

Diseño basado en desempeño para el refuerzo de edificios escolares

PALAZZO, Gustavo Luis

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Departamento de Ingeniería Civil - CeReDeReC
gpalazzo@frm.utn.edu.ar

Resumen

Instituciones internacionales promueven en el sector educativo la resiliencia y una reducción de riesgos de desastres. En lo referente al riesgo sísmico la mayoría de los reglamentos mantienen su filosofía de diseño. Se conserva el objetivo de seguridad de vida para el terremoto de diseño, que implica daños importantes en la construcción, siendo posiblemente necesario su refuerzo o demolición. Si bien para edificios escolares se fija una demanda sísmica mayor (a efectos de esperar menores daños ante el sismo de diseño), no se establecen prescripciones para estimar de manera racional el daño probable en el edificio. Por ello, se propone en este trabajo analizar la situación internacional y nacional en relación con la infraestructura escolar, y proponer el diseño basado en desempeño para lograr edificios existentes más seguros. Luego del análisis mencionado, donde se destacan los inconvenientes de la filosofía de diseño actual, y la visión que se establece a nivel internacional, y nacional en relación con la respuesta de las escuelas frente a terremotos, se plantea sintéticamente el diseño basado en desempeño a efectos de promover escuelas seguras. En las conclusiones se destaca el análisis realizado, y se resalta el método de diseño propuesto como desarrollo factible.

Palabras claves: escuelas seguras, riesgo sísmico, diseño sísmico basado en desempeño.

Performance-based design for school building retrofit

Abstract:

International institutions promote resilience and a reduction of disaster risks in the education sector. Regarding seismic risk, most regulations maintain their design philosophy. The objective of life safety for the design earthquake, which implies significant damage to the building, is retained, possibly requiring reinforcement or demolition. Although a higher seismic demand is set for school buildings (to expect lower damage in the design earthquake), no provisions are established to rationally estimate the probable damage in the building. Therefore, this work proposes to analyze the international and national situation regarding school infrastructure and propose performance-based design to achieve safer existing buildings. After the mentioned analysis, which highlights the drawbacks of the current design philosophy, and the international and national vision regarding schools' response to earthquakes, performance-based design is synthetically proposed to promote safe schools. The conclusions emphasize the analysis conducted and highlight the proposed design method as a feasible development.

Keywords: safe schools, seismic risk, performance-based seismic design

Introducción

En la comunidad internacional, los edificios escolares tienen una consideración especial. Se busca lograr que la infraestructura escolar (nueva o existente) alcance la condición de “escuela segura” frente a los diversos riesgos que pueden enfrentar estas comunidades educativas.

En lo que respecta al riesgo sísmico, el reglamento argentino respectivo también hace una consideración especial para las construcciones escolares. La incluye en un grupo donde la demanda sísmica se mayor en un 30% respecto de la demanda para edificaciones de uso común. Se espera con ello que, ante la ocurrencia del denominado sismo de diseño, estas construcciones especiales presenten un menor daño.

En este trabajo se analiza la situación antes planteada, mostrando deficiencias en el procedimiento de evaluación y diseño del reglamento argentino. Además, se propone el diseño basado en desempeño como un procedimiento más racional para asegurar determinados niveles de daño en una construcción, según diversos niveles de demanda sísmica.

Para fundamentar la hipótesis anterior, en las secciones siguientes se analiza: (i) el nivel de desempeño que para el sismo de diseño está previsto en el reglamento argentino; (ii) la visión internacional sobre la reducción de riesgo y el desarrollo de la resiliencia en el ámbito de la educación, (iii) la visión general de Argentina en relación con la reducción de riesgo, y la consideración en particular que se hizo en el país para los edificios escolares (según el plan 2024 – 2030); (iv) la caracterización de los edificios escolares en una zona del país con la mayor peligrosidad sísmica, y algunas estrategias de refuerzo que se han implementado; y (v) la metodología de diseño basado en desempeño que podría implementarse para lograr el objetivo de respuesta propuesto en el país para los edificios escolares.

