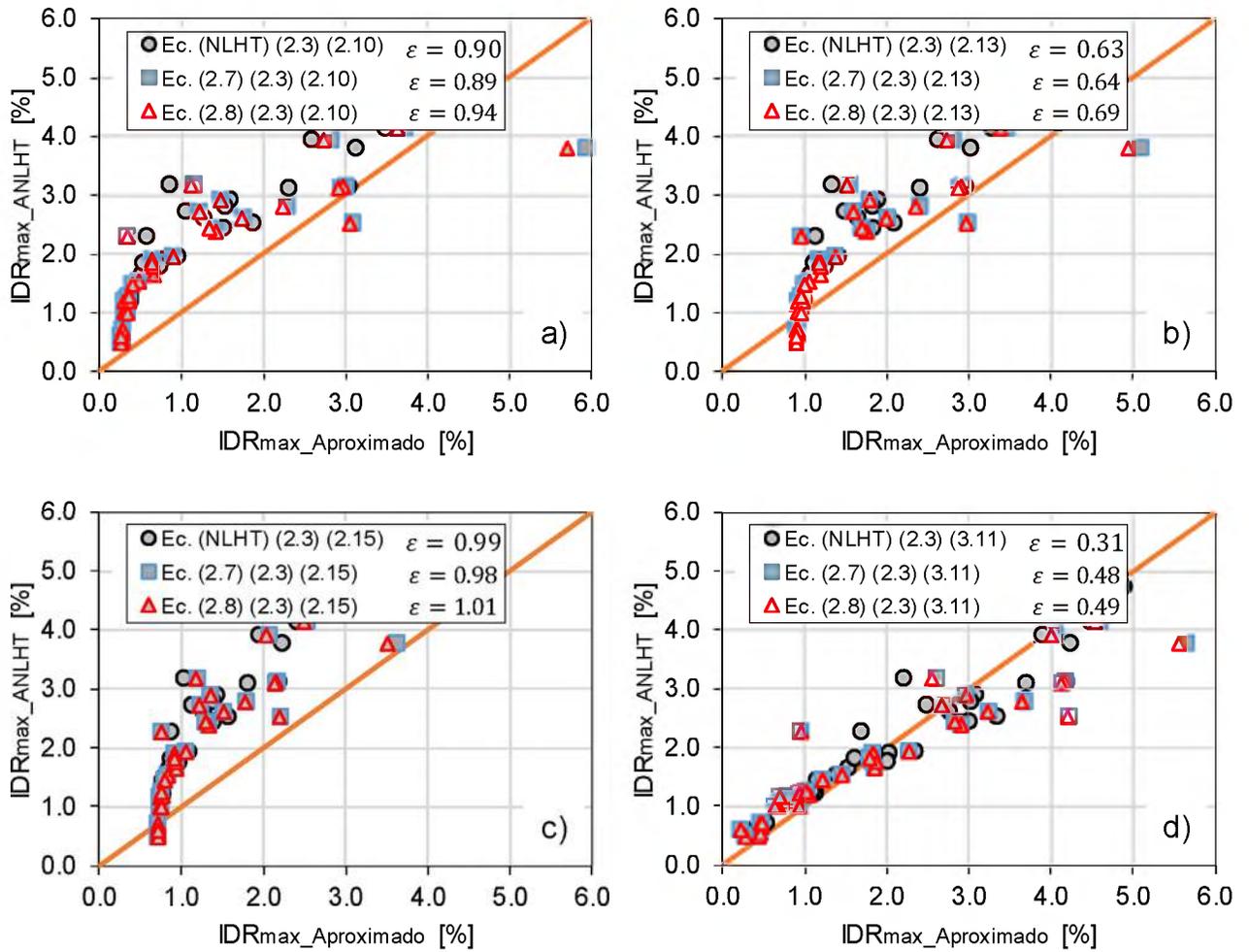


Figura E.17 Predicción IDR_{max} del edificio de 13 niveles (13NmE) utilizando las ecuaciones de: a) Christidis et al. (2011), b) Garcia (2015), c) Bravo-Haro&Elghazouli (2018) y d) Ruiz-Garcia&Ramos-Cruz (2019).

Tabla E.2 Edificio de 3 niveles marco exterior (3NmE)

Registro	Sa(T1) [cm/s ²]	Sd(T1) [cm]	Tg [seg]	T/Tg	Tg/T	R	RIDR _{max} [%]	IDR _{azotea} [%]	CODr	Ruiz-García (2011)				Iervolino (2012)					RIDR _{max}		
										teta1	teta2	teta3	C1	teta1	teta2	teta3	teta4	teta5	C1	R-G	Iervolino
LAND	440	13	4.14	0.25	3.98	1.59	0.75	1.59	0.47	8.41	-0.28	-4.04	2.11	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.08	1.20	1.37	0.78
AND	152	4	0.44	2.36	0.42	0.55	0.00	0.49	0.00	6.89	-0.22	-3.57	0.98	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-53.93	0.99	0.00	0.00
BICC	341	9	1.23	0.85	1.18	1.23	0.06	1.07	0.05	7.88	-0.26	-3.88	0.81	0.02	-0.14	-2.63	0.09	-50.10	0.87	0.05	0.05
DSP	324	9	0.38	2.74	0.37	1.17	0.07	0.99	0.07	7.79	-0.25	-3.85	1.00	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.44	1.00	0.07	0.07
ERZ	1049	29	2.28	0.46	2.19	3.78	3.10	3.94	0.79	11.59	-0.40	-5.04	2.15	0.02	-0.26	-2.53	0.16	-35.75	1.53	5.36	3.82
G01	235	6	0.38	2.74	0.37	0.85	0.01	0.67	0.01	7.33	-0.23	-3.70	0.99	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-52.24	1.00	0.01	0.01
G02	504	14	1.43	0.73	1.38	1.82	0.59	1.50	0.40	8.74	-0.29	-4.15	0.99	0.02	-0.17	-2.61	0.11	-46.79	0.90	0.60	0.55
G03	396	11	0.47	2.21	0.45	1.43	0.42	1.27	0.33	8.17	-0.27	-3.97	1.00	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.97	0.99	0.40	0.39
G04	416	12	1.41	0.74	1.36	1.50	0.15	1.32	0.11	8.28	-0.27	-4.00	0.93	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.57	0.90	0.13	0.13
G06	619	18	1.15	0.90	1.11	2.23	0.07	1.48	0.05	9.34	-0.31	-4.34	0.87	0.02	-0.19	-2.59	0.12	-44.45	0.84	0.08	0.07
GBZ	190	5	4.03	0.26	3.88	0.69	0.00	0.48	0.00	7.10	-0.22	-3.63	0.33	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-53.14	0.92	0.00	0.00
GIL	198	5	0.37	2.81	0.36	0.71	0.00	0.56	0.00	7.14	-0.23	-3.64	0.99	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-52.99	1.00	0.00	0.00
HPVY	1042	30	0.47	2.21	0.45	3.75	0.21	1.54	0.14	11.55	-0.40	-5.03	1.04	0.02	-0.26	-2.53	0.16	-35.88	0.98	0.46	0.44
NPS	871	24	1.08	0.96	1.04	3.14	0.41	1.65	0.25	10.66	-0.37	-4.75	0.86	0.02	-0.23	-2.55	0.14	-39.35	0.81	0.56	0.53
RRS	2057	57	1.04	1.00	1.00	7.41	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SCE	743	21	0.82	1.27	0.79	2.68	1.06	2.25	0.47	9.99	-0.34	-4.54	0.87	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.94	0.87	0.92	0.92
SCS	1881	54	1.13	0.92	1.09	6.78	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
STG	564	16	1.78	0.58	1.71	2.03	0.27	1.35	0.20	9.05	-0.30	-4.24	1.26	0.02	-0.18	-2.60	0.11	-45.58	1.07	0.44	0.37
WWC	874	25	1.12	0.93	1.08	3.15	0.94	2.33	0.40	10.67	-0.37	-4.75	0.89	0.02	-0.23	-2.55	0.14	-39.30	0.81	0.98	0.90
WWT	234	6	0.51	2.04	0.49	0.84	0.01	0.68	0.01	7.32	-0.23	-3.70	0.97	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-52.26	0.98	0.01	0.01
CNP	500	14	2.12	0.49	2.04	1.80	0.30	1.33	0.22	8.71	-0.29	-4.14	1.36	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-46.88	1.23	0.45	0.41
GOF	233	7	1.41	0.74	1.36	0.84	0.04	1.52	0.03	7.32	-0.23	-3.70	0.79	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-52.29	0.90	0.02	0.02
LEXD	2836	78	1.06	0.98	1.02	10.22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	580	16	0.63	1.65	0.61	2.09	0.02	1.38	0.02	9.13	-0.31	-4.27	0.97	0.02	-0.18	-2.60	0.11	-45.25	0.94	0.03	0.03
LOSG	1454	41	0.73	1.42	0.70	5.24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	523	14	0.65	1.60	0.63	1.88	0.33	1.31	0.25	8.84	-0.29	-4.18	0.95	0.02	-0.17	-2.60	0.11	-46.41	0.94	0.37	0.37
PCD	1559	44	0.38	2.74	0.37	5.62	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PORT	1417	40	1.3	0.80	1.25	5.10	3.21	4.27	0.75	13.51	-0.48	-5.65	1.15	0.02	-0.33	-2.48	0.19	-28.29	0.81	3.72	2.63
TAKA	1800	51	1.26	0.83	1.21	6.48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
WPI	860	24	2.03	0.51	1.95	3.10	0.84	3.23	0.26	10.60	-0.36	-4.73	1.73	0.02	-0.23	-2.56	0.14	-39.58	1.30	1.17	0.88
EJS	187	5	0.24	4.33	0.23	0.67	0.01	0.59	0.02	7.08	-0.22	-3.63	1.00	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-53.22	1.00	0.01	0.01
JAB	198	5	0.6	1.73	0.58	0.71	0.00	0.59	0.00	7.14	-0.23	-3.64	0.93	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-52.99	0.97	0.00	0.00
JEN	1303	36	2.7	0.39	2.60	4.69	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
JMA	2828	77	0.85	1.22	0.82	10.19	3.19	5.06	0.63	20.90	-0.77	-7.96	0.75	0.02	-0.58	-2.28	0.32	0.30	0.95	3.93	5.00
KJM	1802	49	0.82	1.27	0.79	6.49	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NWH	1453	41	1.26	0.83	1.21	5.23	0.99	3.18	0.31	13.70	-0.49	-5.71	1.09	0.02	-0.34	-2.47	0.19	-27.56	0.79	1.50	1.09
PAC	404	11	0.46	2.26	0.44	1.46	0.27	1.24	0.22	8.22	-0.27	-3.98	1.00	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.81	0.99	0.27	0.26
PKC	644	17	0.87	1.20	0.84	2.32	0.09	1.48	0.06	9.47	-0.32	-4.38	0.84	0.02	-0.19	-2.59	0.12	-43.95	0.86	0.10	0.10
SPV	684	19	0.83	1.25	0.80	2.46	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SYLM	945	27	2.4	0.43	2.31	3.40	2.40	3.60	0.67	11.04	-0.38	-4.87	2.15	0.02	-0.24	-2.54	0.15	-37.86	1.54	4.13	2.96
																			EMS	0.56	0.38

Tabla E.3 Edificio de 3 niveles con marco exterior e interior (3NmEI)

