

Diseño de un edificio alto basado en la resiliencia. Caso de estudio.

T. H. Aung¹, M. S. Ali Talpur²

* Contactar al autor: aung.ait@ait.asia

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i2.811>

Recibido: 11/08/2024 | Correcciones recibidas: 18/03/2025 | Aceptado: 24/04/2024 | Publicado: 01/05/2025

RESUMEN

Este artículo presenta la evaluación del desempeño de un estudio de caso de un edificio alto de manera cuantitativa en términos de daño de componentes estructurales y no estructurales, costo de reparación y tiempo de reparación, siguiendo la metodología mencionada en FEMA P-58, pautas precursoras para el diseño basado en resiliencia. En la práctica habitual del diseño sísmico, la seguridad se considera principalmente para medir el rendimiento de la estructura. La recuperación de la funcionalidad de la estructura, la resiliencia, no está bien abordada en los enfoques de diseño habituales. Si bien los enfoques actuales de diseño sísmico basados en el rendimiento evalúan el desempeño estructural de los edificios explícitamente para diferentes niveles de terremotos, la funcionalidad y las consecuencias posteriores al terremoto no se evalúan bien en el proceso de diseño. Para eventos sísmicos extremos, aunque generalmente se verifican las respuestas globales y locales del sistema estructural de los edificios para evitar el colapso total o parcial del edificio, no se analiza específicamente la extensión del daño a los componentes no estructurales, el contenido del edificio, el tiempo y el costo de la reparación y las víctimas.

Palabras clave: Diseño basado en la resiliencia, máximo terremoto considerado, edificio de gran altura.

Citar como: Aung, T. H., Ali Talpur, M. S. (2025), " *Diseño de un edificio alto basado en la resiliencia. Caso de estudio*", Revista ALCONPAT, 15 (2), pp. 188 – 204, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i2.811>.

¹ Director Ejecutivo, AIT Solutions, Instituto Asiático de Tecnología, Tailandia.

² Coordinador, Unidad de Ingeniería Civil y Estructural, AIT Solutions, Instituto Asiático de Tecnología, Tailandia.

Contribución de cada autor

En este trabajo, T. H. Aung contribuyó a la selección de la construcción del estudio de caso, preparación de la metodología, revisión de los resultados del análisis y preparación del manuscrito. M. S. Ali Talpur contribuyó al desarrollo del modelo de elementos finitos, análisis y evaluación de los resultados del análisis.

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2025) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2026 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2025.

Resilience-based design of a tall building. Case-study.

ABSTRACT

This paper presents the assessment of performance of a case-study tall building in quantitative manner in terms of structural and nonstructural components damage, repair cost and repair time, following methodology mentioned in FEMA P-58, precursor guidelines of resilience-based design. In the current practice of seismic design, safety is primarily considered to measure the performance of the structure. The recovery of the functionality of the structure, resilience, is not well addressed in the current design approaches. Although today's performance-based seismic design approaches assess the structural performance of the buildings explicitly for different levels of earthquakes, post-earthquake functionality and consequences are not well evaluated in the design process. For extreme earthquake events, although the global and local responses of structural system of the buildings are generally checked to prevent the total or partial collapse of the building, the extent of damage to nonstructural components, building contents, repair time and cost and casualties are not specifically analyzed.

Keywords: resilience-based design, maximum considered earthquake, tall building.

Projeto de um edifício alto baseado na resiliência. Estudo de caso.

RESUMO

Este artigo apresenta a avaliação do desempenho de um estudo de caso de um edifício alto de maneira quantitativa em termos de danos de componentes estruturais e não estruturais, custo de reparo e tempo de reparo, seguindo a metodologia mencionada na FEMA P-58, diretrizes precursoras de projeto baseado em resiliência. Na prática usual de projeto sísmico, a segurança é considerada principalmente para medir o desempenho da estrutura. A recuperação da funcionalidade da estrutura, resiliência, não é bem abordada nas abordagens usuais de projeto. Embora as abordagens atuais de projeto sísmico baseado em desempenho avaliem o desempenho estrutural dos edifícios explicitamente para diferentes níveis de terremotos, a funcionalidade e as consequências pós-terremoto não são bem avaliadas no processo de projeto. Para eventos sísmicos extremos, embora as respostas globais e locais do sistema estrutural dos edifícios sejam geralmente verificadas para evitar o colapso total ou parcial do edifício, a extensão dos danos aos componentes não estruturais, o conteúdo do edifício, o tempo e o custo do reparo e as vítimas não são analisados especificamente.

Palavras-chave: projeto baseado em resiliência, terremoto máximo considerado, edifício alto.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

NOMENCLATURA

FEMA	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, Gobierno de los EE. UU.
BRB	Cinturón de contención de pandeo
MCE _R	Terremoto máximo considerado en riesgo
SLE	Nivel de servicio Terremoto
ETABS	Análisis tridimensional extendido de sistemas de construcción
NLTHA	Análisis de historia de tiempo no lineal

1. INTRODUCCIÓN

En la práctica actual de diseño sísmico, la seguridad se considera principalmente para medir el rendimiento de la estructura. Los estándares actuales basados en códigos se centran principalmente en el nivel de desempeño en seguridad humana y la falta de consideración de la funcionalidad de los componentes no estructurales, las interrupciones y la recuperación lenta después de un gran terremoto. Los costos asociados con la pérdida de uso de un edificio durante la reparación pueden ser más altos que el valor del edificio en sí. El enfoque de diseño basado en la resiliencia puede cuantificar el riesgo de tomar decisiones personalizadas para desarrolladores, arquitectos, ingenieros y otros profesionales del diseño con el fin de reducir la incertidumbre, el tiempo de inactividad y las pérdidas financieras futuras.

En este estudio, se presenta el proceso de enfoque de diseño basado en la resiliencia para un edificio de 63 pisos, ubicado en una zona sísmica alta, como se muestra en la Figura 1. Hay tres edificios residenciales de gran altura en el mismo desarrollo, sostenidos por un podio común de dos pisos. El edificio del estudio de caso tiene aproximadamente 197,3 metros de altura sobre el nivel del suelo, con 4 pisos de estacionamiento debajo del nivel del suelo (que se extiende aproximadamente 13 m por debajo del nivel del suelo). La torre consta principalmente de unidades residenciales, una terraza y una terraza de servicios. La planta baja contiene tiendas y patio. En este estudio, se realizó el diseño basado en la resiliencia, centrándose en la parte de la torre del edificio.

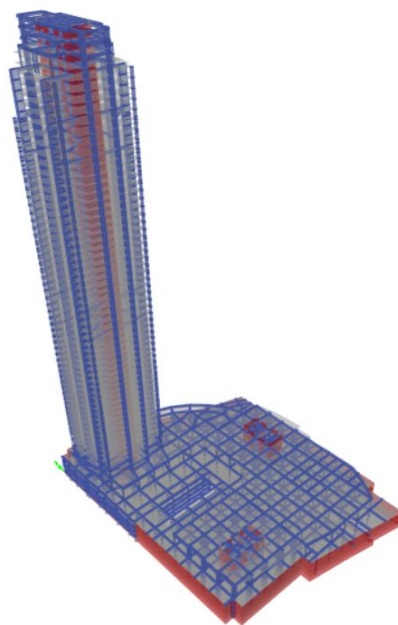


Figura 1. Vista 3D del edificio del estudio de caso

2. SISTEMA ESTRUCTURAL

En el edificio de este estudio de caso, las cargas de gravedad son resistidas principalmente por el sistema de losas planas pretensadas en los niveles del piso de la torre. Las fuerzas laterales son resistidas principalmente por el núcleo de hormigón armado construido alrededor del hueco del ascensor, los núcleos de las escaleras y otros servicios. Se proporcionan dos zonas de estabilizadores en el piso 27. – Piso 31 y piso 50 a 54 a lo largo del eje débil del núcleo. Las correas de contención de pandeo (BRB) se utilizan en el sistema de estabilizadores para acoplar el núcleo y las columnas de estabilizadores. El sistema estructural del edificio se muestra en la Figura 2. Debajo de la torre se utiliza una base de losa tipo radier con un espesor de 3 m a 4 m para soportar la estructura.