Nivel de desempeño previsto en el reglamento argentino

El Reglamento INPRES – CIRSOC 103 (2018) indica en sus objetivos que sus prescripciones se establecen con el propósito principal de evitar el

colapso total o parcial de la construcción, y evitar pérdidas de vida. No se establece como objetivo limitar los daños ni mantener las funciones de las construcciones luego de la ocurrencia de un terremoto.

Se destaca también en los comentarios que está admitido en el Reglamento la posibilidad de daños para el sismo de diseño, que es el que queda definido por los espectros establecidos en el Capítulo 3 del mismo. Así, se pueden esperar daños estructurales y no estructurales para el sismo de diseño, porque el Reglamento admite comportamiento inelástico de las estructuras, y acepta deformaciones que pueden ocasionar también daños en componentes no estructurales.

Para sismos más intensos que el de diseño, se agrega en los comentarios, se pretende que la probabilidad de colapso de las construcciones sea baja, aunque puedan quedar gravemente dañadas. Se enfatiza que aún para sismos relativamente frecuentes, en muchas construcciones es imposible evitar los daños o garantizar la ausencia de los mismos. Así es que el Reglamento pretende dar un alto grado de protección a la vida, aunque con daños estructurales o no estructurales. El objetivo del reglamento es entonces establecer los requisitos mínimos para proporcionar razonable y prudente seguridad de vida.

Por otra parte, se considera necesario que ciertas construcciones soporten sismos intensos con menos daños que otras; son aquellas que, por su ocupación o función son instalaciones esenciales para la comunidad. Es por eso que las construcciones se clasifican por su destino, y se les asigna un sismo de diseño de intensidad variable según el mismo.

En el caso de los edificios considerados en este trabajo el Reglamento los incluye en el grupo A, que son las construcciones o instalaciones cuyo colapso tiene gran repercusión debido a la ocupación o el uso; o construcciones cuyo contenido es de gran valor o de gran importancia pública; o construcciones de uso público de más de 300 m² y que permitan la presencia de más de 100 personas. Para estos edificios se asigna un factor de riesgo de 1,3; mientras que para construcciones del grupo B ese factor de riesgo es igual a 1,0 (construcciones destinadas a vivienda unifamiliar o multifamiliar; hoteles, comercios e industrias no incluidos en el grupo A). Por lo tanto, el sismo de

diseño para edificios escolares tendrá ordenadas espectrales un 30 % mayor que el sismo de diseño para edificaciones del grupo B.

No queda cuantificado en el Reglamento el menor daño que se produciría en las construcciones del grupo A, respecto a las construcciones del grupo B si ocurriera el sismo de diseño previsto para estas últimas. Tampoco se indica cómo se verifica que la probabilidad de colapso de los edificios será baja para sismos mayores al de diseño.

Es importante resaltar que la mayor parte del Reglamento está referido a construcciones nuevas. Solo se tiene un capítulo, el 11, que en 8 páginas establece requisitos para las construcciones existentes. En este capítulo se clasificada a las construcciones según la importancia de la obra actual, la calidad sismorresistente de la obra primitiva y la capacidad sismorresistente de la misma, para luego establecer las exigencias y comprobaciones que deben realizarse, así como las excepciones al reglamento que pueden aceptarse. Este capítulo del Reglamento mantiene las especificaciones del Código de Construcciones Sismorresistente de la Provincia de Mendoza (1987). Se destaca la falta de actualización del mismo, y las limitaciones en sus especificaciones, si se lo compara con la norma americana para construcciones existentes ASCE / SEI 41 (2023), recientemente actualizado, y con más de 300 páginas.