Registro	Sa(T1) [cm/s ²]	Sd(T1) [cm]	Tg [seg]	T/Tg	Tg/T	R	RIDR _{max} [%]	IDR _{te} [%]	CODr	Ruiz-Garcia (2011)				Iervolino (2012)					RIDR _{max}		
										teta1	teta2	teta3	C1	teta1	teta2	teta3	teta4	teta5	C1	R-G	Iervolino
LAND	329	7	4.14	0.22	4.50	1.04	0.14	0.90	0.16	7.62	-0.25	-3.80	1.12	0.02	-0.13	-2.64	0.09	-51.12	1.02	0.13	0.12
AND	243	5	0.44	2.09	0.48	0.77	0.01	0.54	0.02	7.22	-0.23	-3.67	0.97	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-52.66	0.98	0.01	0.01
BICC	365	7	1.23	0.75	1.34	1.16	0.02	0.81	0.03	7.78	-0.25	-3.85	0.86	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.48	0.90	0.02	0.02
DSP	352	8	0.38	2.42	0.41	1.12	0.01	0.63	0.02	7.73	-0.25	-3.83	1.00	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.71	0.99	0.02	0.02
ERZ	1041	23	2.28	0.40	2.48	3.30	2.01	3.01	0.67	10.90	-0.38	-4.83	2.30	0.02	-0.24	-2.55	0.14	-38.41	1.59	3.78	2.61
G01	273	6	0.38	2.42	0.41	0.87	0.01	0.51	0.01	7.36	-0.23	-3.71	0.99	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-52.11	0.99	0.01	0.01
G02	459	10	1.43	0.64	1.55	1.46	0.03	0.86	0.04	8.22	-0.27	-3.98	1.02	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.80	0.97	0.04	0.04
G03	422	9	0.47	1.96	0.51	1.34	0.15	0.87	0.17	8.05	-0.26	-3.93	0.98	0.02	-0.14	-2.63	0.09	-49.47	0.98	0.16	0.16
G04	437	10	1.41	0.65	1.53	1.39	0.03	0.77	0.04	8.12	-0.26	-3.95	0.99	0.02	-0.14	-2.62	0.09	-49.20	0.96	0.04	0.04
G06	683	15	1.15	0.80	1.25	2.17	0.29	1.35	0.21	9.25	-0.31	-4.31	0.95	0.02	-0.18	-2.59	0.11	-44.80	0.86	0.32	0.29
GBZ	343	7	4.03	0.23	4.38	1.09	0.00	0.53	0.00	7.68	-0.25	-3.82	1.22	0.02	-0.13	-2.64	0.09	-50.87	1.04	0.00	0.00
GIL	234	5	0.37	2.49	0.40	0.74	0.02	0.41	0.04	7.18	-0.23	-3.66	0.99	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-52.81	0.99	0.02	0.02
HPVY	874	20	0.47	1.96	0.51	2.77	0.32	1.32	0.24	10.13	-0.35	-4.58	1.02	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.40	0.97	0.54	0.51
NPS	880	19	1.08	0.85	1.17	2.79	0.63	1.79	0.35	10.16	-0.35	-4.59	0.94	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.29	0.84	0.70	0.62
RRS	2232	49	1.04	0.88	1.13	7.09	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SCE	963	20	0.82	1.12	0.89	3.06	1.27	2.05	0.62	10.54	-0.36	-4.71	0.84	0.02	-0.23	-2.56	0.14	-39.80	0.83	1.14	1.14
SCS	1811	39	1.13	0.81	1.23	5.75	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
STG	554	12	1.78	0.52	1.93	1.76	0.03	0.93	0.04	8.66	-0.29	-4.12	1.30	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-47.11	1.18	0.06	0.06
WVC	797	17	1.12	0.82	1.22	2.53	0.55	1.68	0.32	9.78	-0.33	-4.47	0.96	0.02	-0.20	-2.58	0.12	-42.76	0.85	0.59	0.52
WWT	363	8	0.51	1.80	0.55	1.15	0.05	0.71	0.08	7.77	-0.25	-3.84	0.96	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.52	0.97	0.06	0.06
CNP	546	12	2.12	0.43	2.30	1.73	0.14	0.94	0.15	8.62	-0.29	-4.11	1.44	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-47.24	1.28	0.27	0.24
GOF	255	6	1.41	0.65	1.53	0.81	0.33	1.16	0.28	7.28	-0.23	-3.69	0.83	0.02	-0.12	-2.65	0.08	-52.45	0.95	0.14	0.16
LEXD	2528	57	1.06	0.87	1.15	8.03	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	548	13	0.63	1.46	0.68	1.74	0.27	1.19	0.22	8.63	-0.29	-4.11	0.91	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-47.22	0.92	0.27	0.28
LOSG	1985	41	0.73	1.26	0.79	6.30	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	573	13	0.65	1.42	0.71	1.82	0.09	1.34	0.06	8.74	-0.29	-4.15	0.90	0.02	-0.17	-2.61	0.11	-46.77	0.91	0.08	0.08
PCD	1461	32	0.38	2.42	0.41	4.64	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PORT	1232	28	1.3	0.71	1.41	3.91	1.35	2.97	0.46	11.78	-0.41	-5.10	1.30	0.02	-0.27	-2.52	0.16	-35.00	0.91	1.76	1.23
TAKA	1849	40	1.26	0.73	1.37	5.87	3.66	8.33	0.44	14.63	-0.52	-6.00	1.39	0.02	-0.37	-2.45	0.21	-23.98	0.88	2.62	1.66
WPI	954	21	2.03	0.45	2.21	3.03	1.00	2.66	0.38	10.50	-0.36	-4.70	1.93	0.02	-0.23	-2.56	0.14	-39.96	1.45	1.62	1.21
EJS	235	5	0.24	3.83	0.26	0.75	0.04	0.51	0.08	7.19	-0.23	-3.66	1.00	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-52.80	1.00	0.04	0.04
JAB	251	5	0.6	1.53	0.65	0.80	0.02	0.56	0.03	7.26	-0.23	-3.68	0.90	0.02	-0.12	-2.65	0.08	-52.52	0.95	0.01	0.02
JEN	927	21	2.7	0.34	2.93	2.94	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
JMA	3732	81	0.85	1.08	0.92	11.85	1.71	4.86	0.35	23.31	-0.87	-8.72	0.59	0.02	-0.66	-2.21	0.37	9.66	11.32	1.83	34.85
KJM	2393	51	0.82	1.12	0.89	7.60	0.23	2.75	0.08	17.14	-0.62	-6.79	0.76	0.02	-0.45	-2.38	0.26	-14.25	0.69	0.35	0.32
NWH	1364	30	1.26	0.73	1.37	4.33	0.58	2.26	0.26	12.39	-0.44	-5.29	1.28	0.02	-0.29	-2.51	0.17	-32.64	0.89	1.07	0.74
PAC	292	6	0.46	2.00	0.50	0.93	0.01	0.66	0.01	7.45	-0.24	-3.74	0.97	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-51.79	0.98	0.01	0.01
PKC	1068	23	0.87	1.06	0.95	3.39	0.27	1.50	0.18	11.03	-0.38	-4.87	0.83	0.02	-0.24	-2.54	0.15	-37.93	0.81	0.37	0.35
SPV	925	18	0.83	1.11	0.90	2.94	0.31	1.28	0.24	10.37	-0.35	-4.66	0.83	0.02	-0.22	-2.56	0.13	-40.47	0.83	0.41	0.40
SYLM	861	19	2.4	0.38	2.61	2.74	1.22	2.32	0.53	10.07	-0.34	-4.57	2.17	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.61	1.49	2.35	1.62
																			EMS	0.44	5.69

Tabla E.4 Edificio de 6 niveles con marco exterior (6NmE)

Registr o	Sa[T1]	Sd(T1)	Tg	T/Tg	Tg/T	R	RIDRm ax [%]	IDRazo tea [%]	CODr	Ruiz-García (2011)				Iervolino (2012)					RIDRmax		
	[cm/s ²]	[cm]	[seg]							teta1	teta2	teta3	C1	teta1	teta2	teta3	teta4	teta5	C1	R-G	Iervolino
LAND	503	25	4.14	0.34	2.96	2.93	1.63	1.87	0.87	10.35	-0.35	-4.65	2.63	0.02	-0.22	-2.56	0.13	-40.53	1.56	2.95	1.75
AND	81	4	0.44	3.18	0.31	0.47	0.03	0.25	0.10	6.79	-0.21	-3.53	0.99	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.35	1.00	0.02	0.02
BICC	476	24	1.23	1.14	0.88	2.77	0.27	1.02	0.27	10.12	-0.34	-4.58	0.84	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.42	0.84	0.27	0.27
DSP	266	13	0.38	3.68	0.27	1.55	0.02	0.54	0.03	8.35	-0.27	-4.03	1.00	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.27	1.00	0.02	0.02
ERZ	801	40	2.28	0.61	1.63	4.67	0.59	2.56	0.23	12.88	-0.45	-5.45	1.67	0.02	-0.31	-2.49	0.18	-30.74	1.09	0.78	0.51
G01	194	10	0.38	3.68	0.27	1.13	0.04	0.47	0.08	7.74	-0.25	-3.83	1.00	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.66	1.00	0.04	0.04
G02	725	37	1.43	0.98	1.02	4.22	0.05	1.28	0.04	12.23	-0.43	-5.24	0.86	0.02	-0.29	-2.51	0.17	-33.25	0.78	0.06	0.05
G03	303	15	0.47	2.98	0.34	1.77	0.22	1.04	0.21	8.66	-0.29	-4.12	1.01	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-47.07	1.00	0.16	0.16
G04	580	29	1.41	0.99	1.01	3.38	0.08	1.00	0.08	11.01	-0.38	-4.86	0.85	0.02	-0.24	-2.55	0.15	-37.99	0.81	0.11	0.10
G06	371	18	1.15	1.22	0.82	2.16	0.10	0.85	0.12	9.24	-0.31	-4.30	0.85	0.02	-0.18	-2.59	0.11	-44.85	0.87	0.10	0.10
GBZ	168	9	4.03	0.35	2.88	0.98	0.02	0.47	0.05	7.52	-0.24	-3.76	0.97	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-51.51	1.08	0.02	0.02
GIL	184	9	0.37	3.78	0.26	1.07	0.02	0.45	0.04	7.66	-0.25	-3.81	1.00	0.02	-0.13	-2.64	0.09	-50.98	1.00	0.02	0.02
HPVY	475	23	0.47	2.98	0.34	2.77	0.15	0.80	0.19	10.12	-0.34	-4.58	1.02	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.42	1.00	0.23	0.22
NPS	539	27	1.08	1.30	0.77	3.14	0.29	1.19	0.25	10.66	-0.37	-4.75	0.88	0.02	-0.23	-2.55	0.14	-39.34	0.86	0.30	0.29
RRS	1418	70	1.04	1.35	0.74	8.257	0.42	2.22	0.19	18.09	-0.66	-7.08	0.89	0.02	-0.49	-2.35	0.27	-10.55	0.75	0.60	0.51
SCE	491	24	0.82	1.71	0.59	2.86	0.10	1.38	0.07	10.25	-0.35	-4.62	0.99	0.02	-0.22	-2.57	0.13	-40.93	0.94	0.09	0.08
SCS	935	48	1.13	1.24	0.81	5.44	0.33	2.16	0.15	14.01	-0.50	-5.80	0.85	0.02	-0.35	-2.46	0.20	-26.38	0.79	0.33	0.30
STG	473	24	1.78	0.79	1.27	2.75	0.04	0.80	0.06	10.10	-0.34	-4.57	1.03	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.52	0.86	0.07	0.06
WVC	426	21	1.12	1.25	0.80	2.48	0.13	1.16	0.11	9.70	-0.33	-4.45	0.86	0.02	-0.20	-2.58	0.12	-43.05	0.87	0.11	0.11
WWT	121	6	0.51	2.75	0.36	0.70	0.05	0.45	0.10	7.12	-0.23	-3.64	0.99	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-53.04	1.00	0.03	0.03
CNP	669	34	2.12	0.66	1.51	3.89	0.11	1.11	0.10	11.76	-0.41	-5.10	1.43	0.02	-0.27	-2.52	0.16	-35.09	0.98	0.24	0.17
GOF	415	21	1.41	0.99	1.01	2.42	0.19	0.97	0.19	9.61	-0.32	-4.42	0.83	0.02	-0.20	-2.58	0.12	-43.40	0.83	0.17	0.17
LEXD	1566	78	1.06	1.32	0.76	9.12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	354	18	0.63	2.22	0.45	2.06	0.15	1.17	0.12	9.09	-0.30	-4.26	1.01	0.02	-0.18	-2.60	0.11	-45.41	0.99	0.12	0.11
LOSG	1435	72	0.73	1.92	0.52	8.36	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	518	26	0.65	2.15	0.46	3.02	0.74	1.52	0.49	10.48	-0.36	-4.69	1.03	0.02	-0.23	-2.56	0.14	-40.04	0.98	0.67	0.64
PCD	1082	54	0.38	3.68	0.27	6.31	0.98	1.97	0.50	15.26	-0.55	-6.19	1.03	0.02	-0.39	-2.43	0.22	-21.53	1.01	1.41	1.38
PORT	1213	60	1.3	1.08	0.93	7.07	0.18	2.14	0.08	16.37	-0.59	-6.54	0.77	0.02	-0.43	-2.40	0.24	-17.24	0.70	0.20	0.18
TAKA	2392	117	1.26	1.11	0.90	13.94	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
WPI	754	38	2.03	0.69	1.45	4.39	0.42	2.22	0.19	12.48	-0.44	-5.32	1.40	0.02	-0.29	-2.51	0.17	-32.29	0.94	0.52	0.35
EJS	77	4	0.24	5.83	0.17	0.45	0.01	0.24	0.05	6.75	-0.21	-3.52	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.49	1.00	0.01	0.01
JAB	93	5	0.6	2.33	0.43	0.54	0.01	0.32	0.02	6.89	-0.22	-3.57	0.98	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-53.94	0.99	0.01	0.01
JEN	753	38	2.7	0.52	1.93	4.39	0.23	2.29	0.10	12.47	-0.44	-5.32	1.99	0.02	-0.29	-2.51	0.17	-32.33	1.37	0.39	0.27
JMA	1619	81	0.85	1.65	0.61	9.43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
KJM	946	47	0.82	1.71	0.59	5.51	0.70	2.21	0.32	14.11	-0.50	-5.83	1.04	0.02	-0.35	-2.46	0.20	-25.99	0.91	0.79	0.70
NWH	1146	56	1.26	1.11	0.90	6.67	0.43	1.36	0.32	15.79	-0.57	-6.36	0.78	0.02	-0.41	-2.42	0.23	-19.46	0.72	0.70	0.64
PAC	179	9	0.46	3.04	0.33	1.04	0.01	0.55	0.01	7.61	-0.24	-3.79	1.00	0.02	-0.13	-2.64	0.09	-51.15	1.00	0.01	0.01
PKC	376	19	0.87	1.61	0.62	2.19	0.06	0.65	0.10	9.28	-0.31	-4.32	0.96	0.02	-0.18	-2.59	0.12	-44.67	0.94	0.09	0.09
SPV	426	20	0.83	1.69	0.59	2.48	0.18	1.19	0.15	9.71	-0.33	-4.45	0.98	0.02	-0.20	-2.58	0.12	-43.04	0.94	0.15	0.15
SYLM	941	47	2.4	0.58	1.71	5.48	0.13	2.39	0.06	14.06	-0.50	-5.82	1.88	0.02	-0.35	-2.46	0.20	-26.18	1.20	0.25	0.16
																			EMS	0.24	0.09