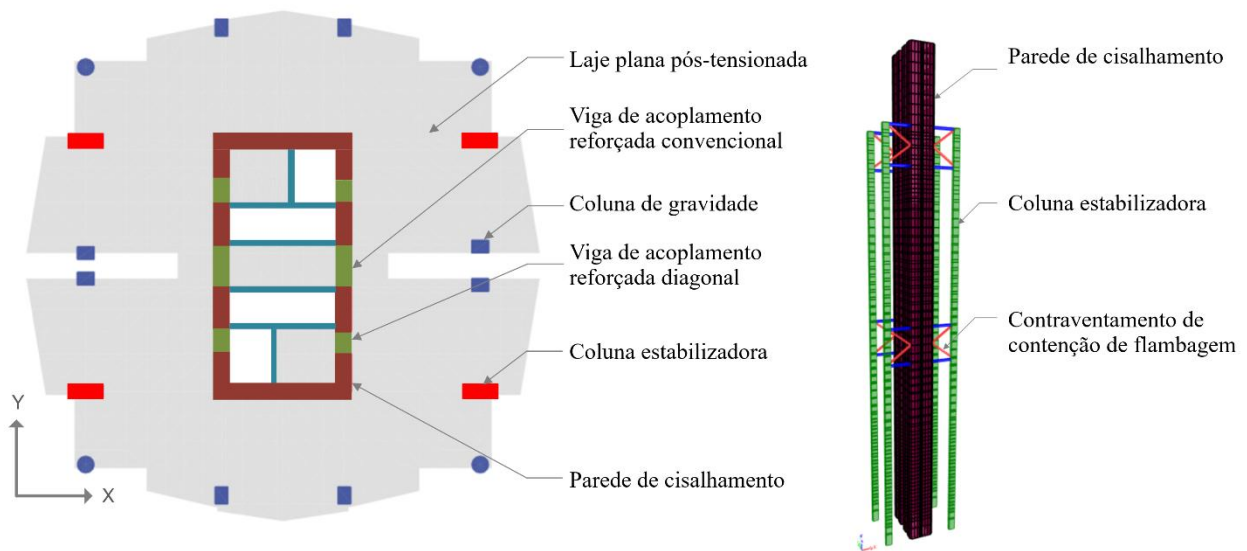


Figura 2. Sistema estructural en planta y vista 3D.

3. METODOLOGÍA

Principalmente, el edificio fue diseñado mediante enfoques de diseño sísmico basados en el rendimiento, con un enfoque principal en el rendimiento estructural bajo viento, terremoto en estados límite de servicio (SLE) y terremoto máximo considerado dirigido al riesgo (MCER). La consideración sísmica se obtuvo de la evaluación probabilística del riesgo sísmico específico del sitio. Los espectros de respuesta de SLE y MCER se muestran en la Figura 3. El terremoto SLE tiene un período de recuperación de 43 años con un 50% de probabilidad de excederse en 50 años y el terremoto MCER tiene un período de recuperación de 2,475 años con una probabilidad de excedencia del 2% en 50 años. Bajo el terremoto SLE (período de recuperación de 43 años), la estructura fue diseñada para permanecer esencialmente elástica con poca escurritía de los elementos estructurales. Bajo el MCE_R y después de un terremoto, la estructura se evaluó en su nivel de desempeño de Prevención de Colapso, con una baja probabilidad de colapso, en el que podrían ocurrir daños estructurales extensos. Las reparaciones de componentes estructurales y no estructurales pueden o no ser económicamente viables. En el análisis de la historia temporal no lineal se utilizó un conjunto de 11 pares de movimientos horizontales del suelo, seleccionados y modificados para corresponder al espectro objetivo del MCER. Los niveles de desempeño evaluados describen cualitativamente la gravedad del daño al edificio; sin embargo, no son cuantitativos en términos significativos para los responsables de la toma de decisiones.

En esta evaluación basada en la resiliencia, se realizó una evaluación basada en la intensidad para evaluar el rendimiento probable del edificio, sujeto a una intensidad de temblor sísmica especificada (FEMA P-58). El rendimiento del edificio se evaluó bajo el terremoto MCE_R , utilizando métricas que son más directamente utilizables e importantes para las partes interesadas, incluido el costo de reparación, el tiempo de reparación de componentes estructurales y no estructurales. Para el análisis y la evaluación se utilizó el resultado del diseño estructural del diseño sísmico basado en el rendimiento. Las respuestas del sistema estructural global y local de los resultados del análisis de la historia temporal no lineal de 11 pares de movimientos horizontales del suelo se utilizan como base para evaluar el daño, el costo de reparación y el tiempo de reparación de otros componentes. Para tener en cuenta las incertidumbres del impacto y las consecuencias del terremoto, se genera un mayor número de conjuntos de demanda simulados (realizaciones) para calcular el resultado confiable. Cada logro representa un posible resultado. En este estudio, se generaron 200 conjuntos de demanda mediante simulación de Monte Carlo en la que las demandas de 11 movimientos del suelo se transformaron matemáticamente en 200 conjuntos de demanda simulados. Utilizando conjuntos de deformación de elementos, derivas y demanda de aceleración de 200 movimientos del suelo, se evaluó el daño a componentes estructurales y no estructurales. La extensión del daño correspondiente al componente se determinó mediante curvas de fragilidad predefinidas (curvas de función de distribución acumulativa), que correlacionan la probabilidad de daño y la demanda de deriva o aceleración. El costo y el tiempo de reparación se estimaron en función de la magnitud del daño.

En este estudio de caso, se evaluaron los daños en vigas de acoplamiento, muros de corte, losas pretensadas, muros cortina, tabiques de yeso, techo, tuberías de acero, sistema HVAC y sistema de rociadores contra incendios.

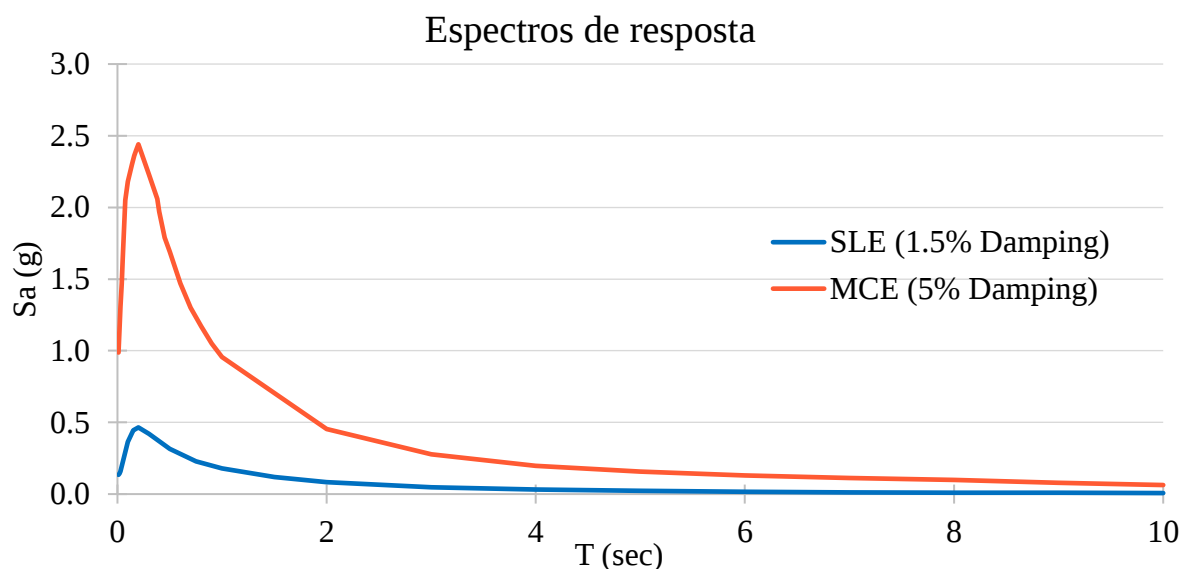


Figura 3. Espectros de respuesta.

4. PROCEDIMIENTO DE MODELADO

4.1 Modelo Elástico

Se crearon modelos informáticos elásticos tridimensionales completos de la torre y todo el podio estudiado utilizando ETABS para investigar el comportamiento general y la respuesta de la estructura bajo viento y terremotos (SLE). Las propiedades nominales del material se utilizan en el modelo de análisis del viento para el diseño de la resistencia, mientras que las propiedades

esperadas del material se utilizan en el modelo SLE y en la verificación de la capacidad de servicio bajo la acción del viento. Los muros y losas se modelan utilizando elementos de vaciado. Los pilares, las vigas de acoplamiento, los BRB y las vigas se modelan utilizando elementos de marco.

4.2 Modelo no lineal

En Perform3D se creó un modelo tridimensional no lineal completo de la torre estudiada y todo el podio. El modelo incluye propiedades inelásticas de los elementos que se predijo que se llevarían más allá de sus límites elásticos. Estas propiedades incluyen la respuesta a la flexión de vigas, pilares, muros de cortante y vigas de acoplamiento, y la respuesta axial de las vigas de refuerzo de hormigón (BRB). Los elementos que se supone que siguen siendo elásticos se modelan con las propiedades elásticas de los elementos. Estas propiedades incluyen la respuesta a la flexión de muros, vigas y pilares, losas pantalla y muros de sótano.

Los muros de cortante se modelan utilizando el elemento de muro de cortante Perform3D. Se utilizaron elementos de fibra no lineales para modelar el comportamiento de flexión no lineal en el plano de los muros de cortante. El hormigón no confinado, el hormigón confinado y el refuerzo vertical de los muros de cortante se discretizaron como fibras en el elemento de muro. Las curvas de tensión-deformación de estos materiales se consideraron para el comportamiento de flexión no lineal en el plano. El comportamiento de flexión y cortante fuera del plano de las paredes se modeló como lineal.

Las vigas de acoplamiento de hormigón armado convencionales se modelaron con cojinetes lisos esféricos de momento en los extremos de la viga. Las curvas de estructura de momento-rotación se definieron con base en la norma ASCE 41-17. La capacidad de fluencia de los cojinetes esféricos se calculó en función del refuerzo longitudinal proporcionado en los extremos de las vigas. Las vigas de acoplamiento diagonales de hormigón armado se modelaron con cojinetes lisos esféricos de corte en el medio del tramo de la viga. El área de corte de la sección de la viga se ha establecido en cero, considerando que no hay deformación por cortante a lo largo de la viga. La capacidad de fluencia de los cojinetes esféricos de desplazamiento cortante se calculó en función del refuerzo diagonal proporcionado en las vigas. Se utilizó el PERFORM3D "componente compuesto BRB" para modelar los BRB. La respuesta PMM de las columnas se modeló con juntas esféricas de fibra en los extremos de las columnas.

5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN MCER

5.1 Resultados del análisis modal

Los períodos naturales de la estructura se muestran en la Tabla 1. El primer modo es la traslación en la dirección X, el segundo modo es la traslación en la dirección Y y el tercer modo es la torsión.

Tabla 1. Resultados del análisis modal.

Modo	Período natural (s)	Proporción de masa en la dirección X (%)	Participación de masa en la dirección Y (%)
1	7,42	59%	
2	6,06		61%
3	4,64		

5.2 Cizallamiento de base

El corte de la base de la torre por encima del nivel del podio se resume en la Tabla 2 para el corte de la base elástica a partir del análisis del espectro de respuesta del MCE_R y el corte medio de la base no lineal del análisis de la historia temporal no lineal de 11 movimientos sísmicos del suelo del MCER. El peso sísmico de la torre sobre el nivel del podio es de 736.800 kN.

Tabla 2. Cizallamiento de la base por encima del nivel del podio

	Cizallamiento de la base en la dirección X	Cizallamiento de la base en la dirección Y
MCE _R (Elástico)	106.880 kN (14,5% del peso sísmico)	102.740 kN (13,9% del peso sísmico)
MCE _R (NLTHA)	59.046 kN (8.0% del peso sísmico)	40.523 kN (5,5% del peso sísmico)

5.3 Desplazamiento por piso

Se verificó el desplazamiento transitorio (en la Figura 4) y el desplazamiento residual (en la Figura 5) de 11 movimientos del suelo a lo largo de la altura de la torre. Se verificaron los desplazamientos residuales para proteger contra la deformación excesiva posterior al terremoto. Los desplazamientos generalmente están dentro de los límites del nivel de desempeño de "Prevención de colapso".

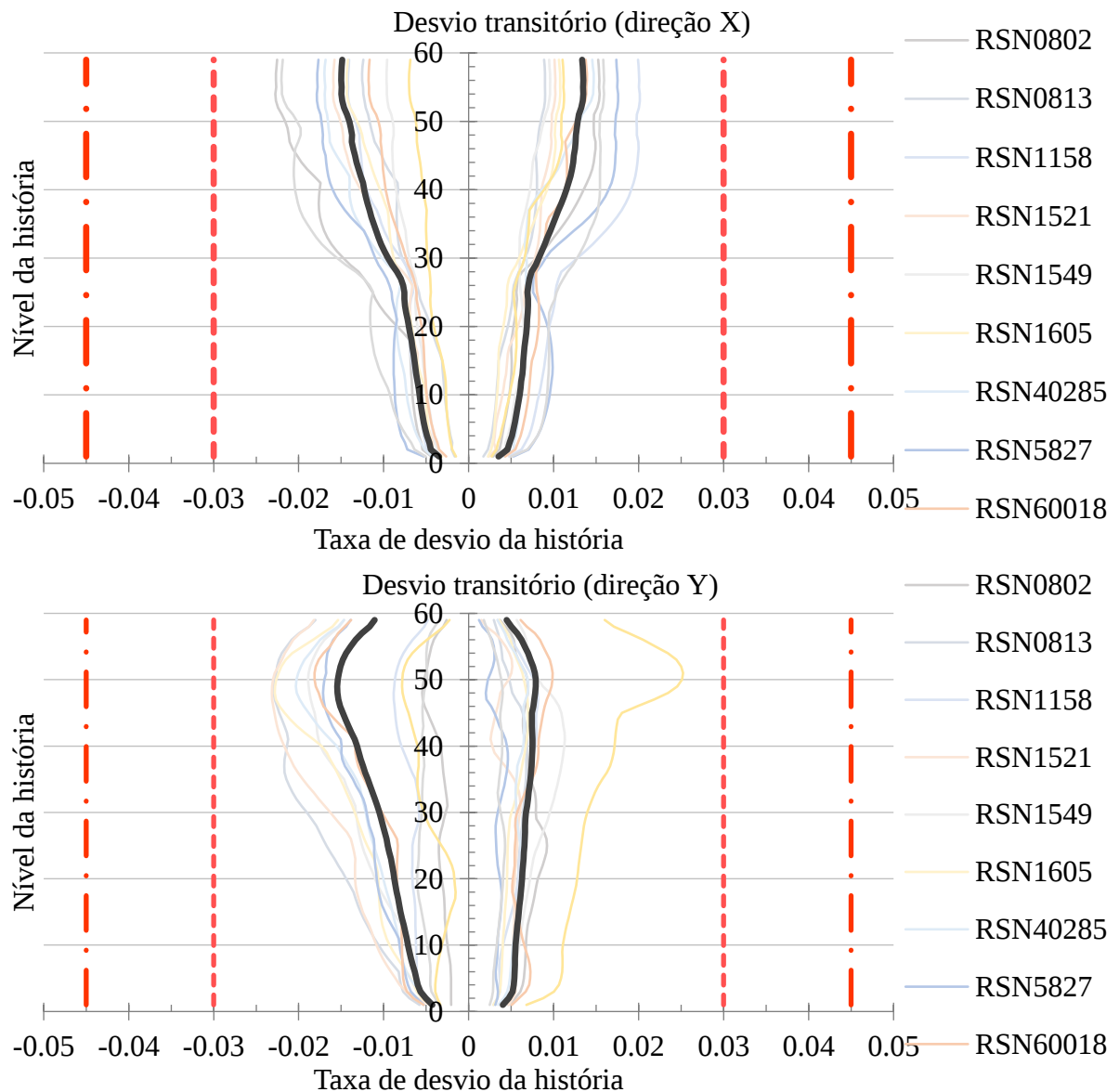


Figura 4. Desviaciones transitorias en las direcciones X e Y.