Nivel de desempeño previsto para edificios escolares a nivel internacional

Importantes organizaciones como UNESCO, UNICEF, Naciones Unidas y el Banco Mundial, han formado la Alianza Global para la Reducción de Riesgos de Desastres y la Resiliencia en el Sector Educativo - GADRRRES. Su visión y plan de acción lo han concretado en el recientemente actualizado Marco Integral de Seguridad Escolar 2022-2030 (2022). En este documento se consideran todos los riesgos asociados a la vida escolar, vinculando a los responsables de la gestión escolar, a la comunidad educativa y a los responsables de los edificios escolares. En lo referente a las instalaciones escolares existentes, se establece que deben hacerse sistemáticamente más seguras. Así, las escuelas existentes inseguras deben ser identificadas, y luego mejoradas o reemplazadas

(incluyendo todas las instalaciones que poseen). Las autoridades educativas deben promover el mantenimiento rutinario y la mitigación no estructural, a efectos de aumentar la seguridad y protección de los ocupantes de estos edificios, y de evitar pérdidas económicas.

Nivel de desempeño previsto para edificios escolares en Argentina para el período 2024 – 2030.

Por ley Ley 27.287/2016 se creó en Argentina el Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil – SINAGIR. Este organismo tuvo la tarea de coordinación y supervisión del diseño del Plan Nacional para la Reducción del Riesgos de Desastre 2024-2030 y su posterior implementación (plan que continua al anterior con desarrollo 2018 – 2023). Este plan establece la planificación de políticas públicas en materia de gestión integral del riesgo, y debería ser una herramienta fundamental para la reducción de riesgos, el manejo de la crisis y la recuperación pos-desastre. Se han definido en él cinco prioridades, así como los resultados esperados hacia 2030 para cada una de ellas. Estas prioridades son: comprender el riesgo de desastres; fortalecer la gobernanza de la gestión del riesgo de desastres; invertir en la reducción de riesgo de desastres para la resiliencia; aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz; y “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción. Además, establece veintiocho objetivos nacionales estratégicos, e incluye una matriz con cincuenta y cuatro objetivos nacionales específicos, que se operativiza en ciento nueve indicadores de cumplimiento. Los terremotos son uno de los diecinueve ejes temáticos y transversales. En este plan se define un objetivo general por cada eje y un total de ciento dieciséis objetivos específicos.

El desafío hacia 2030 que se propone este plan es forjar una cultura de la prevención de riesgos de desastres, que permita llevar a cabo las medidas necesarias para lograr reducir y mitigar los riesgos.

Como objetivo general para la amenaza relativa a terremotos, el plan se propone mejorar la reunión, transmisión y procesamiento de información sísmica, y promover la construcción de estructuras

y viviendas resilientes. Entre los objetivos específicos, y en relación con este trabajo, se busca concientizar a las personas tomadoras de decisión a fin de promover las políticas públicas en prevención sísmica efectiva. Y entre las propuestas federales se establece: elaborar un plan provincial de prevención sísmica y mantenerlo actualizado; identificar las zonas vulnerables ante este tipo de amenaza ponderando el grado de afectación específica; y contar con un plan de mantenimiento de estructuras vitales que deben permanecer operativas durante un sismo (hospitales, escuelas, cuarteles de policía, etc.).

En este último párrafo el plan establece el nivel de desempeño que se espera para los edificios escolares, que es el de ocupación inmediata luego de un sismo, aunque no se especifica el nivel de demanda para este nivel de respuesta.

Características generales de los edificios escolares en zonas argentinas de alta peligrosidad sísmica

El oeste argentino presenta las zonas del país con mayor peligrosidad sísmica. En el caso particular de la provincia de Mendoza, se tienen aproximadamente 1.400 edificios escolares, de los cuales unos 900 han sido diseñados y construidos con reglamentos antiguos o sin ellos. Cabe aclarar que el primer código con prescripciones sísmicas en esta provincia es de 1970, y el código siguiente con una filosofía de diseño moderno es de 1987. Por lo tanto, muchos de los edificios en consideración podrían ser vulnerables ante terremotos.

En general las construcciones para escuelas tienen uno o dos niveles, con estructura de pórticos de hormigón armado y muros de mampostería encadenada; con fundaciones superficiales.

No se ha realizado en la provincia la evaluación de deficiencias y patologías de todas estas construcciones, a efectos de determinar las principales vulnerabilidades.