Tabla E.5 Edificio de 9 niveles con marco exterior (9NmE)

Registr o	Sa(T1) [cm/s ²]	Sd(T1) [cm]	Tg [seg]	T/Tg	Tg/T	R	RIDRm ax [%]	IDRazo tea [%]	CODr	Ruiz-Garcia (2011)				Iervolino (2012)						RIDRmax	
										teta1	teta2	teta3	C1	teta1	teta2	teta3	teta4	teta5	C1	R-G	Iervolino
LAND	292	34	4.14	0.51	1.95	1.59	0.62	1.36	0.45	8.42	-0.28	-4.05	1.24	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.03	1.17	0.69	0.66
AND	61	7	0.44	4.82	0.21	0.33	0.00	0.26	0.02	6.58	-0.20	-3.47	1.00	0.02	-0.09	-2.66	0.07	-55.13	1.00	0.00	0.00
BICC	292	33	1.23	1.72	0.58	1.59	0.20	0.98	0.20	8.41	-0.28	-4.04	0.96	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.05	0.96	0.24	0.24
DSP	99	11	0.38	5.58	0.18	0.54	0.00	0.42	0.00	6.89	-0.22	-3.57	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-53.95	1.00	0.00	0.00
ERZ	628	72	2.28	0.93	1.08	3.43	0.93	2.01	0.46	11.08	-0.38	-4.88	0.89	0.02	-0.25	-2.54	0.15	-37.73	0.81	1.10	0.99
G01	101	12	0.38	5.58	0.18	0.55	0.00	0.35	0.01	6.90	-0.22	-3.57	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-53.90	1.00	0.00	0.00
G02	210	24	1.43	1.48	0.67	1.14	0.04	0.87	0.04	7.76	-0.25	-3.84	0.90	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.56	0.94	0.03	0.03
G03	175	20	0.47	4.51	0.22	0.95	0.10	0.75	0.13	7.48	-0.24	-3.75	1.00	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-51.64	1.00	0.10	0.10
G04	179	20	1.41	1.50	0.67	0.98	0.02	0.72	0.03	7.52	-0.24	-3.76	0.90	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-51.51	0.94	0.02	0.02
G06	79	9	1.15	1.84	0.54	0.43	0.01	0.35	0.03	6.72	-0.21	-3.51	0.94	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.58	0.97	0.01	0.01
GBZ	83	9	4.03	0.53	1.90	0.45	0.01	0.36	0.02	6.76	-0.21	-3.53	0.67	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.44	1.05	0.00	0.01
GIL	90	10	0.37	5.73	0.17	0.49	0.00	0.31	0.01	6.81	-0.21	-3.54	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.24	1.00	0.00	0.00
HPVY	119	13	0.47	4.51	0.22	0.65	0.05	0.52	0.09	7.04	-0.22	-3.61	1.00	0.02	-0.11	-2.65	0.07	-53.35	1.00	0.05	0.05
NPS	245	28	1.08	1.96	0.51	1.34	0.15	0.87	0.17	8.04	-0.26	-3.93	0.98	0.02	-0.14	-2.63	0.09	-49.49	0.98	0.17	0.17
RRS	627	72	1.04	2.04	0.49	3.42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SCE	448	51	0.82	2.59	0.39	2.44	0.94	1.42	0.66	9.65	-0.33	-4.43	1.02	0.02	-0.20	-2.58	0.12	-43.27	1.00	1.27	1.24
SCS	647	75	1.13	1.88	0.53	3.53	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
STG	285	32	1.78	1.19	0.84	1.55	0.11	1.04	0.10	8.36	-0.27	-4.03	0.83	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.27	0.88	0.10	0.11
WVC	298	33	1.12	1.89	0.53	1.63	0.48	1.23	0.39	8.46	-0.28	-4.06	0.99	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-47.85	0.97	0.48	0.47
WWT	89	10	0.51	4.16	0.24	0.49	0.01	0.39	0.02	6.81	-0.21	-3.54	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.27	1.00	0.01	0.01
CNP	473	54	2.12	1.00	1.00	2.58	0.30	1.12	0.27	9.85	-0.33	-4.49	0.84	0.02	-0.20	-2.58	0.13	-42.50	0.83	0.45	0.45
GOF	149	17	1.41	1.50	0.67	0.81	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LEXD	801	91	1.06	2.00	0.50	4.37	2.22	2.56	0.87	12.45	-0.44	-5.31	1.04	0.02	-0.29	-2.51	0.17	-32.43	0.97	3.03	2.80
LOS	288	33	0.63	3.37	0.30	1.57	0.22	1.03	0.21	8.38	-0.28	-4.04	1.01	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.16	1.00	0.26	0.26
LOSG	1053	121	0.73	2.90	0.34	5.74	2.89	3.83	0.76	14.44	-0.52	-5.94	1.04	0.02	-0.36	-2.45	0.21	-24.71	1.00	3.48	3.35
PARK	330	38	0.65	3.26	0.31	1.80	0.53	1.17	0.46	8.72	-0.29	-4.14	1.01	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-46.88	1.00	0.63	0.63
PCD	440	50	0.38	5.58	0.18	2.40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PORT	664	75	1.3	1.63	0.61	3.62	0.65	1.53	0.43	11.36	-0.39	-4.97	0.99	0.02	-0.26	-2.54	0.15	-36.65	0.92	1.17	1.09
TAKA	1528	174	1.26	1.68	0.59	8.33	3.18	3.50	0.91	18.20	-0.67	-7.12	1.06	0.02	-0.49	-2.35	0.28	-10.14	0.87	6.17	5.07
WPI	645	74	2.03	1.04	0.96	3.51	1.28	2.58	0.50	11.21	-0.39	-4.92	0.84	0.02	-0.25	-2.54	0.15	-37.23	0.80	1.13	1.09
EJS	32	4	0.24	8.83	0.11	0.17	0.00	0.16	0.01	6.35	-0.19	-3.40	1.00	0.02	-0.08	-2.67	0.06	-56.03	1.00	0.00	0.00
JAB	25	3	0.6	3.53	0.28	0.14	0.00	0.11	0.02	6.30	-0.19	-3.38	0.99	0.02	-0.08	-2.67	0.06	-56.23	1.00	0.00	0.00
JEN	605	70	2.7	0.79	1.27	3.30	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
JMA	695	79	0.85	2.49	0.40	3.79	1.39	2.44	0.57	11.60	-0.40	-5.05	1.04	0.02	-0.26	-2.53	0.16	-35.70	0.99	1.72	1.65
KJM	407	46	0.82	2.59	0.39	2.22	1.55	1.71	0.91	9.32	-0.31	-4.33	1.02	0.02	-0.19	-2.59	0.12	-44.52	1.00	1.57	1.54
NWH	402	45	1.26	1.68	0.59	2.19	0.55	1.18	0.46	9.29	-0.31	-4.32	0.97	0.02	-0.18	-2.59	0.12	-44.66	0.95	0.75	0.73
PAC	73	8	0.46	4.61	0.22	0.40	0.00	0.40	0.01	6.68	-0.21	-3.50	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.75	1.00	0.00	0.00
PKC	151	17	0.87	2.44	0.41	0.83	0.28	0.69	0.41	7.30	-0.23	-3.70	0.99	0.02	-0.12	-2.65	0.08	-52.35	0.99	0.25	0.25
SPV	215	25	0.83	2.55	0.39	1.17	0.18	0.98	0.18	7.80	-0.25	-3.85	1.00	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.40	0.99	0.16	0.16
SYLM	698	81	2.4	0.88	1.13	3.81	0.32	2.05	0.16	11.63	-0.41	-5.06	0.95	0.02	-0.26	-2.53	0.16	-35.58	0.80	0.44	0.37
																			EMS	0.55	0.36

Tabla E.6 Edificio de 9 niveles con marco exterior e interior (9NmEI)

Registr o	Sa(T1)	Sd(T1)	Tg	T/Tg	Tg/T	R	RIDRm ax [%]	IDRazo tea [%]	CODr	Ruiz-García (2011)				Iervolino (2012)					RIDRmax		
	[cm/s ²]	[cm]	[seg]							teta1	teta2	teta3	C1	teta1	teta2	teta3	teta4	teta5	C1	R-G	Iervolino
LAND	288	27	4.14	0.46	2.16	1.34	0.44	1.03	0.43	8.04	-0.26	-3.93	1.18	0.02	-0.14	-2.63	0.09	-49.49	1.20	0.49	0.50
AND	55	5	0.44	4.36	0.23	0.25	0.01	0.12	0.08	6.47	-0.20	-3.43	0.99	0.02	-0.09	-2.67	0.06	-55.57	1.00	0.01	0.01
BICC	362	34	1.23	1.56	0.64	1.68	0.19	0.86	0.23	8.54	-0.28	-4.08	0.94	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-47.57	0.94	0.26	0.26
DSP	128	12	0.38	5.05	0.20	0.59	0.01	0.39	0.04	6.96	-0.22	-3.59	1.00	0.02	-0.10	-2.65	0.07	-53.67	1.00	0.02	0.02
ERZ	661	62	2.28	0.84	1.19	3.06	0.57	1.78	0.32	10.55	-0.36	-4.72	0.97	0.02	-0.23	-2.56	0.14	-39.77	0.83	0.70	0.60
G01	112	11	0.38	5.05	0.20	0.52	0.02	0.30	0.07	6.86	-0.21	-3.56	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.07	1.00	0.03	0.03
G02	311	29	1.43	1.34	0.74	1.44	0.12	0.83	0.14	8.19	-0.27	-3.98	0.87	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.90	0.91	0.13	0.14
G03	230	21	0.47	4.09	0.24	1.07	0.02	0.63	0.03	7.65	-0.25	-3.81	1.00	0.02	-0.13	-2.64	0.09	-51.00	1.00	0.02	0.02
G04	219	20	1.41	1.36	0.73	1.01	0.08	0.68	0.12	7.57	-0.24	-3.78	0.86	0.02	-0.13	-2.64	0.08	-51.30	0.92	0.08	0.08
G06	116	11	1.15	1.67	0.60	0.54	0.03	0.43	0.06	6.88	-0.22	-3.56	0.92	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-53.99	0.96	0.02	0.02
GBZ	114	11	4.03	0.48	2.10	0.53	0.01	0.33	0.05	6.87	-0.22	-3.56	0.68	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.03	1.09	0.01	0.02
GIL	105	10	0.37	5.19	0.19	0.48	0.03	0.26	0.12	6.81	-0.21	-3.54	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.27	1.00	0.04	0.04
HPVY	163	15	0.47	4.09	0.24	0.76	0.08	0.47	0.17	7.20	-0.23	-3.66	1.00	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-52.74	1.00	0.09	0.09
NPS	298	28	1.08	1.78	0.56	1.38	0.17	0.80	0.21	8.10	-0.26	-3.95	0.97	0.02	-0.14	-2.62	0.09	-49.24	0.96	0.20	0.20
RRS	696	65	1.04	1.85	0.54	3.23	0.59	1.35	0.44	10.79	-0.37	-4.79	1.02	0.02	-0.24	-2.55	0.14	-38.86	0.96	1.06	0.99
SCE	447	42	0.82	2.34	0.43	2.07	0.07	1.07	0.07	9.11	-0.30	-4.26	1.01	0.02	-0.18	-2.60	0.11	-45.35	0.99	0.11	0.11
SCS	564	54	1.13	1.70	0.59	2.61	0.88	1.82	0.48	9.90	-0.34	-4.51	0.99	0.02	-0.21	-2.58	0.13	-42.31	0.94	0.92	0.88
STG	337	32	1.78	1.08	0.93	1.56	0.29	0.82	0.35	8.37	-0.27	-4.03	0.80	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.22	0.87	0.32	0.35
WVC	387	36	1.12	1.71	0.58	1.79	0.21	1.00	0.21	8.70	-0.29	-4.14	0.97	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-46.92	0.95	0.27	0.27
WWT	110	10	0.51	3.76	0.27	0.51	0.03	0.32	0.11	6.84	-0.21	-3.55	0.99	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.14	1.00	0.04	0.04
CNP	418	40	2.12	0.91	1.10	1.94	0.13	0.91	0.14	8.91	-0.30	-4.20	0.85	0.02	-0.17	-2.60	0.11	-46.11	0.85	0.17	0.17
GOF	201	19	1.41	1.36	0.73	0.93	0.04	0.66	0.07	7.45	-0.24	-3.74	0.86	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-51.77	0.92	0.04	0.04
LEXD	1023	95	1.06	1.81	0.55	4.74	2.17	2.37	0.92	12.98	-0.46	-5.48	1.04	0.02	-0.31	-2.49	0.18	-30.35	0.94	3.30	2.98
LOS	340	32	0.63	3.05	0.33	1.57	0.31	1.00	0.31	8.39	-0.28	-4.04	1.01	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.14	1.00	0.37	0.36
LOSG	1096	103	0.73	2.63	0.38	5.08	1.92	3.13	0.62	13.48	-0.48	-5.64	1.04	0.02	-0.33	-2.48	0.19	-28.42	1.00	2.41	2.30
PARK	414	39	0.65	2.95	0.34	1.92	0.61	1.06	0.57	8.89	-0.30	-4.19	1.01	0.02	-0.17	-2.60	0.11	-46.20	1.00	0.81	0.80
PCD	566	53	0.38	5.05	0.20	2.62	0.48	1.37	0.35	9.91	-0.34	-4.52	1.01	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-42.24	1.00	0.68	0.67
PORT	859	80	1.3	1.48	0.68	3.98	0.30	1.25	0.24	11.88	-0.41	-5.13	0.96	0.02	-0.27	-2.52	0.16	-34.62	0.89	0.68	0.63
TAKA	1702	161	1.26	1.52	0.66	7.89	2.00	3.01	0.67	17.56	-0.64	-6.92	1.00	0.02	-0.47	-2.37	0.26	-12.64	0.83	3.90	3.22
WPI	706	66	2.03	0.95	1.06	3.27	0.93	1.97	0.47	10.85	-0.37	-4.81	0.88	0.02	-0.24	-2.55	0.14	-38.60	0.81	1.00	0.92
EJS	32	3	0.24	8.00	0.13	0.15	0.03	0.11	0.26	6.32	-0.19	-3.39	1.00	0.02	-0.08	-2.67	0.06	-56.16	1.00	0.03	0.03
JAB	29	3	0.6	3.20	0.31	0.13	0.01	0.12	0.10	6.30	-0.19	-3.38	0.99	0.02	-0.08	-2.67	0.06	-56.24	1.00	0.01	0.01
JEN	561	53	2.7	0.71	1.41	2.60	0.16	1.75	0.09	9.87	-0.33	-4.50	1.14	0.02	-0.20	-2.58	0.13	-42.39	0.91	0.20	0.16
JMA	880	82	0.85	2.26	0.44	4.08	1.50	2.08	0.72	12.02	-0.42	-5.18	1.04	0.02	-0.28	-2.52	0.16	-34.06	0.98	2.24	2.11
KJM	484	45	0.82	2.34	0.43	2.24	0.91	1.69	0.54	9.36	-0.31	-4.34	1.02	0.02	-0.19	-2.59	0.12	-44.39	0.99	0.89	0.87
NWH	495	47	1.26	1.52	0.66	2.29	0.65	1.01	0.65	9.43	-0.32	-4.36	0.94	0.02	-0.19	-2.59	0.12	-44.10	0.92	1.03	1.01
PAC	87	8	0.46	4.17	0.24	0.40	0.01	0.30	0.03	6.68	-0.21	-3.50	0.99	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.74	1.00	0.01	0.01
PKC	217	20	0.87	2.21	0.45	1.01	0.11	0.54	0.20	7.56	-0.24	-3.78	0.99	0.02	-0.13	-2.64	0.08	-51.34	0.99	0.15	0.15
SPV	336	30	0.83	2.31	0.43	1.56	0.24	0.77	0.31	8.36	-0.27	-4.03	1.00	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.24	0.99	0.34	0.34
SYLM	715	67	2.4	0.80	1.25	3.31	0.36	1.69	0.21	10.91	-0.38	-4.83	1.05	0.02	-0.24	-2.55	0.14	-38.37	0.84	0.55	0.44
																			EMS	0.40	0.28

Tabla E.7 Edificio de 13 niveles con marco exterior (13NmE)

Registr o	Sa(T1) [cm/s ²]	Sd(T1) [cm]	Tg [seg]	T/Tg	Tg/T	R	RIDRm ax [%]	IDRazo tea [%]	CODr	Ruiz-García (2011)				Iervolino (2012)					RIDRmax		
										teta1	teta2	teta3	C1	teta1	teta2	teta3	teta4	teta5	C1	R-G	Iervolino
LAND	345	81	4.14	0.73	1.36	2.71	1.60	2.82	0.57	10.03	-0.34	-4.55	1.11	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.78	0.89	1.30	1.04
AND	49	11	0.44	6.91	0.14	0.38	0.01	0.31	0.02	6.65	-0.21	-3.49	1.00	0.02	-0.09	-2.66	0.07	-54.86	1.00	0.01	0.01
BICC	141	33	1.23	2.47	0.40	1.11	0.04	0.81	0.05	7.71	-0.25	-3.82	1.00	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.76	0.99	0.04	0.04
DSP	36	8	0.38	8.00	0.13	0.28	0.01	0.29	0.03	6.51	-0.20	-3.45	1.00	0.02	-0.09	-2.67	0.07	-55.41	1.00	0.01	0.01
ERZ	352	82	2.28	1.33	0.75	2.76	0.53	1.27	0.42	10.11	-0.34	-4.58	0.89	0.02	-0.21	-2.57	0.13	-41.47	0.88	0.78	0.77
G01	66	15	0.38	8.00	0.13	0.52	0.01	0.42	0.02	6.85	-0.21	-3.55	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.09	1.00	0.01	0.01
G02	82	19	1.43	2.13	0.47	0.65	0.06	0.62	0.10	7.04	-0.22	-3.61	0.97	0.02	-0.11	-2.65	0.07	-53.37	0.99	0.05	0.05
G03	86	20	0.47	6.47	0.15	0.68	0.02	0.47	0.04	7.08	-0.22	-3.63	1.00	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-53.20	1.00	0.02	0.02
G04	84	20	1.41	2.16	0.46	0.66	0.02	0.50	0.03	7.06	-0.22	-3.62	0.97	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-53.30	0.99	0.02	0.02
G06	37	9	1.15	2.64	0.38	0.29	0.03	0.30	0.09	6.52	-0.20	-3.45	0.98	0.02	-0.09	-2.67	0.07	-55.39	0.99	0.02	0.02
GBZ	140	33	4.03	0.75	1.33	1.10	0.06	0.79	0.07	7.70	-0.25	-3.82	0.84	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.82	0.89	0.05	0.05
GIL	57	13	0.37	8.22	0.12	0.45	0.01	0.36	0.02	6.75	-0.21	-3.52	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.48	1.00	0.01	0.01
HPVY	68	16	0.47	6.47	0.15	0.53	0.36	0.44	0.83	6.88	-0.22	-3.56	1.00	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.00	1.00	0.33	0.33
NPS	87	20	1.08	2.81	0.36	0.69	0.25	0.66	0.38	7.10	-0.22	-3.63	0.99	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-53.14	1.00	0.20	0.20
RRS	265	62	1.04	2.92	0.34	2.08	1.45	1.62	0.90	9.12	-0.30	-4.27	1.01	0.02	-0.18	-2.60	0.11	-45.32	1.00	1.43	1.41
SCE	449	105	0.82	3.71	0.27	3.52	0.84	1.55	0.54	11.21	-0.39	-4.92	1.02	0.02	-0.25	-2.54	0.15	-37.20	1.00	1.46	1.44
SCS	641	150	1.13	2.69	0.37	5.03	1.49	1.99	0.75	13.40	-0.48	-5.61	1.04	0.02	-0.33	-2.48	0.19	-28.72	1.00	2.95	2.82
STG	192	45	1.78	1.71	0.59	1.51	0.10	0.98	0.10	8.29	-0.27	-4.01	0.96	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.52	0.96	0.12	0.11
WVC	200	46	1.12	2.71	0.37	1.57	0.13	0.76	0.17	8.38	-0.28	-4.03	1.01	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.17	1.00	0.21	0.20
WWT	31	7	0.51	5.96	0.17	0.24	0.01	0.24	0.04	6.45	-0.20	-3.43	1.00	0.02	-0.09	-2.67	0.06	-55.64	1.00	0.01	0.01
CNP	149	35	2.12	1.43	0.70	1.17	0.25	0.97	0.25	7.80	-0.25	-3.85	0.89	0.02	-0.13	-2.63	0.09	-50.42	0.93	0.20	0.21
GOF	61	14	1.41	2.16	0.46	0.48	0.16	1.34	0.12	6.79	-0.21	-3.54	0.97	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.33	0.99	0.04	0.04
LEXD	389	91	1.06	2.87	0.35	3.05	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	119	28	0.63	4.83	0.21	0.93	0.07	0.63	0.10	7.45	-0.24	-3.74	1.00	0.02	-0.12	-2.64	0.08	-51.76	1.00	0.07	0.07
LOSG	873	205	0.73	4.16	0.24	6.85	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	168	39	0.65	4.68	0.21	1.32	0.60	1.01	0.60	8.02	-0.26	-3.92	1.00	0.02	-0.14	-2.63	0.09	-49.59	1.00	0.60	0.60
PCD	197	46	0.38	8.00	0.13	1.55	0.70	1.31	0.53	8.35	-0.27	-4.03	1.00	0.02	-0.15	-2.62	0.10	-48.29	1.00	0.62	0.62
PORT	390	92	1.3	2.34	0.43	3.06	1.21	2.17	0.56	10.54	-0.36	-4.71	1.03	0.02	-0.23	-2.56	0.14	-39.80	0.99	1.33	1.28
TAKA	333	78	1.26	2.41	0.41	2.61	1.68	1.88	0.89	9.90	-0.34	-4.51	1.02	0.02	-0.21	-2.58	0.13	-42.30	0.99	1.80	1.75
WPI	360	84	2.03	1.50	0.67	2.82	2.08	2.52	0.83	10.20	-0.35	-4.61	0.95	0.02	-0.22	-2.57	0.13	-41.13	0.91	1.67	1.60
EJS	24	6	0.24	12.67	0.08	0.19	0.00	0.15	0.02	6.38	-0.20	-3.40	1.00	0.02	-0.08	-2.67	0.06	-55.94	1.00	0.00	0.00
JAB	16	4	0.6	5.07	0.20	0.13	0.00	0.16	0.01	6.29	-0.19	-3.38	0.99	0.02	-0.08	-2.67	0.06	-56.28	1.00	0.00	0.00
JEN	554	130	2.7	1.13	0.89	4.34	0.31	1.85	0.17	12.41	-0.44	-5.30	0.83	0.02	-0.29	-2.51	0.17	-32.56	0.79	0.46	0.44
JMA	430	100	0.85	3.58	0.28	3.37	1.06	1.97	0.54	11.00	-0.38	-4.86	1.02	0.02	-0.24	-2.55	0.15	-38.04	1.00	1.40	1.38
KJM	226	53	0.82	3.71	0.27	1.78	0.41	1.13	0.36	8.68	-0.29	-4.13	1.01	0.02	-0.16	-2.61	0.10	-47.01	1.00	0.49	0.49
NWH	179	42	1.26	2.41	0.41	1.40	0.65	1.23	0.53	8.14	-0.27	-3.96	1.00	0.02	-0.15	-2.62	0.09	-49.12	0.99	0.56	0.56
PAC	100	23	0.46	6.61	0.15	0.78	0.04	0.55	0.07	7.24	-0.23	-3.68	1.00	0.02	-0.11	-2.65	0.08	-52.59	1.00	0.04	0.04
PKC	61	15	0.87	3.49	0.29	0.48	0.06	0.45	0.13	6.80	-0.21	-3.54	0.99	0.02	-0.10	-2.66	0.07	-54.29	1.00	0.05	0.05
SPV	237	55	0.83	3.66	0.27	1.86	0.15	1.09	0.14	8.80	-0.29	-4.17	1.01	0.02	-0.17	-2.60	0.11	-46.55	1.00	0.19	0.19
SYLM	428	100	2.4	1.27	0.79	3.36	0.66	1.39	0.48	10.97	-0.38	-4.85	0.87	0.02	-0.24	-2.55	0.15	-38.12	0.85	1.05	1.02
																			EMS	0.29	0.28

E.5 Calculo de IDR_{max}

Tabla E.8 Edificio de 3 niveles marco exterior (3NmE)

Registro	RIDRmax [%]	RIDRmax		IDRmax x [%]	IDRmax											
		R-G	Ierv		Ec1			Ec2			Ec3			Ec4		
					RIDRmax	R-G	Ierv									
LAND	0.75	1.37	0.78	1.74	1.38	2.45	1.43	2.36	3.39	2.41	2.04	2.82	2.08	3.05	3.86	3.09
AND	0.00	0.00	0.00	0.93	0.07	0.07	0.07	1.10	1.10	1.10	1.07	1.07	1.07	0.17	0.17	0.17
BICC	0.06	0.05	0.05	1.20	0.17	0.15	0.16	1.20	1.18	1.18	1.14	1.13	1.13	1.11	1.01	1.04
DSP	0.07	0.07	0.07	1.30	0.19	0.19	0.19	1.22	1.21	1.21	1.16	1.16	1.16	1.19	1.19	1.18
ERZ	3.10	5.36	3.82	4.18	5.47	9.40	6.72	6.31	10.10	7.52	4.93	7.45	5.76	5.33	6.60	5.78
G01	0.01	0.01	0.01	1.13	0.08	0.09	0.09	1.11	1.11	1.11	1.08	1.08	1.08	0.49	0.50	0.50
G02	0.59	0.60	0.55	1.89	1.10	1.12	1.03	2.10	2.12	2.02	1.84	1.85	1.78	2.78	2.80	2.70
G03	0.42	0.40	0.39	1.84	0.80	0.76	0.75	1.80	1.76	1.76	1.62	1.58	1.58	2.43	2.37	2.36
G04	0.15	0.13	0.13	1.83	0.33	0.30	0.29	1.35	1.32	1.31	1.26	1.24	1.23	1.60	1.54	1.52
G06	0.07	0.08	0.07	1.66	0.19	0.20	0.20	1.21	1.23	1.22	1.16	1.17	1.16	1.19	1.24	1.22
GBZ	0.00	0.00	0.00	0.58	0.07	0.07	0.07	1.10	1.10	1.10	1.07	1.07	1.07	0.12	0.08	0.12
GIL	0.00	0.00	0.00	0.92	0.07	0.07	0.07	1.10	1.10	1.10	1.07	1.07	1.07	0.12	0.12	0.12
HPVY	0.21	0.46	0.44	1.96	0.44	0.88	0.83	1.45	1.88	1.83	1.34	1.67	1.64	1.85	2.52	2.47
NPS	0.41	0.56	0.53	2.06	0.78	1.04	0.99	1.78	2.04	1.98	1.60	1.79	1.75	2.40	2.71	2.65
RRS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SCE	1.06	0.92	0.92	2.96	1.91	1.67	1.67	2.88	2.64	2.64	2.43	2.26	2.25	3.49	3.30	3.30
SCS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
STG	0.27	0.44	0.37	1.49	0.54	0.84	0.72	1.56	1.84	1.73	1.42	1.64	1.56	2.05	2.48	2.32
WVC	0.94	0.98	0.90	2.51	1.71	1.77	1.64	2.68	2.74	2.61	2.28	2.33	2.23	3.33	3.38	3.27
WVVT	0.01	0.01	0.01	1.15	0.08	0.08	0.08	1.11	1.11	1.11	1.07	1.07	1.07	0.43	0.43	0.43
CNP	0.30	0.45	0.41	1.48	0.59	0.86	0.78	1.60	1.86	1.78	1.46	1.65	1.60	2.12	2.49	2.40
GOF	0.04	0.02	0.02	1.80	0.14	0.10	0.10	1.17	1.13	1.13	1.12	1.09	1.09	0.98	0.66	0.70
LEXD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	0.02	0.03	0.03	1.66	0.12	0.12	0.12	1.14	1.15	1.15	1.10	1.11	1.11	0.80	0.86	0.85
LOSG	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	0.33	0.37	0.37	1.47	0.65	0.72	0.71	1.65	1.73	1.72	1.50	1.55	1.55	2.21	2.32	2.30
PCD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PORT	3.21	3.72	2.63	4.77	5.66	6.55	4.65	6.49	7.35	5.52	5.05	5.64	4.37	5.40	5.72	4.99
TAKA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
WPI	0.84	1.17	0.88	3.40	1.54	2.11	1.60	2.52	3.07	2.58	2.16	2.58	2.21	3.19	3.63	3.25
EJS	0.01	0.01	0.01	1.15	0.10	0.10	0.10	1.12	1.12	1.12	1.09	1.08	1.08	0.65	0.63	0.63
JAB	0.00	0.00	0.00	0.76	0.07	0.07	0.07	1.10	1.10	1.10	1.07	1.07	1.07	0.15	0.15	0.15
JEN	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
JMA	3.19	3.93	5.00	6.18	5.63	6.92	8.77	6.46	7.70	9.49	5.03	5.88	7.06	5.38	5.85	6.42
KJM	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
NWH	0.99	1.50	1.09	3.73	1.80	2.69	1.97	2.77	3.63	2.93	2.35	2.99	2.47	3.40	4.01	3.53
PAC	0.27	0.27	0.26	1.55	0.54	0.54	0.53	1.55	1.55	1.54	1.42	1.42	1.41	2.03	2.03	2.02
PKC	0.09	0.10	0.10	1.75	0.23	0.24	0.25	1.25	1.26	1.27	1.19	1.20	1.20	1.33	1.37	1.38
SPV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SYLM	2.40	4.13	2.96	3.84	4.25	7.25	5.21	5.13	8.03	6.06	4.09	6.10	4.75	4.81	5.96	5.22
				EMS	1.15	1.55	1.28	0.66	1.47	1.01	0.53	0.84	0.58	0.67	0.93	0.73

Tabla E.9 Edificio de 3 niveles marco exterior e interior (3NmEI)

Registro	RIDR _{max} ax [%]	RIDR _{max}		IDR _{max} x [%]	IDR _{max}											
		R-G	Ierv		Ec1			Ec2			Ec3			Ec4		
					RIDR _{max} ax	R-G	Ierv	RIDR _{max} ax	R-G	Ierv	RIDR _{max} ax	R-G	Ierv	RIDR _{max} ax	R-G	Ierv
LAND	0.14	0.13	0.12	1.06	0.34	0.33	0.30	1.04	1.03	1.01	1.13	1.12	1.11	1.45	1.43	1.38
AND	0.01	0.01	0.01	0.71	0.10	0.10	0.10	0.83	0.83	0.83	0.96	0.96	0.96	0.50	0.51	0.52
BICC	0.02	0.02	0.02	0.93	0.12	0.11	0.11	0.85	0.84	0.84	0.98	0.97	0.97	0.68	0.63	0.64
DSP	0.01	0.02	0.02	0.75	0.10	0.11	0.11	0.83	0.84	0.84	0.96	0.97	0.97	0.55	0.61	0.61
ERZ	2.01	3.78	2.61	3.22	3.82	7.11	4.94	4.07	6.94	5.05	3.53	5.64	4.26	4.50	5.88	5.03
G01	0.01	0.01	0.01	0.79	0.09	0.09	0.09	0.82	0.82	0.82	0.95	0.95	0.95	0.38	0.42	0.42
G02	0.03	0.04	0.04	0.98	0.14	0.16	0.15	0.86	0.88	0.88	0.99	1.00	1.00	0.79	0.88	0.86
G03	0.15	0.16	0.16	1.10	0.35	0.38	0.38	1.05	1.07	1.07	1.14	1.16	1.16	1.49	1.55	1.54
G04	0.03	0.04	0.04	0.86	0.14	0.16	0.16	0.86	0.88	0.88	0.99	1.00	1.00	0.79	0.89	0.88
G06	0.29	0.32	0.29	1.50	0.62	0.67	0.62	1.28	1.33	1.28	1.33	1.37	1.33	1.98	2.07	1.98
GBZ	0.00	0.00	0.00	0.62	0.08	0.08	0.08	0.81	0.82	0.82	0.95	0.95	0.95	0.25	0.33	0.30
GIL	0.02	0.02	0.02	0.63	0.11	0.12	0.12	0.84	0.85	0.85	0.97	0.98	0.98	0.61	0.68	0.69
HPVY	0.32	0.54	0.51	1.56	0.67	1.08	1.03	1.33	1.68	1.64	1.37	1.65	1.62	2.07	2.57	2.52
NPS	0.63	0.70	0.62	2.02	1.25	1.37	1.22	1.83	1.94	1.81	1.77	1.86	1.75	2.76	2.87	2.73
RRS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SCE	1.27	1.14	1.14	2.43	2.44	2.21	2.19	2.87	2.67	2.65	2.60	2.44	2.42	3.71	3.55	3.53
SCS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
STG	0.03	0.06	0.06	1.06	0.14	0.19	0.18	0.87	0.91	0.90	0.99	1.03	1.02	0.80	1.03	0.99
WVC	0.55	0.59	0.52	1.84	1.09	1.17	1.04	1.70	1.76	1.65	1.66	1.72	1.63	2.59	2.67	2.54
WMT	0.05	0.06	0.06	0.91	0.18	0.19	0.19	0.90	0.91	0.91	1.01	1.02	1.02	0.97	1.01	1.01
CNP	0.14	0.27	0.24	1.10	0.34	0.57	0.52	1.04	1.24	1.19	1.13	1.30	1.26	1.45	1.91	1.82
GOF	0.33	0.14	0.16	1.31	0.68	0.34	0.38	1.34	1.04	1.08	1.38	1.13	1.16	2.08	1.47	1.56
LEXD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	0.21	0.27	0.28	1.40	0.57	0.59	0.59	1.24	1.26	1.26	1.30	1.31	1.31	1.91	1.94	1.95
LOGS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	0.09	0.08	0.08	1.72	0.24	0.22	0.22	0.95	0.94	0.94	1.06	1.05	1.05	1.18	1.14	1.14
PCD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PORT	1.35	1.76	1.23	3.12	2.60	3.35	2.38	3.01	3.67	2.81	2.70	3.22	2.55	3.81	4.26	3.66
TAKA	3.66	2.62	1.66	9.35	6.88	4.95	3.17	6.74	5.06	3.50	5.50	4.27	3.09	5.80	5.03	4.15
WPI	1.00	1.62	1.21	2.84	1.94	3.10	2.34	2.43	3.44	2.78	2.25	3.04	2.53	3.35	4.11	3.64
EJS	0.04	0.04	0.04	0.84	0.15	0.16	0.16	0.88	0.88	0.88	1.00	1.00	1.00	0.86	0.88	0.89
JAB	0.02	0.01	0.02	0.69	0.11	0.10	0.11	0.84	0.83	0.83	0.96	0.96	0.96	0.57	0.56	0.57
JEN	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
JMA	1.71	1.83	34.85	6.48	3.27	3.47	64.93	3.59	3.77	57.34	3.16	3.30	19.30	4.21	4.32	15.06
KJM	0.23	0.35	0.32	3.27	0.51	0.74	0.68	1.19	1.38	1.34	1.25	1.41	1.37	1.81	2.16	2.08
NWH	0.58	1.07	0.74	2.87	1.17	2.06	1.45	1.76	2.54	2.01	1.71	2.34	1.91	2.67	3.44	2.95
PAC	0.01	0.01	0.01	0.84	0.09	0.09	0.09	0.82	0.82	0.82	0.96	0.96	0.96	0.45	0.45	0.45
PKC	0.27	0.37	0.35	1.78	0.58	0.76	0.74	1.24	1.40	1.39	1.30	1.43	1.41	1.92	2.19	2.16
SPV	0.31	0.41	0.40	1.43	0.66	0.83	0.83	1.32	1.47	1.47	1.36	1.48	1.48	2.05	2.29	2.28
SYLM	1.22	2.35	1.62	2.81	2.35	4.46	3.09	2.79	4.63	3.44	2.54	3.95	3.04	3.65	4.81	4.11
				EMS	1.15	1.42	10.12	0.82	1.19	8.80	0.99	1.19	2.49	0.92	1.16	1.83

Tabla E.10 Edificio de 6 niveles marco exterior (6NmE)

Registro	RDRm _{ax} [%]	RIDRmax		IDRmax											
		R-G	Ierv	Ec1		Ec2		Ec3		Ec4					
				RDRm _{ax}	Ierv										
LAND	1.63	2.95	1.75	2.98	5.25	3.18	3.75	6.28	3.97	2.72	4.25	2.86	5.00	6.31	5.14
AND	0.03	0.02	0.02	0.20	0.19	0.19	0.65	0.64	0.64	0.75	0.74	0.74	0.99	0.92	0.93
BICC	0.27	0.27	0.27	0.63	0.62	0.63	1.13	1.12	1.13	1.06	1.05	1.06	2.48	2.48	2.48
DSP	0.02	0.02	0.02	0.18	0.19	0.19	0.63	0.64	0.64	0.73	0.74	0.74	0.81	0.89	0.88
ERZ	0.59	0.78	0.51	1.17	1.50	1.03	1.73	2.10	1.58	1.45	1.68	1.35	3.34	3.74	3.16
G01	0.04	0.04	0.04	0.22	0.23	0.22	0.68	0.68	0.68	0.76	0.76	0.76	1.16	1.19	1.19
G02	0.05	0.06	0.05	0.23	0.25	0.24	0.69	0.71	0.70	0.77	0.78	0.78	1.23	1.34	1.29
G03	0.22	0.16	0.16	0.53	0.44	0.43	1.02	0.91	0.91	0.99	0.92	0.92	2.27	2.03	2.02
G04	0.08	0.11	0.10	0.30	0.34	0.33	0.76	0.81	0.79	0.82	0.85	0.84	1.57	1.72	1.68
G06	0.10	0.10	0.10	0.33	0.32	0.33	0.80	0.79	0.79	0.84	0.84	0.84	1.70	1.66	1.68
GBZ	0.02	0.02	0.02	0.19	0.19	0.20	0.65	0.64	0.65	0.74	0.74	0.74	0.96	0.92	0.96
GIL	0.02	0.02	0.02	0.18	0.18	0.18	0.63	0.63	0.63	0.73	0.73	0.73	0.82	0.83	0.83
HPVY	0.15	0.23	0.22	0.41	0.54	0.53	0.89	1.03	1.03	0.90	1.00	0.99	1.95	2.30	2.28
NPS	0.29	0.30	0.29	0.66	0.67	0.66	1.16	1.17	1.16	1.08	1.09	1.08	2.55	2.57	2.54
RRS	0.42	0.60	0.51	0.89	1.20	1.04	1.42	1.76	1.58	1.25	1.47	1.35	2.95	3.38	3.17
SCE	0.10	0.09	0.08	0.32	0.30	0.30	0.79	0.77	0.76	0.84	0.82	0.82	1.66	1.59	1.56
SCS	0.33	0.33	0.30	0.73	0.72	0.67	1.24	1.23	1.18	1.13	1.12	1.09	2.68	2.66	2.58
STG	0.04	0.07	0.06	0.23	0.27	0.25	0.69	0.74	0.71	0.77	0.80	0.79	1.22	1.45	1.36
WVC	0.13	0.11	0.11	0.38	0.34	0.34	0.86	0.81	0.81	0.88	0.85	0.85	1.87	1.72	1.72
WWT	0.05	0.03	0.03	0.23	0.21	0.21	0.69	0.66	0.66	0.77	0.75	0.75	1.25	1.07	1.07
CNP	0.11	0.24	0.17	0.34	0.57	0.44	0.81	1.07	0.92	0.85	1.02	0.92	1.73	2.37	2.04
GOF	0.19	0.17	0.17	0.47	0.44	0.44	0.96	0.92	0.92	0.95	0.92	0.92	2.13	2.05	2.05
LEXD	0.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	0.15	0.12	0.11	0.40	0.35	0.35	0.88	0.82	0.82	0.90	0.86	0.86	1.94	1.78	1.76
LOGS	0.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	0.74	0.67	0.64	1.44	1.31	1.26	2.03	1.89	1.83	1.64	1.55	1.51	3.67	3.52	3.46
PCD	0.98	1.41	1.38	1.85	2.59	2.55	2.49	3.32	3.26	1.93	2.45	2.42	4.09	4.72	4.69
PORT	0.18	0.20	0.18	0.46	0.50	0.47	0.95	0.98	0.95	0.94	0.96	0.94	2.11	2.19	2.11
TAKA	0.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
WPI	0.42	0.52	0.35	0.88	1.04	0.75	1.41	1.59	1.26	1.24	1.36	1.15	2.94	3.18	2.72
EJS	0.01	0.01	0.01	0.17	0.17	0.17	0.62	0.62	0.62	0.73	0.72	0.72	0.72	0.66	0.67
JAB	0.01	0.01	0.01	0.17	0.16	0.16	0.61	0.61	0.61	0.72	0.72	0.72	0.60	0.53	0.53
JEN	0.23	0.39	0.27	0.55	0.82	0.61	1.05	1.34	1.11	1.00	1.20	1.05	2.32	2.84	2.45
JMA	0.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
KJM	0.70	0.79	0.70	1.37	1.53	1.37	1.95	2.13	1.95	1.59	1.70	1.59	3.59	3.77	3.59
NWH	0.43	0.70	0.64	0.89	1.36	1.26	1.42	1.94	1.83	1.25	1.58	1.51	2.96	3.58	3.46
PAC	0.01	0.01	0.01	0.17	0.17	0.17	0.62	0.61	0.61	0.72	0.72	0.72	0.63	0.59	0.59
PKC	0.06	0.09	0.09	0.26	0.31	0.31	0.72	0.78	0.77	0.79	0.83	0.83	1.40	1.62	1.60
SPV	0.18	0.15	0.15	0.47	0.42	0.41	0.95	0.90	0.88	0.94	0.91	0.90	2.11	1.98	1.95
SYLM	0.13	0.25	0.16	0.38	0.59	0.43	0.86	1.09	0.91	0.88	1.03	0.92	1.87	2.41	2.02
				EMS	1.44	1.41	1.43	1.04	1.11	1.05	1.09	1.08	0.68	0.84	0.73

Tabla E.11 Edificio de 9 niveles marco exterior (9NmE)

Registro	RIDR _{max} ax [%]	RIDR _{max}		IDR _{max} x [%]	IDR _{max}											
		R-G	Ierv		Ec1			Ec2			Ec3			Ec4		
					R-Km _{ax}	Ierv	R-G									
LAND	0.62	0.69	0.66	1.81	1.42	1.57	1.50	2.09	2.23	2.16	1.44	1.53	1.49	3.18	3.36	3.28
AND	0.00	0.00	0.00	0.72	0.23	0.23	0.23	0.99	0.99	0.99	0.73	0.73	0.73	0.32	0.32	0.32
BICC	0.20	0.24	0.24	1.60	0.61	0.69	0.69	1.34	1.41	1.41	0.96	1.01	1.00	1.89	2.06	2.05
DSP	0.00	0.00	0.00	0.79	0.23	0.23	0.23	0.98	0.98	0.98	0.73	0.73	0.73	0.21	0.21	0.21
ERZ	0.93	1.10	0.99	3.21	2.04	2.35	2.15	2.66	2.95	2.76	1.80	1.99	1.87	3.85	4.15	3.97
G01	0.00	0.00	0.00	0.82	0.23	0.23	0.23	0.99	0.99	0.99	0.73	0.73	0.73	0.29	0.32	0.32
G02	0.04	0.03	0.03	1.39	0.30	0.29	0.29	1.05	1.04	1.04	0.77	0.76	0.77	0.87	0.83	0.84
G03	0.10	0.10	0.10	1.56	0.42	0.42	0.42	1.16	1.16	1.16	0.84	0.84	0.84	1.38	1.37	1.37
G04	0.02	0.02	0.02	1.24	0.27	0.27	0.27	1.02	1.02	1.02	0.75	0.75	0.75	0.72	0.69	0.71
G06	0.01	0.01	0.01	1.15	0.25	0.24	0.24	1.00	1.00	1.00	0.74	0.74	0.74	0.49	0.46	0.47
GBZ	0.01	0.00	0.01	0.65	0.24	0.23	0.24	0.99	0.99	0.99	0.73	0.73	0.73	0.39	0.32	0.40
GIL	0.00	0.00	0.00	0.55	0.23	0.23	0.23	0.98	0.98	0.98	0.73	0.73	0.73	0.23	0.26	0.26
HPVY	0.05	0.05	0.05	1.54	0.32	0.31	0.31	1.07	1.06	1.06	0.78	0.78	0.78	0.98	0.96	0.96
NPS	0.15	0.17	0.17	1.84	0.51	0.56	0.55	1.24	1.29	1.28	0.90	0.92	0.92	1.65	1.76	1.75
RRS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SCE	0.94	1.27	1.24	2.79	2.05	2.70	2.64	2.67	3.27	3.22	1.81	2.18	2.15	3.87	4.45	4.40
SCS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
STG	0.11	0.10	0.11	1.64	0.43	0.42	0.43	1.17	1.16	1.17	0.85	0.84	0.85	1.41	1.38	1.42
WVC	0.48	0.48	0.47	2.35	1.16	1.15	1.13	1.85	1.84	1.82	1.29	1.28	1.27	2.85	2.83	2.81
WWT	0.01	0.01	0.01	1.15	0.24	0.24	0.24	0.99	0.99	0.99	0.73	0.73	0.73	0.42	0.41	0.41
CNP	0.30	0.45	0.45	1.74	0.82	1.10	1.10	1.53	1.80	1.79	1.08	1.25	1.25	2.30	2.76	2.75
GOF	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LEXD	2.22	3.03	2.80	5.25	4.54	6.11	5.66	4.98	6.43	6.01	3.22	4.07	3.83	5.75	6.63	6.40
LOS	0.22	0.26	0.26	1.70	0.65	0.73	0.73	1.38	1.45	1.44	0.98	1.03	1.03	1.98	2.14	2.13
LOGS	2.89	3.48	3.35	8.09	5.84	6.98	6.74	6.18	7.24	7.01	3.93	4.53	4.40	6.49	7.07	6.95
PARK	0.53	0.63	0.63	2.12	1.26	1.46	1.45	1.94	2.12	2.11	1.34	1.46	1.45	2.97	3.23	3.21
PCD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PORT	0.65	1.17	1.09	2.77	1.49	2.50	2.33	2.15	3.09	2.93	1.48	2.07	1.97	3.27	4.28	4.14
TAKA	3.18	6.17	5.07	6.24	6.40	12.20	10.08	6.70	12.08	10.11	4.22	7.09	6.09	6.78	9.21	8.41
WPI	1.28	1.13	1.09	4.04	2.72	2.42	2.33	3.29	3.01	2.93	2.19	2.02	1.97	4.47	4.21	4.13
EJS	0.00	0.00	0.00	0.69	0.23	0.23	0.23	0.98	0.98	0.98	0.73	0.73	0.73	0.20	0.19	0.19
JAB	0.00	0.00	0.00	0.63	0.23	0.23	0.23	0.98	0.98	0.98	0.73	0.73	0.73	0.22	0.21	0.21
JEN	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
JMA	1.39	1.72	1.65	4.75	2.93	3.56	3.43	3.49	4.07	3.95	2.32	2.67	2.60	4.64	5.11	5.01
KJM	1.55	1.57	1.54	4.18	3.23	3.28	3.21	3.76	3.81	3.75	2.49	2.51	2.48	4.87	4.90	4.86
NWH	0.55	0.75	0.73	2.63	1.28	1.68	1.64	1.96	2.33	2.29	1.36	1.59	1.57	3.01	3.49	3.44
PAC	0.00	0.00	0.00	1.13	0.23	0.23	0.23	0.99	0.99	0.99	0.73	0.73	0.73	0.33	0.29	0.29
PKC	0.28	0.25	0.25	1.96	0.78	0.72	0.72	1.49	1.44	1.44	1.06	1.02	1.02	2.23	2.12	2.12
SPV	0.18	0.16	0.16	1.99	0.57	0.54	0.54	1.30	1.28	1.27	0.93	0.92	0.92	1.79	1.73	1.73
SYLM	0.32	0.44	0.37	2.98	0.84	1.08	0.95	1.55	1.77	1.65	1.10	1.24	1.16	2.35	2.73	2.52
				EMS	1.10	1.39	1.18	0.60	1.11	0.83	1.27	1.08	1.11	0.62	0.91	0.81

Tabla E.11 Edificio de 9 niveles marco exterior e interior (9NmEI)

Registro	RIDRm _{ax} [%]	RIDRmax		IDRm _{ax} [%]	IDRmax											
		R-G	Ierv		Ec1			Ec2			Ec3			Ec4		
					RIDRm _{ax}	Ierv	R-G	RIDRm _{ax}	Ierv	R-G	RIDRm _{ax}	Ierv	R-G	RIDRm _{ax}	Ierv	R-G
LAND	0.44	0.49	0.50	1.39	0.99	1.11	1.77	1.88	1.90	1.18	1.25	1.26	2.55	2.69	2.72	
AND	0.01	0.01	0.01	0.31	0.22	0.23	0.92	0.93	0.93	0.67	0.67	0.67	0.41	0.50	0.50	
BICC	0.19	0.26	0.26	1.39	0.56	0.68	1.29	1.42	1.42	0.89	0.97	0.97	1.73	1.99	1.99	
DSP	0.01	0.02	0.02	0.66	0.23	0.24	0.93	0.93	0.93	0.67	0.68	0.68	0.50	0.52	0.52	
ERZ	0.57	0.70	0.60	2.47	1.23	1.46	2.03	2.29	2.09	1.34	1.49	1.37	2.88	3.18	2.95	
G01	0.02	0.03	0.03	0.57	0.25	0.26	0.94	0.95	0.95	0.68	0.69	0.69	0.60	0.68	0.68	
G02	0.12	0.13	0.14	1.33	0.42	0.44	1.14	1.16	1.17	0.80	0.81	0.82	1.37	1.43	1.46	
G03	0.02	0.02	0.02	1.00	0.24	0.25	0.93	0.94	0.94	0.68	0.68	0.68	0.54	0.60	0.60	
G04	0.08	0.08	0.08	1.05	0.35	0.34	1.06	1.05	1.06	0.75	0.75	0.75	1.14	1.10	1.14	
G06	0.03	0.02	0.02	0.78	0.26	0.25	0.95	0.94	0.95	0.69	0.68	0.68	0.67	0.61	0.63	
GBZ	0.01	0.01	0.02	0.49	0.23	0.23	0.93	0.92	0.94	0.68	0.67	0.68	0.51	0.46	0.57	
GIL	0.03	0.04	0.04	0.41	0.26	0.28	0.96	0.98	0.98	0.70	0.71	0.71	0.73	0.84	0.84	
HPVY	0.08	0.09	0.09	1.28	0.35	0.38	1.06	1.09	1.09	0.75	0.77	0.77	1.13	1.22	1.22	
NPS	0.17	0.20	0.20	1.29	0.51	0.57	1.23	1.30	1.30	0.86	0.90	0.90	1.61	1.77	1.77	
RRS	0.59	1.06	0.99	2.97	1.27	2.10	2.08	2.99	2.87	1.36	1.90	1.83	2.94	3.87	3.76	
SCE	0.07	0.11	0.11	1.74	0.34	0.40	1.05	1.11	1.11	0.75	0.79	0.78	1.10	1.31	1.29	
SCS	0.88	0.92	0.88	2.71	1.77	1.86	2.63	2.73	2.65	1.69	1.75	1.70	3.53	3.63	3.55	
STG	0.29	0.32	0.35	1.26	0.72	0.79	1.47	1.54	1.59	1.00	1.04	1.07	2.09	2.20	2.28	
WVC	0.21	0.27	0.27	1.55	0.58	0.69	1.32	1.44	1.43	0.91	0.98	0.98	1.80	2.02	2.01	
WWT	0.03	0.04	0.04	0.69	0.27	0.28	0.97	0.98	0.98	0.70	0.71	0.71	0.76	0.82	0.82	
CNP	0.13	0.17	0.17	1.48	0.43	0.51	1.15	1.24	1.24	0.81	0.86	0.86	1.40	1.62	1.63	
GOF	0.04	0.04	0.04	0.96	0.28	0.28	0.99	0.98	0.98	0.71	0.70	0.71	0.85	0.80	0.82	
LEXD	2.17	3.30	2.98	4.99	4.08	6.11	5.54	7.43	6.80	3.15	4.37	4.03	5.44	6.64	6.33	
LOS	0.31	0.37	0.36	1.47	0.77	0.86	1.52	1.62	1.62	1.03	1.09	1.09	2.16	2.33	2.32	
LOSG	1.92	2.41	2.30	5.48	3.65	4.51	4.32	4.71	5.67	2.88	3.42	3.30	5.14	5.72	5.60	
PARK	0.61	0.81	0.80	1.92	1.29	1.66	2.10	2.51	2.49	1.38	1.62	1.61	2.97	3.41	3.39	
PCD	0.48	0.68	0.67	2.14	1.06	1.42	1.85	2.24	2.23	1.23	1.46	1.46	2.65	3.13	3.12	
PORT	0.30	0.68	0.63	2.01	0.75	1.42	1.33	1.50	2.24	1.02	1.46	1.40	2.14	3.13	3.02	
TAKA	2.00	3.90	3.22	4.83	3.79	7.19	5.97	4.86	8.62	2.97	4.99	4.29	5.24	7.20	6.57	
WPI	0.93	1.00	0.92	3.37	1.87	1.99	1.86	2.74	2.87	1.75	1.83	1.74	3.64	3.76	3.62	
EJS	0.03	0.03	0.03	0.32	0.26	0.26	0.95	0.96	0.96	0.69	0.69	0.69	0.67	0.69	0.69	
JAB	0.01	0.01	0.01	0.38	0.23	0.22	0.92	0.92	0.92	0.67	0.67	0.67	0.46	0.41	0.41	
JEN	0.16	0.20	0.16	2.54	0.49	0.57	1.22	1.30	1.22	0.85	0.90	0.85	1.58	1.76	1.58	
JMA	1.50	2.24	2.11	4.43	2.88	4.21	3.98	3.86	5.32	2.40	3.23	3.09	4.56	5.52	5.37	
KJM	0.91	0.89	0.87	3.26	1.83	1.80	1.76	2.70	2.66	1.73	1.71	1.68	3.59	3.56	3.52	
NWH	0.65	1.03	1.01	1.88	1.37	2.06	2.02	2.19	2.95	1.43	1.87	1.85	3.07	3.83	3.79	
PAC	0.01	0.01	0.01	0.74	0.22	0.22	0.92	0.92	0.92	0.67	0.67	0.67	0.39	0.39	0.39	
PKC	0.11	0.15	0.15	1.19	0.40	0.47	1.12	1.19	1.19	0.79	0.83	0.83	1.31	1.52	1.52	
SPV	0.24	0.34	0.34	1.35	0.63	0.82	0.81	1.37	1.57	0.94	1.06	1.06	1.90	2.26	2.24	
SYLJM	0.36	0.55	0.44	2.40	0.85	1.18	0.99	1.61	1.98	1.09	1.31	1.18	2.31	2.82	2.54	
				EMS	0.92	0.84	0.78	0.41	0.87	0.66	0.95	0.70	0.46	0.82	0.74	

Tabla E.12 Edificio de 13 niveles marco exterior (13NmE)

Registro	RIDRmax [%]	RIDRmax		IDRmax x [%]	IDRmax											
		R-G	Ierv		Ec1			Ec2			Ec3			Ec4		
					RIDRm	R-G	Ierv									
LAND	1.60	1.30	1.04	4.67	3.34	2.77	2.28	3.18	2.76	2.39	2.35	2.05	1.80	4.38	4.02	3.67
AND	0.01	0.01	0.01	0.50	0.28	0.28	0.28	0.91	0.91	0.91	0.73	0.73	0.73	0.46	0.44	0.44
BICC	0.04	0.04	0.04	1.24	0.34	0.35	0.35	0.95	0.96	0.96	0.76	0.76	0.76	0.92	0.93	0.93
DSP	0.01	0.01	0.01	0.70	0.29	0.28	0.28	0.91	0.91	0.91	0.73	0.73	0.73	0.52	0.46	0.46
ERZ	0.53	0.78	0.77	2.61	1.29	1.77	1.75	1.66	2.01	2.00	1.27	1.53	1.52	2.77	3.25	3.23
G01	0.01	0.01	0.01	0.65	0.29	0.29	0.29	0.91	0.91	0.91	0.73	0.73	0.73	0.50	0.48	0.48
G02	0.06	0.05	0.05	1.21	0.39	0.36	0.37	0.99	0.97	0.97	0.79	0.77	0.77	1.14	1.02	1.03
G03	0.02	0.02	0.02	1.01	0.30	0.31	0.31	0.92	0.93	0.93	0.74	0.74	0.74	0.65	0.67	0.67
G04	0.02	0.02	0.02	1.01	0.30	0.30	0.30	0.92	0.92	0.92	0.74	0.74	0.74	0.64	0.64	0.64
G06	0.03	0.02	0.02	1.18	0.32	0.31	0.31	0.94	0.93	0.93	0.75	0.74	0.74	0.81	0.71	0.71
GBZ	0.06	0.05	0.05	1.19	0.38	0.37	0.37	0.98	0.97	0.98	0.78	0.77	0.78	1.08	1.03	1.06
GIL	0.01	0.01	0.01	0.54	0.29	0.28	0.28	0.91	0.91	0.91	0.73	0.73	0.73	0.47	0.46	0.46
HPVY	0.36	0.33	0.33	1.93	0.97	0.90	0.91	1.42	1.37	1.37	1.10	1.07	1.07	2.36	2.27	2.27
NPS	0.25	0.20	0.20	1.90	0.76	0.65	0.65	1.26	1.18	1.18	0.99	0.93	0.93	2.03	1.83	1.83
RRS	1.45	1.43	1.41	3.13	3.06	3.02	2.98	2.97	2.94	2.91	2.20	2.18	2.16	4.21	4.18	4.16
SCE	0.84	1.46	1.44	2.52	1.88	3.09	3.05	2.10	2.99	2.96	1.59	2.22	2.20	3.35	4.23	4.21
STG	1.49	2.95	2.82	3.79	3.13	5.94	5.70	3.02	5.11	4.94	2.24	3.63	3.52	4.25	5.66	5.57
STG	0.10	0.12	0.11	1.52	0.47	0.49	0.49	1.05	1.06	1.06	0.83	0.84	0.84	1.39	1.46	1.46
WVC	0.13	0.21	0.20	1.64	0.52	0.67	0.66	1.09	1.19	1.19	0.86	0.94	0.93	1.55	1.86	1.85
WVMT	0.01	0.01	0.01	0.70	0.29	0.29	0.29	0.92	0.91	0.91	0.73	0.73	0.73	0.54	0.48	0.48
CNP	0.25	0.20	0.21	1.77	0.75	0.66	0.67	1.25	1.19	1.20	0.98	0.93	0.94	2.01	1.84	1.87
GOF	0.16	0.04	0.04	2.28	0.58	0.35	0.35	1.13	0.96	0.96	0.89	0.77	0.77	1.69	0.96	0.97
LEXD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LOS	0.07	0.07	0.07	1.46	0.40	0.41	0.41	0.99	1.00	1.00	0.79	0.80	0.80	1.16	1.21	1.21
LOGS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PARK	0.60	0.60	0.60	2.38	1.43	1.42	1.42	1.76	1.76	1.76	1.35	1.34	1.34	2.92	2.91	2.91
PCD	0.70	0.62	0.62	2.90	1.61	1.47	1.47	1.89	1.79	1.79	1.44	1.37	1.37	3.10	2.96	2.96
PORT	1.21	1.33	1.28	3.92	2.60	2.84	2.74	2.63	2.81	2.73	1.96	2.09	2.04	3.90	4.07	4.00
TAKA	1.68	1.80	1.75	4.13	3.50	3.74	3.63	3.30	3.47	3.40	2.42	2.55	2.49	4.48	4.61	4.55
WPI	2.08	1.67	1.60	4.73	4.27	3.48	3.36	3.87	3.29	3.19	2.82	2.42	2.35	4.90	4.47	4.39
EJS	0.00	0.00	0.00	0.49	0.28	0.27	0.27	0.90	0.90	0.90	0.72	0.72	0.72	0.29	0.28	0.28
JAB	0.00	0.00	0.00	0.60	0.28	0.27	0.27	0.90	0.90	0.90	0.72	0.72	0.72	0.29	0.23	0.23
JEN	0.31	0.46	0.44	3.17	0.87	1.16	1.12	1.35	1.56	1.53	1.05	1.20	1.18	2.22	2.61	2.56
JMA	1.06	1.40	1.38	3.11	2.32	2.96	2.92	2.42	2.90	2.87	1.82	2.15	2.13	3.70	4.15	4.12
KJM	0.41	0.49	0.49	2.71	1.06	1.22	1.21	1.49	1.60	1.60	1.15	1.23	1.23	2.49	2.68	2.68
NWH	0.65	0.56	0.56	2.44	1.52	1.35	1.34	1.83	1.70	1.70	1.40	1.31	1.30	3.01	2.84	2.82
PAC	0.04	0.04	0.04	0.99	0.34	0.35	0.35	0.95	0.96	0.96	0.76	0.76	0.76	0.91	0.94	0.94
PKC	0.06	0.05	0.05	1.26	0.38	0.36	0.36	0.98	0.97	0.97	0.78	0.77	0.77	1.10	1.01	1.02
SPV	0.15	0.19	0.19	1.83	0.55	0.64	0.64	1.11	1.17	1.17	0.88	0.92	0.92	1.62	1.80	1.80
SYLM	0.66	1.05	1.02	2.79	1.54	2.30	2.24	1.84	2.40	2.36	1.41	1.81	1.78	3.03	3.69	3.64
				EMS	0.90	0.89	0.94	0.63	0.64	0.69	0.99	0.98	1.01	0.31	0.48	0.49

Referencias

Bruneau et al., (2004), "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities", 13th World conference on earthquake engineering, Paper No. 2575, Vancouver, B.C., Canada.

Cimellaro et al., (2010), "Framework for analytical quantification of disaster resilience", *Engineering structures*, 32, 3639-3649.

Burton et al., (2015), "Framework for incorporating probabilistic building performance in the assessment of community seismic resilience", *J. Struct. Eng.*, C4015007, American Society of civil engineers, DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001321.

Wen et al., (2019), "Resilience loss factor for evaluation and design considering the effects of aftershocks", *Soil dynamics and earthquake engineering*, 116 43-49.

Samadian et al., (2019), "Seismic resilience evaluation based on vulnerability curves for existing and retrofitted typical RC school buildings", *Soil dynamics and earthquake engineering*, 127 105844.

Gupta, A., & Krawinkler, H. (1999). "Seismic demands for performance evaluation of steel moment resisting frame structures". Tech. Rep. 132, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.

FEMA-356 (2000), *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency.

FEMA. (2018). "FEMA P-58: Seismic performance assessment of buildings. Volume 1-Methodology". Federal Emergency Management Agency: Washington, DC.

McCormick, J., Aburano, H., Ikenaga & Nakashima, M. (2008). "Permissible Residual Deformation Levels For Building Structures Considering Both Safety And Human Elements", *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, Paper No. 05-06-0071.

Iwata, Y., Sugimoto, H. & Kugumura, H. (2006), “Reparability limit of steel structural buildings based on the actual data of the Hyogoken-Nanbu earthquake”, Proceedings of the 38th Joint Panel. Wind and Seismic effects. NIST Special Publication 1057, 23-32.

Ruiz-García, (2011), “Inelastic displacement ratios for seismic assessment of structures subjected to forward-directivity near-fault ground motions”, Journal of earthquake engineering, 15:3, 449-468

Iervolino I, Chioccarelli E, Baltzopoulos G. (2012). Inelastic displacement ratio of near-source pulse-like ground motions. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 41, 2351-2357.

Ruiz-Garcia, J. & Miranda, E. (2006b). “Evaluation of residual drift demands in regular multistory frame buildings for performance-based assessment”. Earthquake Eng. Struct. Dyn., 35(13):1609-29.

Ramírez et al., (2012) “Fragility functions for pre-Northridge welded Steel momento-resisting beam-to-column connectios”, Engineering structures, 45, 574-584.

FEMA-352, (2000), “Recommended postearthquake evaluation and repair criterio for welded Steel momento-frame building”

Ito y Mori, (2016), “Repair method of damaged Steel framed structures and ultimate seismic state of repair steel frame”, Journal of civil y environmental engineering, DIO:10.4172/2165-784X.83-002.

OpenSees. Open System for Earthquake Engineering Simulation - Home Page. <<http://opensees.berkeley.edu/>> (noviembre, 2019).

Fu Q, Menun, C (2004): Seismic-environment-based simulation of near-fault ground motions. Thirteenth World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Paper No. 322.

Ruiz-García J, Chora C. (2015): Evaluation of approximate methods to estimate residual drift demands in steel framed buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 44(15), 2837-2854.

Christidis AA, Dimitroudi EG, Hatzigeorgiou GD, Beskos DE. (2013): Maximum seismic displacements evaluation of steel frames from their post-earthquake residual deformation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11:2233–2248.

Braco-Haro y Elghazouli, (2018), “Permanent seismic drift in steel moment frames”, *Journal of constructional steel research*, 148, 589-610.

Chora, (2014), “Evaluación de métodos para estimar distorsiones permanentes en edificio de acero”, Tesis grado de maestría, UMSNH.