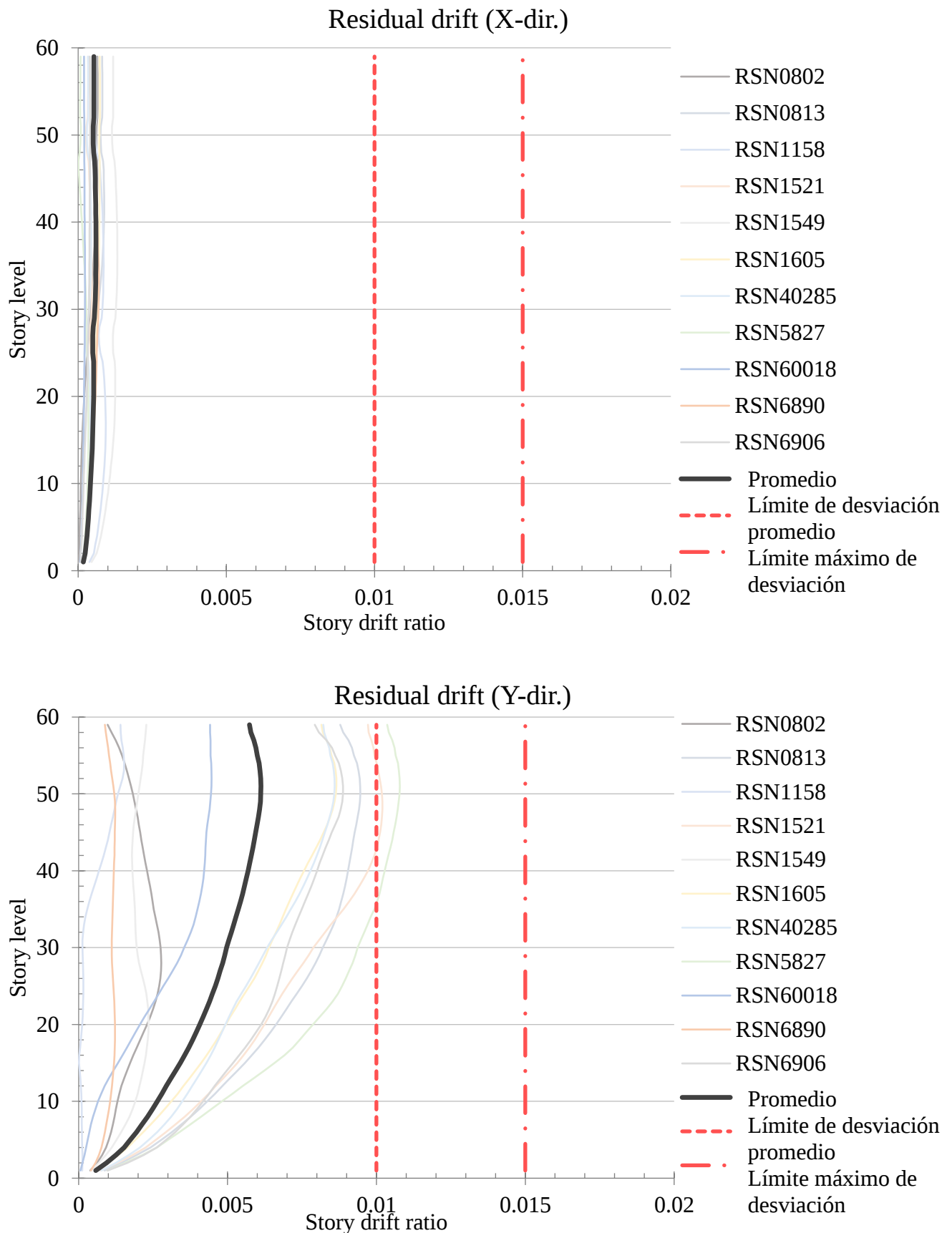


Figura 5. Desviaciones residuales en las direcciones X e Y.

5.4 Historial de aceleración

La aceleración absoluta del piso de 11 movimientos del suelo a lo largo de la altura de la torre se representa en la Figura 6. Generalmente, la aceleración del piso es de 0,5 a 0,6 g en la parte de la torre.

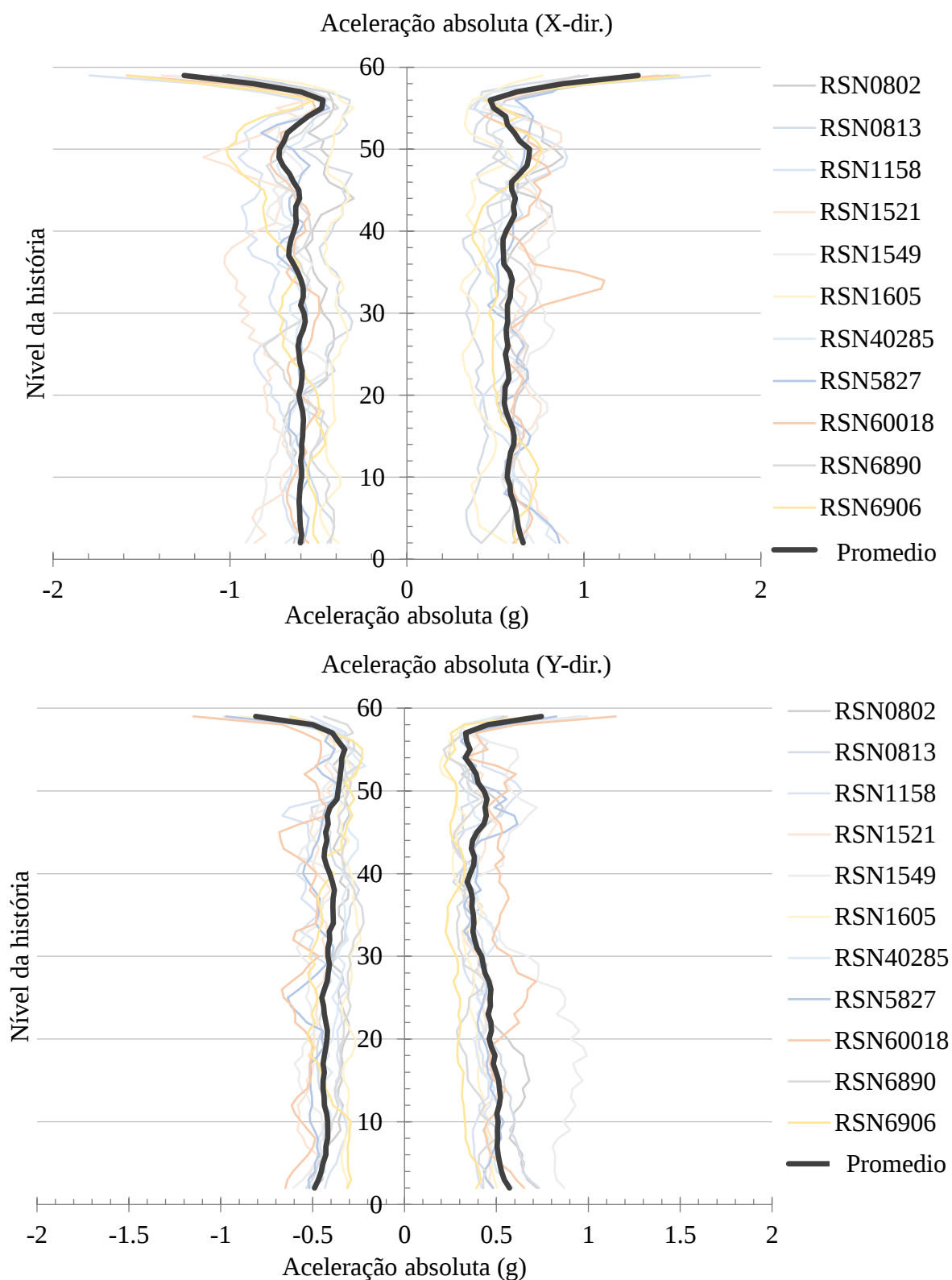


Figura 6. Aceleración absoluta en las direcciones X e Y.

5.5 Muros de cortante

Se verificaron las deformaciones axiales del hormigón y las fibras de refuerzo para la respuesta a la flexión de los muros de cortante a partir de 11 resultados del análisis del movimiento del suelo. Las deformaciones por compresión del hormigón son menores que el límite de deformación por aplastamiento de 0,003 y las deformaciones de armadura son generalmente inferiores a la deformación de fluencia de 0,002, excepto en algunos pavimentos. Los muros de corte pueden ceder al doblarse en la base y cerca de la parte superior bajo terremotos extremos. Se verificó la demanda de corte de cada pata del muro de corte en relación con la capacidad de resistencia al corte de cada pata. La Figura 7 muestra la deformación axial de 11 movimientos del suelo y la deformación promedio en una esquina de la pared de corte sobre la altura.

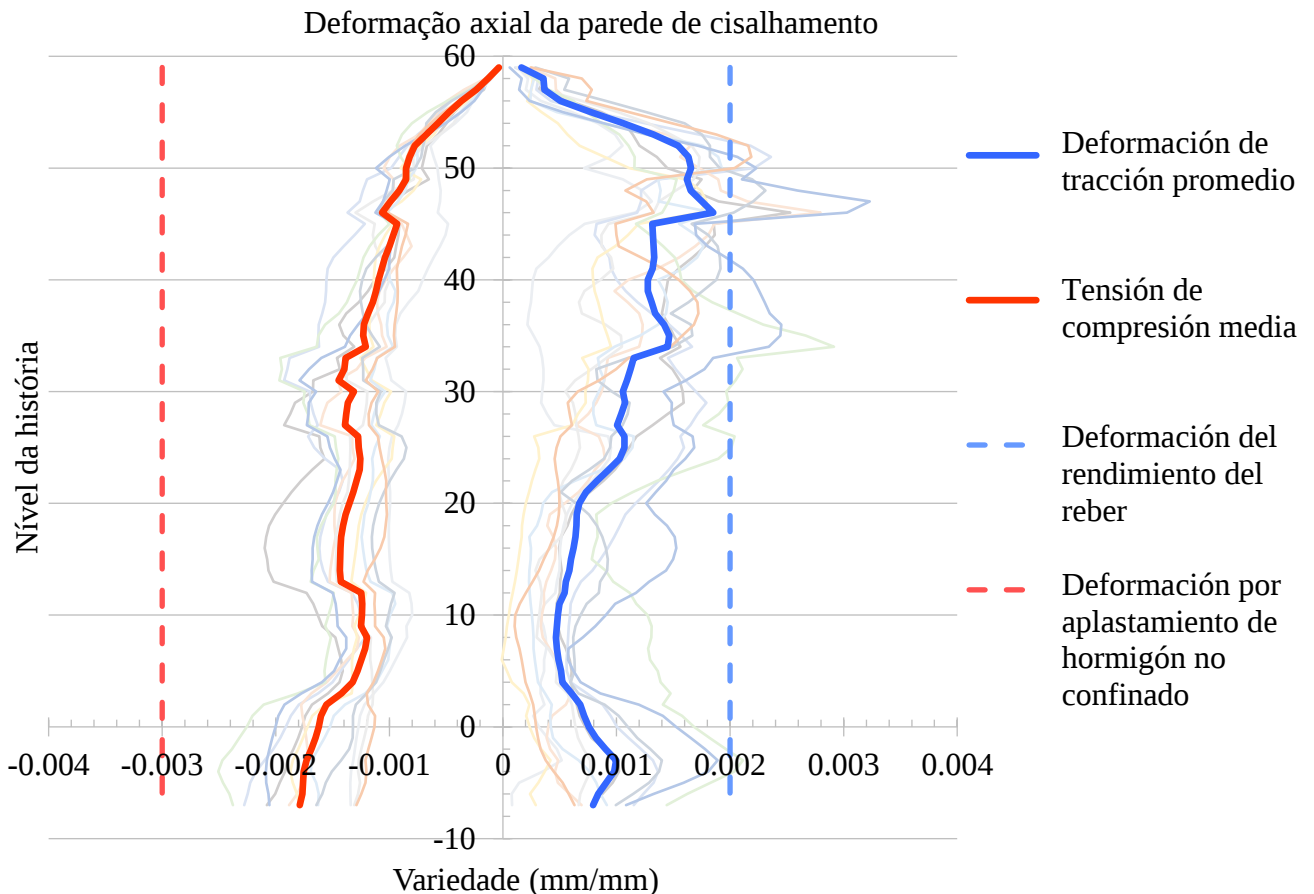


Figura 7. Deformación axial del muro de cortante.

5.6 Vigas de acoplamiento

La rotación de las vigas de acoplamiento se comprobó a lo largo de la altura de la torre. Las rotaciones inelásticas de las vigas de acoplamiento generalmente están dentro de los límites del nivel de rendimiento "Prevención de colapsos". Para el requisito de resistencia al corte de las vigas de acoplamiento reforzadas convencionales, la demanda de corte probable basada en la capacidad de momento de la viga se verificó con la capacidad de corte. La Figura 8 muestra la rotación de una viga de acoplamiento para 11 movimientos de suelo y la rotación promedio sobre la altura. La Figura 9 muestra la ubicación de la viga de acoplamiento y la esquina de la pared de corte donde se verifica la deformación axial.

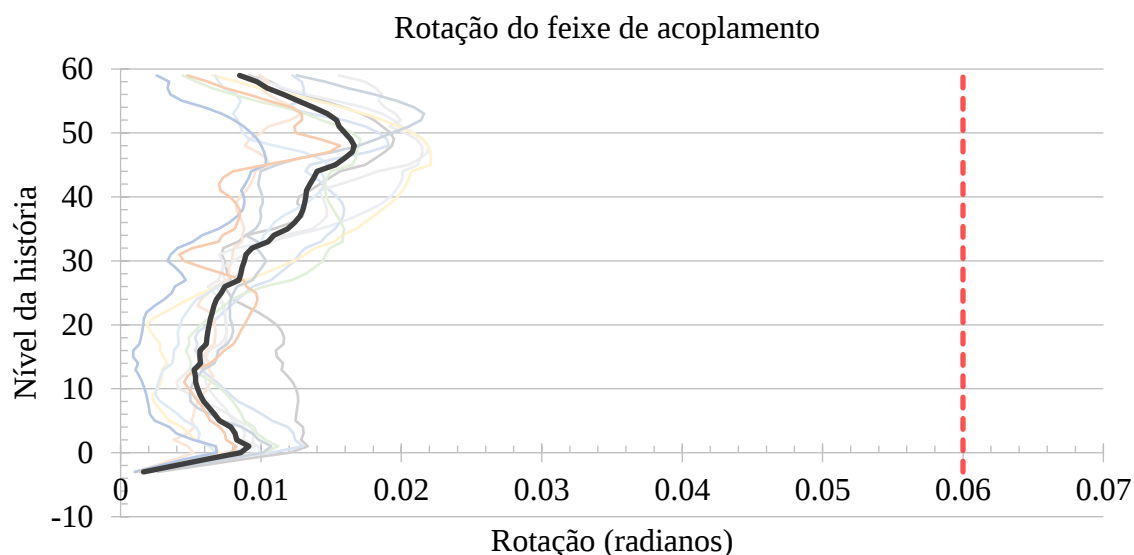


Figura 8. Rotación diagonal de la viga de acoplamiento reforzada

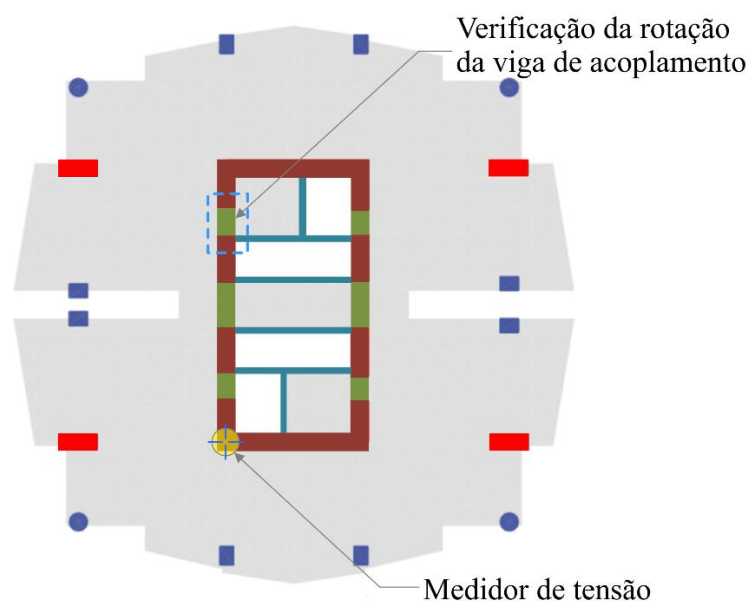


Figura 9. Ubicaciones de los resultados de la deformación axial del muro cortante y rotación de la viga de acoplamiento.

6. CONJUNTOS DE SOLICITUDES SIMULADOS (REALIZACIONES)

Para la evaluación de daños, se utilizó la Herramienta de Cálculo de Evaluación de Desempeño (PACT). Los resultados de 11 conjuntos de movimientos del suelo se transformaron matemáticamente en 200 conjuntos de indicaciones simuladas (realizaciones), en lugar de analizar una gran cantidad de movimientos del suelo. Se generaron realizaciones para la rotación de vigas de acoplamiento, desviaciones transitorias y aceleraciones de pavimento para correlacionar las cantidades de respuesta predichas en el análisis de historia temporal no lineal y las incertidumbres inherentes a la predicción de la respuesta estructural. La Figura 10 muestra la realización de una viga de acoplamiento en el Nivel 22, la Figura 11 presenta las realizaciones para la desviación transitoria del Nivel 27 y la Figura 12 presenta las realizaciones para la aceleración del Nivel 37.

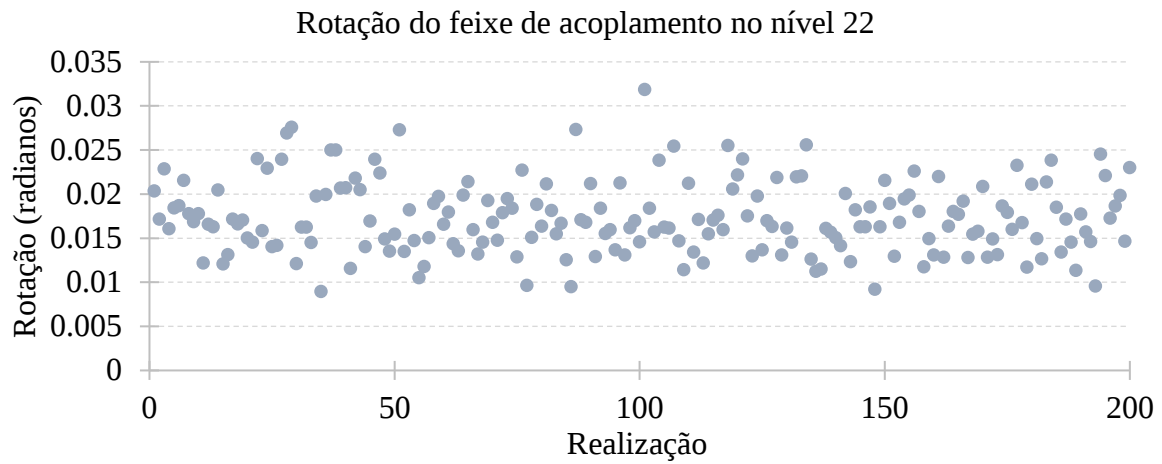


Figura 10. Conjuntos simulados de solicitudes de rotación (realizaciones) de una viga de acoplamiento.

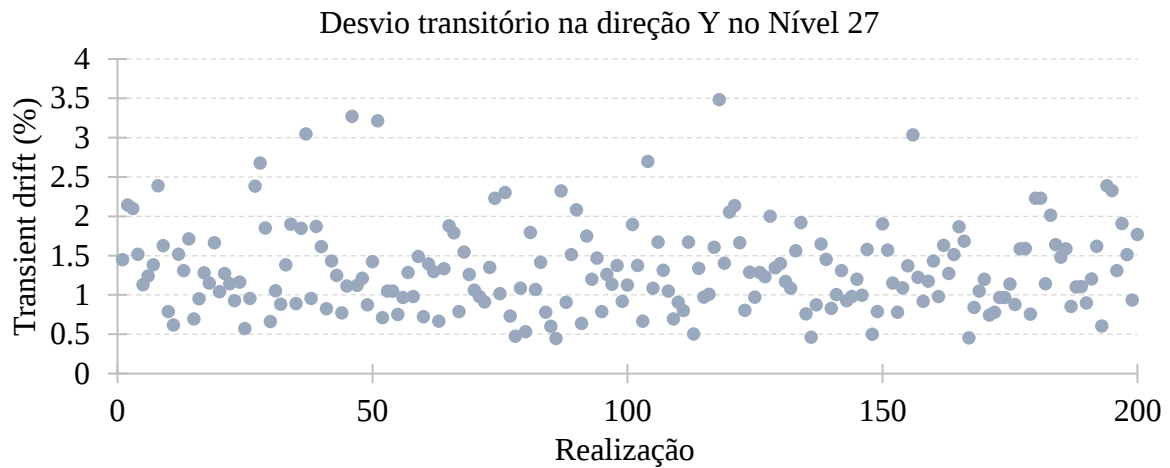


Figura 11. Conjuntos de solicitudes simuladas (realizaciones) de desviación transitoria en Y-dir. en el nivel 27.

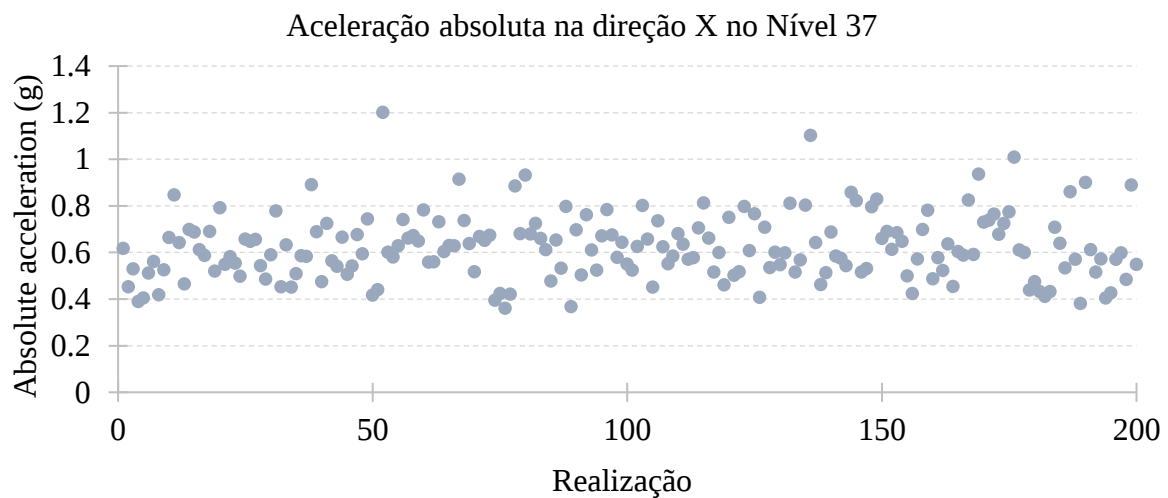


Figura 12. Conjuntos simulados de solicitudes de aceleración de historias de X-dir (realizaciones). en el nivel 37.

7. CURVAS DE FRAGILIDAD DE COMPONENTES

Las funciones de fragilidad se utilizan para indicar la probabilidad de que un componente se dañe en función de un único parámetro predictivo de la demanda, como la deriva del pavimento o la aceleración del suelo. En este estudio se utilizaron funciones de fragilidad desarrolladas para el estado de interés de daño del componente a partir de una serie apropiada de pruebas documentadas por FEMA P-58. Las curvas de fragilidad de muestra para el muro de cortante (en la Figura 13) y el tabique de yeso (en la Figura 14) se muestran en las siguientes figuras.

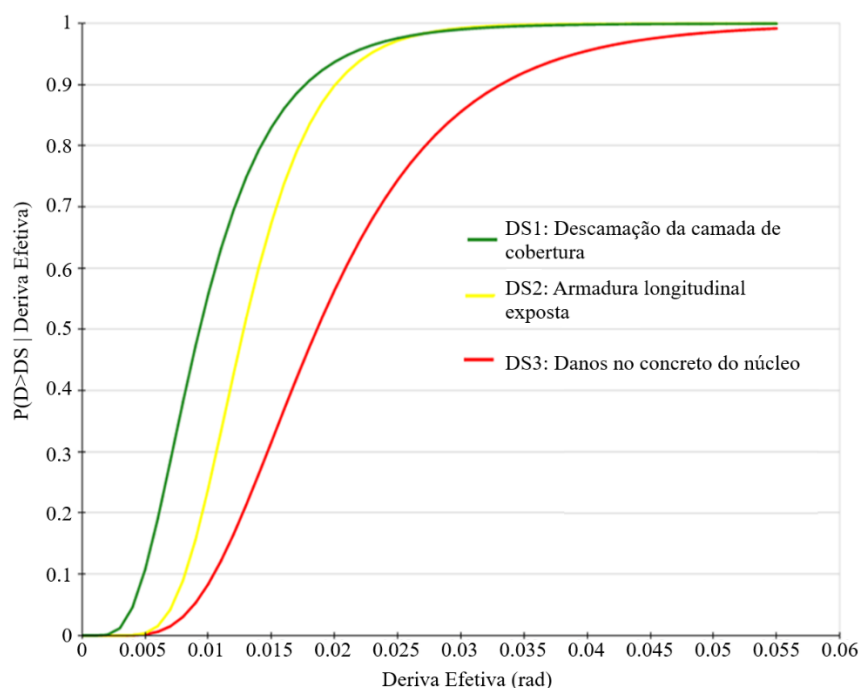


Figura 13. Curva de fragilidad del muro de cortante.

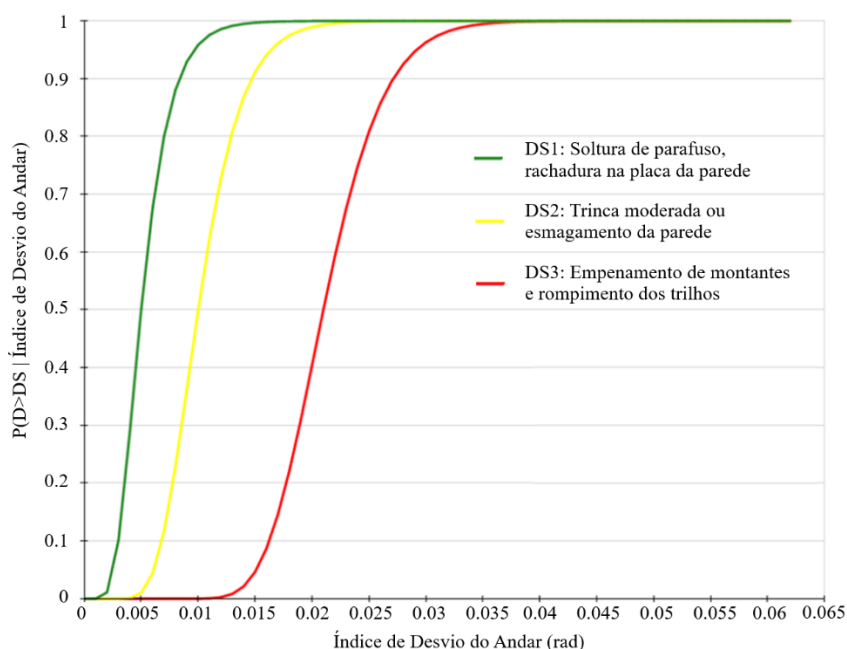


Figura 14. Curva de fragilidad del tabique de yeso.

8. EVALUACIÓN DE DAÑOS

El daño de cada componente se evaluó para cada logro utilizando las funciones de fragilidad correspondientes. En primer lugar, se verificó la probabilidad de cada estado de daño de cada logro de cada componente a partir de la función de fragilidad. Se utilizó la generación de números aleatorios para seleccionar un número entero entre 1 y 100 y asignar el estado de daño de cada logro, considerando la probabilidad conocida de cada estado de daño (FEMA P-58).

La Figura 15 muestra el cálculo de muestra del estado de daño de un muro de corte para una realización. En esta realización, la rotación de la pared de corte es de 0,01 radianes. Con base en la curva de fragilidad, las probabilidades de los estados de daño se muestran en la Tabla 3. Por ejemplo, si el número aleatorio generado entre 1 y 100 es 70, el estado de daño para ese logro será Estado de daño 1.

Tabla 3. Probabilidad de estado de daño para acoplamiento de viga diagonal

	Probabilidad de no causar daño	Estado de probabilidad de daño 1	Estado de probabilidad de daño 2	Estado de probabilidad de daño 3
Ocurriendo		0,54	0,23	0,08
No ocurre		0,46	0,77	0,92
Rango para número aleatorio	1 – 46	47 – 77	78 – 92	93 - 100

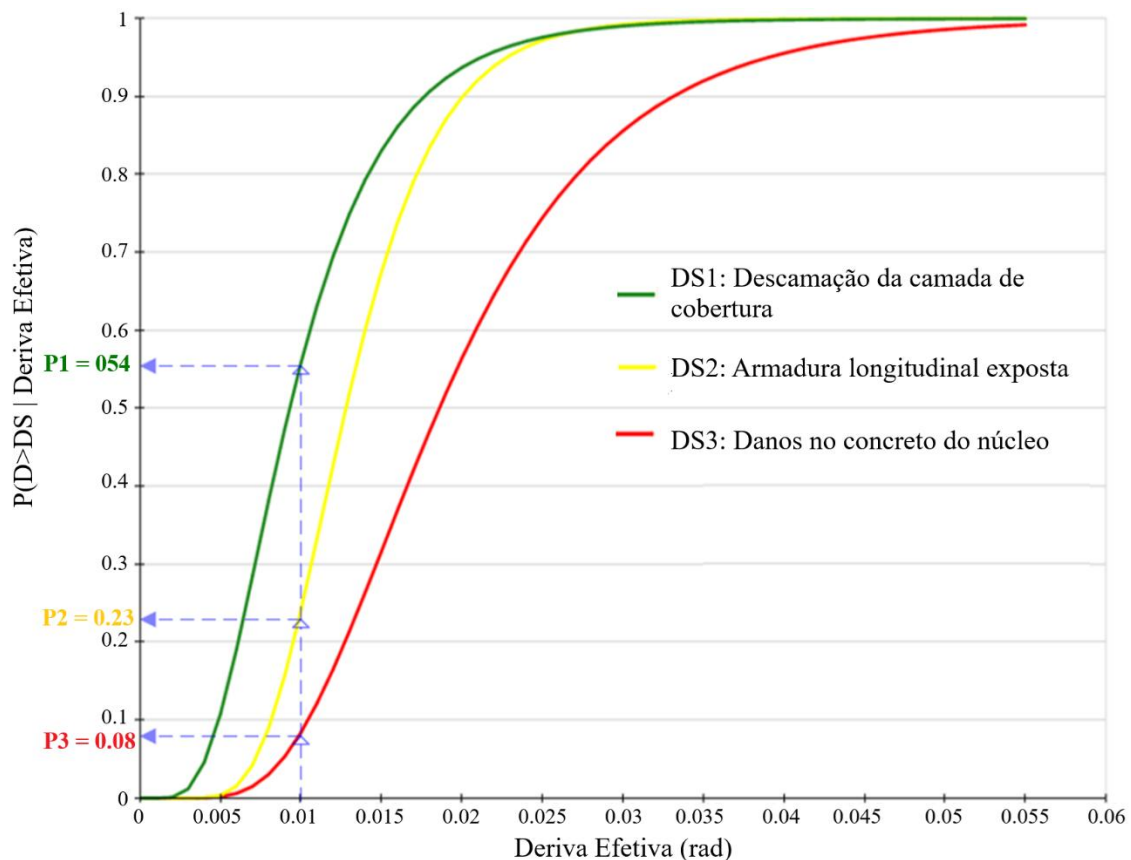


Figura 15. Evaluación del estado de daño de una rotación de un muro de cortante.

9. COSTO Y TIEMPO DE REPARACIÓN

En cada realización, se calculó el costo de reparación para cada componente dañado. Se utilizó la mediana del costo de reparación de cada tipo de componente. También se consideró el costo por unidad de reparación en cantidades de límite inferior y límite superior. Si se daña una cantidad menor de componentes en la realización, el costo medio de reparación por unidad será mayor que el costo medio de reparación por unidad de la realización con un mayor número de componentes a reparar (FEMA P-58).

El tiempo de reparación se estimó simplemente aplicando el factor de mano de obra al costo base de la reparación, en el que está integrado el costo de la mano de obra. A partir del costo total de la mano de obra, se estimó el tiempo de reparación junto con la tasa de mano de obra. El número de días de reparación se estimó dividiendo las horas de trabajo determinadas para cada logro por el número de trabajadores que se pueden acomodar dentro del edificio durante la reparación.

La Figura 16 muestra el costo promedio de reparación de las realizaciones 80 y 98 con respecto al tipo de componente. La Figura 17 muestra el costo de reparación de cada tipo de componente de cada realización. No se ha calculado el coste de reparación de las realizaciones en las que la desviación residual supera el límite. La Figura 18 muestra la función de distribución de probabilidad acumulada del costo total de reparación con el valor de la mediana. La Figura 19 muestra el tiempo de reparación para cada tipo de componente de cada realización.

Se encontró que el costo aproximado de la reparación es de US\$ 9,5 millones (valor promedio), lo que representa alrededor del 36% del costo de reposición (US\$ 26 millones) de todo el edificio. El tiempo de reparación es de aproximadamente 12 meses (valor medio).

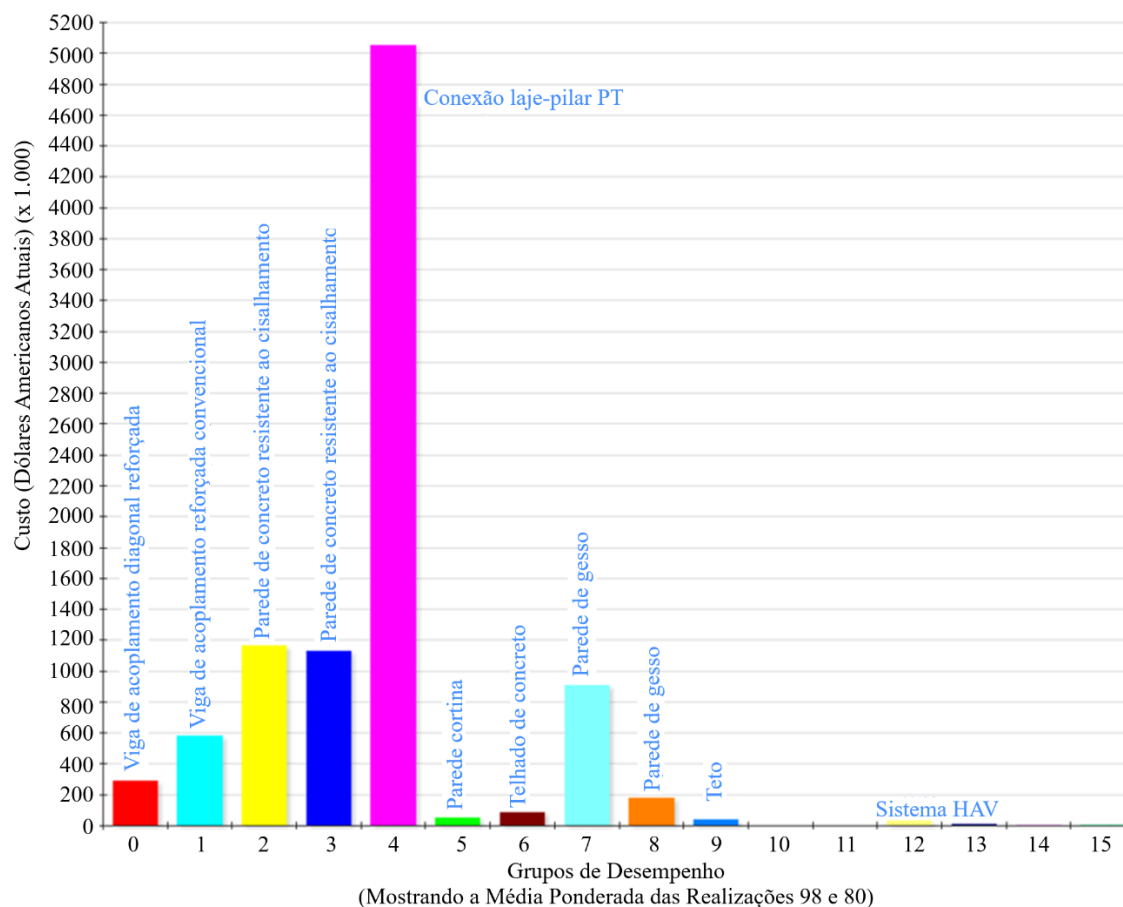


Figura 16. Costo de reparación de cada tipo de componente para realizaciones promedio de 80 y

98.

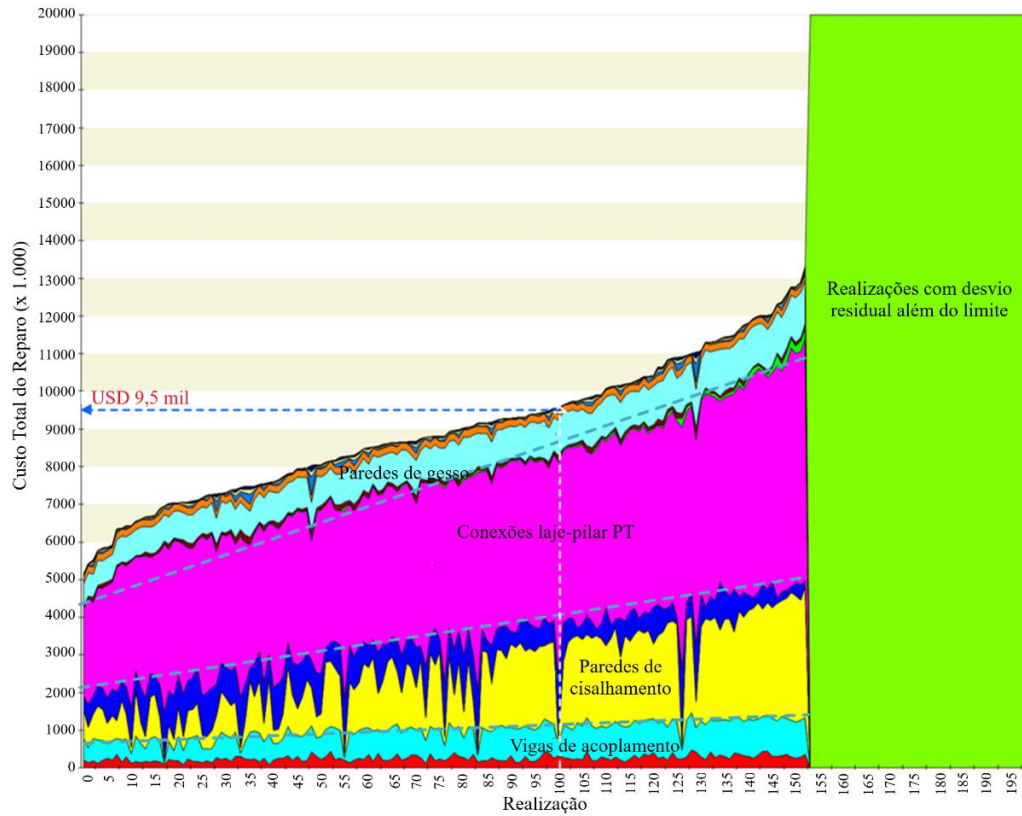


Figura 17. Custo de reparación de cada tipo de componente para cada realización.

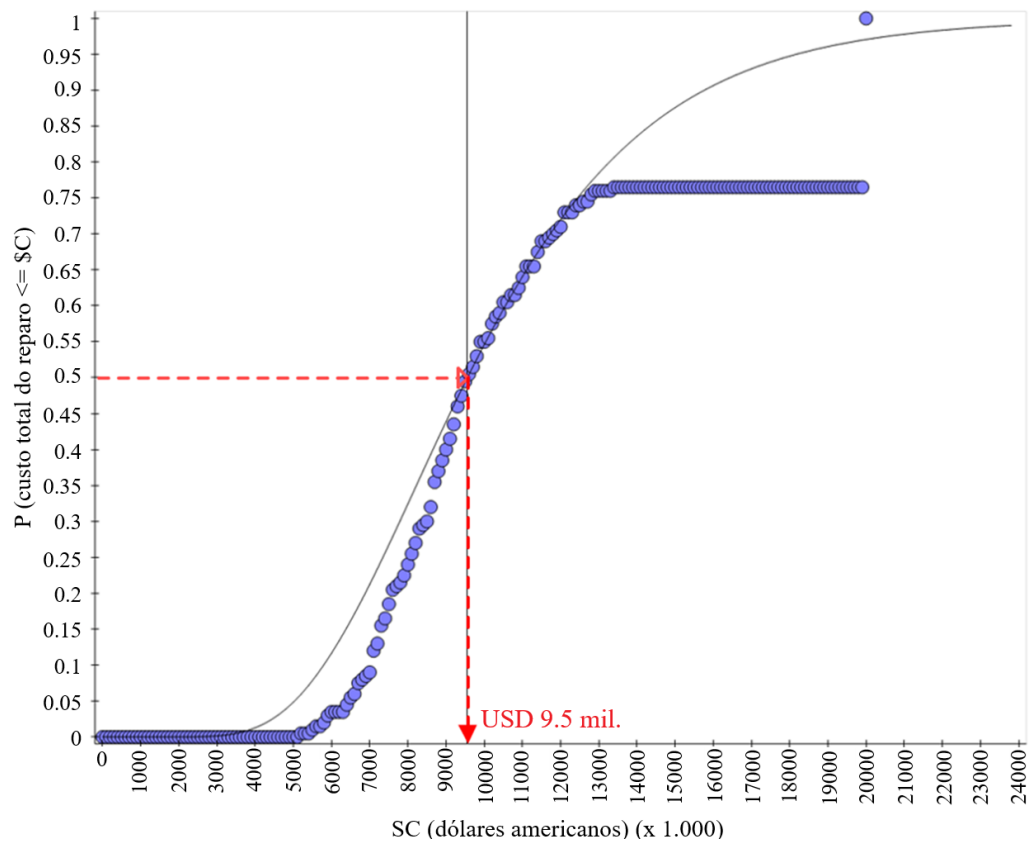


Figura 18. Probabilidad de costo de reparación.

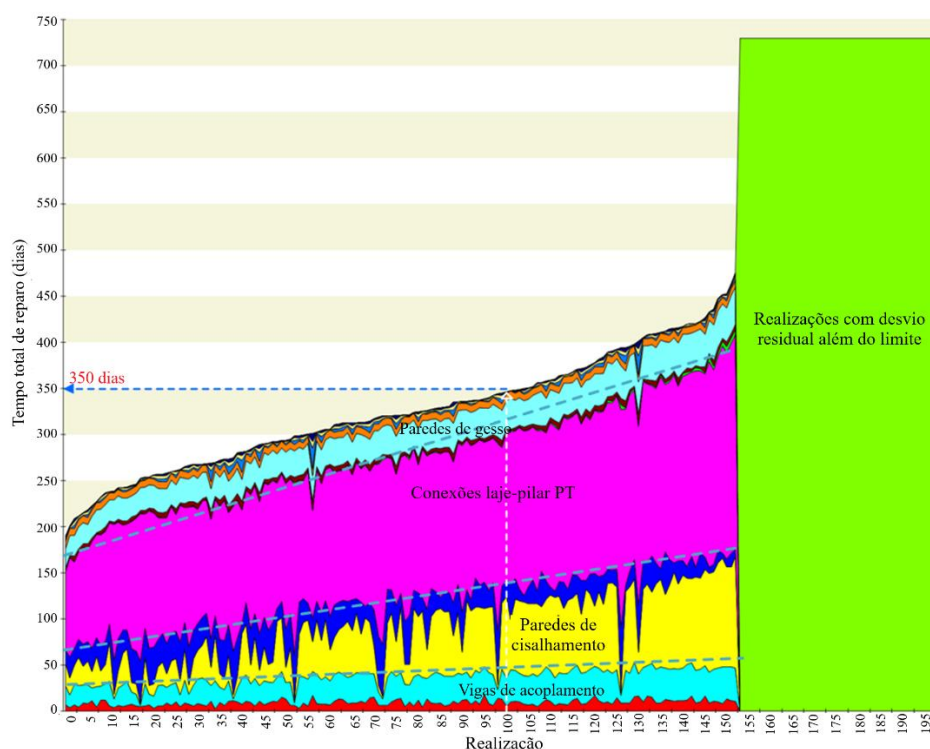


Figura 19. Tiempo de reparación de cada tipo de componente para cada logro.

10. CONCLUSIONES

El diseño basado en la resiliencia se llevó a cabo para un edificio de estudio de caso que se diseñó utilizando el enfoque de diseño sísmico basado en el rendimiento. El edificio fue diseñado para lograr una baja probabilidad de colapso bajo el terremoto MCER. Se realizó una evaluación basada en la intensidad de los componentes estructurales y no estructurales bajo el terremoto MCE_R para evaluar el alcance del daño, el costo de reparación y el tiempo de reparación. Se ha observado que hay un impacto significativo en términos de costo y tiempo de reparación, a pesar de que el edificio ha sido diseñado para cumplir con los requisitos de seguridad pública. En resumen, el enfoque de diseño basado en la resiliencia puede apoyar el proceso de toma de decisiones de los desarrolladores de edificios y los profesionales del diseño para cuantificar el riesgo y reducir la incertidumbre.

11. GRACIAS

Los autores desean expresar su más profundo agradecimiento a los ingenieros estructurales que llevaron a cabo el diseño sísmico basado en el rendimiento y al desarrollador del edificio del estudio de caso.

12. REFERENCIAS

- FEMA P-58-1 (2018). *Evaluación sísmica del comportamiento de los edificios. Volumen 1 – Metodología*, Segunda Edición.
- FEMA P-58-2 (2018). *Evaluación sísmica del comportamiento de los edificios. Volumen 2 – Guía de implementación*, segunda edición.
- FEMA P-58-7 (2018). *Construyendo el rendimiento que necesita. Una guía de herramientas de última generación para el diseño y la evaluación sísmica*.