En los últimos años, varias escuelas han sido reforzadas. Se ha intervenido en esos edificios porque el nivel de deterioro era visible, o por el insistente reclamo de los integrantes de la comunidad educativa. En cada caso se ha contratado a

distintos estudios de ingeniería, que han propuesto diversas estrategias de refuerzo. En la Figura 1 se muestran escuelas reforzadas con diversas estrategias. Se tienen también construcciones iguales, pero intervenidas en años diferentes y con profesionales y propuestas distintos.



Figura 1 (a): Algunas estrategias de refuerzo sísmico en es escuelas de Mendoza (columnas confinadas con polímeros reforzados con fibras- FRP).



Figura 1 (b): Algunas estrategias de refuerzo sísmico en es escuelas de Mendoza (columnas cortas confinadas con FRP).



Figura 1 (c): Algunas estrategias de refuerzo sísmico en es escuelas de Mendoza (transformación de muros de mampostería encadenada en muros reforzados con armadura distribuida)



Figura 1 (d): Algunas estrategias de refuerzo sísmico en es escuelas de Mendoza (riostros metálicas en planos de pórticos)

Los refuerzos desarrollados han sido mayoritariamente diseñados y ejecutados con el Reglamento INPRES – CIRSOC antes mencionado. Entonces, en caso de un sismo de diseño, los edificios mejorados por el refuerzo igual podrían tener daños importantes, impidiendo que se continúe con la función educativa.

El diseño basado en desempeño

El diseño basado en desempeño consiste en especificar distintos niveles de daño admisible para la estructura y los elementos no estructurales, según diversos niveles de demandas sísmicas. Esto puede hacerse con una matriz como la que se muestra en la Figura 2.

Por ejemplo, según el Reglamento INPRES – CIRSOC 103 – Parte I (2018), para construcciones del grupo B correspondería el nivel identificado con “k” en la Figura 2. Es decir, un nivel de seguridad de vida (daño moderado) para el sismo de diseño. Para las construcciones del grupo A, como son las escuelas, el daño debería ser menor, pero no está cuantificado en el Reglamento.

A efectos de lograr el nivel de desempeño estimado en el Plan Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres de la República Argentina, se podría proponer para estas construcciones un nivel de desempeño de ocupación inmediata para el sismo de diseño – daño leve – (identificado con “j” en la Figura 2), y un nivel de desempeño de seguridad de vida para el máximo terremoto considerado – daño moderado – (identificado con “o” en la Figura 2).

		Niveles de daño			
		Despreciable	Leve	Moderado	Severo
Niveles de Sismo	Ocasional (43 años)	a	b	c	d
	Servicio (72 años)	e ←	f	g	h
	Diseño (475 años)	i	j ←	k	l
	Máximo Considerado (970 años)	m	n	o ←	p
		Operacional (O)	Ocupación Inmediata (OI)	Seguridad de Vida (LS)	Prevención de Colapso (CP)

Figura 2: Matriz para definir niveles de desempeño sísmico (fuente: Código Modelo Sísmico para América Latina y el Caribe, 2022).

Por supuesto, cada nivel de desempeño implica conocer distintos niveles de demanda (en el reglamento actual solo se especifica el sismo de diseño), y cuáles son las magnitudes de control (y sus límites) para asegurar el nivel de daño que se estima para determinado nivel de desempeño.

Es necesario entonces contar con prescripciones reglamentarias para este procedimiento. Podría seguirse la norma americana antes

mencionada ASCE /SEI 41 (2023), que está desarrollada con esta filosofía. También podría aplicarse esta metodología con las especificaciones del Código Modelo Sísmico para América Latina y el Caribe (2022).

Una descripción detallada de esta metodología y su evolución se encuentra en Fardis (2010) y en Vielma et al. (2023).

Se destaca también que ya en la práctica profesional de la región este procedimiento es aplicado, como por ejemplo lo hace SISMOTECH, que es una empresa mexicana de diseño, fabricación, transporte y montaje de estructuras resilientes de acero (<https://sismotech.com.mx/>).

Conclusiones

El Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes establece para el sismo de diseño un nivel de seguridad de vida, y una probabilidad de colapso baja para sismos mayores. Sin embargo, en la aplicación de sus prescripciones estos niveles de desempeño no se cuantifican para verificar su cumplimiento.

Para edificios escolares se establece un sismo de diseño un 30 % mayor que el sismo de diseño para edificaciones comunes, pero tampoco se cuantifica el menor daño que se produciría en las escuelas respecto a esas construcciones. Por otra parte, limitadas indicaciones son dadas en el Reglamento para construcciones existentes, las cuales además no se actualizan por más de 25 años.

A nivel internacional, importantes entidades vinculadas a través de la alianza GADRRRES han desarrollado un plan general para la reducción del riesgo de desastres y la resiliencia en el ámbito educativo. Este plan implica la consideración del riesgo en forma sistémica, y su reducción con la participación de los distintos actores que se relacionan con el ámbito escolar. Se han propuesto acciones específicas para lograr edificios escolares existentes más seguros.

Argentina tiene un organismo para la gestión integral del riesgo (SINAGIR), que ha

formulado un plan nacional a desarrollar en esta temática en el período 2024 a 2030. Para la amenaza sísmica se han fijado objetivos relacionados con la prevención y con la identificación de zonas vulnerables. En particular, para los edificios escolares se busca que permanezcan operativos frente a una determinada demanda sísmica (que no se especifica en el documento).

Hasta el presente no se ha realizado en el país una evaluación sísmica general de la infraestructura escolar, especialmente en el oeste de Argentina (donde se encuentran las zonas de mayor peligrosidad sísmica). Por lo tanto, no se conocen las vulnerabilidades que presentan estas construcciones, ni tampoco se han podido priorizar las mismas, a efectos de establecer un plan de reducción en el tiempo.

Si se han reforzado sísmicamente varios edificios de escuelas (por lo menos en la provincia de Mendoza), pero sin una planificación global del problema, que permita aplicar estrategias previamente definidas como óptimas para un mismo tipo de deficiencia o patología. Además, por aplicación del diseño del refuerzo con la filosofía del Reglamento actual, el edificio reforzado podría presentar daños ante la ocurrencia del terremoto de diseño.

Para lograr un nivel de daño en escuelas según la previsión de Plan Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (ocupación inmediata para el sismo de diseño) es necesario aplicar la metodología de diseño basado en desempeño.

Deberá la comunidad con anterioridad definir cuáles son los niveles de desempeño que se consideran aceptables para los edificios escolares del país. Luego, y tomando construcciones clasificadas como más vulnerables del universo de escuelas evaluadas, habrá que determinar las estrategias específicas de refuerzo para esos edificios, analizando los costos que implican esas intervenciones.

En base a lo discutido en este trabajo, se estima que la aplicación del Reglamento actual no es suficiente para asegurar el desempeño que se ha previsto en el plan argentino mencionado.

Bibliografía

ASCE (2023). ASCE – SEI 41 – Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.

Fardis, M. (2010). Advances in Performance-Based Earthquake Engineering. Springer.

GADRRRES (2022). Marco Integral de Seguridad Escolar 2022-2030.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN – CHILE (2022). Código Modelo Sísmico para América Latina y el Caribe.

INTI (2018). INPRES – CIRSOC 103 – Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte 1: Construcciones en general.

SINAGIR (2023). Plan Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres de la República Argentina 2024 a 2030.

Vielma Quintero, J. C.; Vielma, J. C. y Carvalho Walbaum, J. F. (2023). Evaluación de la respuesta sísmica de un edificio con base en el diseño por desempeño. Monografías de Ingeniería Sísmica. Monografía CIMNE IS-80 2023. Editor A.H. Barbat.

AUTOR

PALAZZO, Gustavo Luis ID  ORCID 0009-0006-6327-967X

Ingeniero en Construcciones de la Universidad Tecnológica Nacional. Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Nacional de Cuyo. Magister en Ingeniería Estructural de la Universidad Nacional de Tucumán. Doctor en Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional. Profesor de la Universidad Tecnológica Nacional. Investigador CeReDeReC. Integrante del estudio SOLIDUS – Ingenieros Consultores.

E-mail: gpalazzo@frm.utn.edu.ar



cet

REVISTA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología