



Lecciones aprendidas desde la perspectiva de la sismorresistencia: daños y normativas en Siria, terremoto del 06/02/2023

Lessons learned from an earthquake resilience perspective: Damage and regulations in Syria, earthquake of February 6, 2023

Mario Rendón

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
Departamento de Ingeniería Sísmica
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1399-3089>
mrendon1287@gmail.com
Miranda-Venezuela

William Ascanio

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
Departamento de Ingeniería Sísmica
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2977-6424>
ascaniowilliam@gmail.com
Miranda-Venezuela

Resumen

El 6 de febrero de 2023, Türkiye y Siria experimentaron dos eventos sísmicos severos que motivaron la intervención de los ingenieros William Ascanio y Mario Rendón, del departamento de Ingeniería Sísmica de Funvisis, quienes formaron parte del Equipo de Tarea Humanitaria de Rescate “Simón Bolívar”. Su labor incluyó la realización de inspecciones postsísmicas en edificaciones afectadas, con el objetivo de evaluar los daños desde la perspectiva de la sismorresistencia. En Siria, se evaluaron únicamente 10 estructuras debido a las restricciones de acceso impuestas por razones de seguridad y a la persistencia de réplicas sísmicas. Del resultado de las inspecciones de campo, se determinó que la causa principal del colapso y daños evidenciados, producto de los eventos sísmicos que sacudieron la región, fueron ocasionados por deficiencias en las construcciones que no cumplieron las especificaciones de diseño previstas en códigos o normativas sismorresistentes, la poca o nula supervisión de los entes u organismos competentes durante la ejecución de las obras, el uso de materiales inapropiados y no disponer de un plan de gestión de riesgos adaptado a la amenaza sísmica que caracteriza a la región, ni de un programa para la rehabilitación para las edificaciones esenciales, ya que por experiencias de eventos anteriores, es conocida la elevada vulnerabilidad de las edificaciones antiguas en un territorio que tiene la mayor amenaza sísmica del planeta.

Palabras clave:

Colapso; daños; estructuras sismorresistentes; vulnerabilidad; amenaza sísmica

Abstract

On February 6, 2023, Turkey and Syria experienced two severe seismic events, prompting the intervention of engineers William Ascanio and Mario Rendón, from the Earthquake Engineering Department of Funvisis, who were part of the Simón Bolívar Humanitarian Rescue Task Force. Their work included conducting post-seismic inspections of affected buildings, with the aim of assessing the damage from an earthquake-resistant perspective. In Syria, only 10 structures were assessed due to access restrictions imposed for safety reasons and the persistence of aftershocks. The results of field inspections determined that the main cause of the collapse and damage observed as a result of the seismic events that shook the region was due to deficiencies in the construction work, which did not meet the design specifications stipulated in earthquake-resistant codes or regulations, limited or no supervision by the competent authorities or agencies during construction, the use of inappropriate materials, and the lack of a risk management plan adapted to the seismic hazards characteristic of the region, as well as a rehabilitation program for essential buildings. This is because, based on experience with previous events, the high vulnerability of older buildings is well known in a territory with the highest seismic hazards on the planet.

Keywords:

Collapse; damage; earthquake-resistant structures; vulnerability; seismic hazard

Introducción

Los terremotos de Türkiye y Siria tuvieron lugar el lunes, 6 de febrero del 2023, principalmente fueron dos sismos destructivos ubicados en Nurdagy y Ekinozu. La magnitud de estos eventos sísmicos fue significativa, donde el primer sismo alcanzó una Mw: 7.8 y el segundo Mw: 7.5, con profundidades de alrededor de 17 km y 10 km respectivamente, ambos originados por la activación de las fallas del sistema al este de Anatolia, las cuales hicieron que las ondas susnuas se propagaran con fuerza, resultando en un impacto severo sobre las infraestructuras existentes en la región. De acuerdo, con los datos proporcionados por la red acelerográfica de Türkiye, se registraron valores máximos que alcanzaron hasta dos veces la aceleración de gravedad, lo cual puede justificar en parte la gran cantidad de daños significativos y el colapso de las estructuras, así como el elevado número de víctimas fatales y de heridos.

En Siria, una considerable parte de las edificaciones se componen de estructuras bajas que oscilan entre los tres a

siete pisos, además de edificaciones de mediana altura que varían de ocho a diez pisos. El sistema estructural predominante empleado para la sedificación es en las áreas urbanas de la región y en zonas no consolidadas, consiste en pórticos de concreto armado, regular en planta y elevación, vigas planas, paredes de relleno de mampostería no confinada con mortero en las juntas. Es muy común ver edificaciones adosadas y la construcción de y/o ampliaciones en el último nivel de las edificaciones. Esta tipología estructural es de uso habitual desde hace 50 años (Adel Awad, 2002) y actualmente este sistema de construcción lo podemos observar en edificaciones modernas construidas desde hace 12 años aproximados. Las fundaciones son superficiales de concreto armado, con vigas planas, los pórticos están diseñados para soportar cargas de gravedad únicamente (ver Figura N° 1, N° 2 y N° 3), (Adel Awad, 2002). Este tipo de edificaciones se encuentran en las principales ciudades de Siria como: Damasco, Latakia, Alepo y Jableh.

Figura N° 1. Centro de Latakia (Edificaciones modernas)



Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura N° 2. Centro de Latakia



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 3. Adosamiento de edificaciones



Fuente: Elaboración propia (2023).

Ubicación

Siria se ubica en la costa este del mar Mediterráneo, en el suroeste de Asia. Se distinguen, de oeste a este, tres regiones: en el oeste se encuentra una llanura litoral, separada del interior por el Yabal Ansari y una doble cordillera en cuyo interior se abren diversos valles y más hacia el sur, las cumbres del Monte Hermón, en la frontera entre Líbano y Siria, descienden hacia la meseta Hauran que recibe los vientos

húmedos del Mediterráneo; el centro del país está formado por una accidentada meseta con varios picos volcánicos que está recorrida de noreste a suroeste por una cordillera en la que se distinguen diversas formaciones: Yabal Abd al-Aziz, Yabal Visir, Yabal Buwayda, Yabal Saar, Yabal al Sarqi y Yabal Garbi. Superficie: 185.180 km², población: 21,32 millones (ver Figura N° 4).

Figura N° 4. Mapa de Siria



Fuente: Mundo (2024).

Siria se encuentra en la parte septentrional de la placa árabe, que incluye la península Arábiga, Palestina, Siria, Líbano, Jordania e Irak.

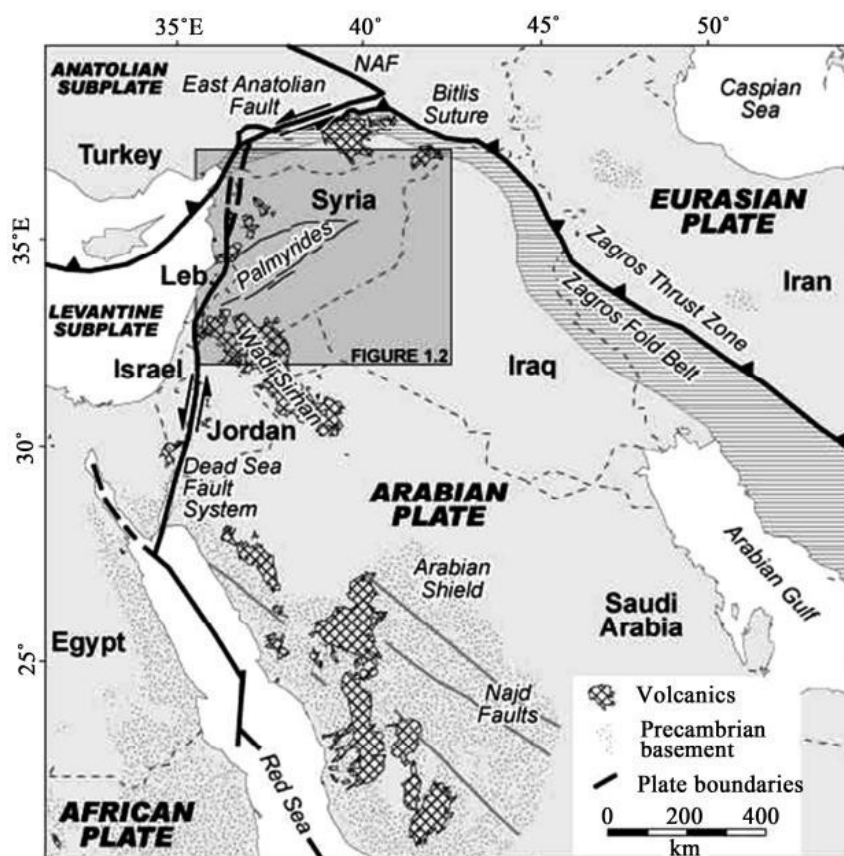
La placa Arábiga limita al oeste con el Mar Rojo y el sistema de fallas del Mar Muerto (falla sirio-africana), que se extiende entre el Golfo de Aquaba y el Golfo de Escandón. En la parte meridional limita con Adén y la subplaca persa

(montes Zagarouse) en el este, así como con la placa de Anatolia (montes Torous).

En la parte norte se encuentra la placa de Anatolia. El movimiento de la corteza terrestre difiere de una parte a otra de la región de Oriente Próximo según el movimiento de la placa árabe, que se desplaza hacia el norte en un movimiento de rotación en sentido contrario a las agujas del reloj

(Barazangi, 1998). Este movimiento de rotación provoca la subducción de la placa arábiga bajo la placa de Anatolia y la placa persa. Como consecuencia, la placa persa se desplaza hacia el este y la de Anatolia hacia el oeste. La velocidad de desplazamiento de la placa arábiga se estima de 1 cm/año aproximadamente (ver Figura N° 5).

Figura N° 5. Las principales placas tectónicas de Siria



Fuente: University (2001).

Observación de campo

Las inspecciones de campo se realizaron en las provincias de Latakia y Jableh, en Siria, proporcionan una visión detallada de la infraestructuras y desarrollo urbano en esta zona costera del país. En el caso específico de Latakia está conformada mayormente por edificaciones multifamiliares de concreto armado, que varían entre cuatro a cinco pisos

de altura comparten un núcleo central de escaleras, el sistema estructural está constituido principalmente por pórticos de concreto armado. Los habitantes del sector indican que las edificaciones tenían entre cuatro y 12 años de construidas (ver Figuras N° 6, N° 7 y N° 8). Lo que sugiere un desarrollo urbano relativamente reciente en la región.

LATAKIA: Zona Al Ramel, Barrio Shalehat

Figura N° 6. Edificaciones predominantes



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 7. Tipología de las edificaciones



Fuente: Elaboración propia (2023).



A pesar de que Siria dispone de códigos o normas orientadas al diseño sismorresistente, sin embargo, la realidad en el terreno revela una discrepancia significativa entre la teoría y la práctica, de acuerdo a lo observado, se han evidenciado que en las construcciones informales o populares, estas normas no son aplicadas de manera efectiva. Como resultado, muchos de los diseños de elementos estructurales se realizan de manera inadecuada e insuficiente, lo que incrementa la vulnerabilidad inherente de estas edificaciones y las convierte en candidatas propensas a sufrir graves daños durante eventos sísmicos.

Es importante destacar que, aunque las normas sismorresistentes por sí solas no pueden garantizar la inexistencia de daños ante un sismo severo, si establecen criterios mínimos de diseño que son fundamentales para la seguridad es-

tructural y protección de la vida humana. Estos criterios son cruciales, ya que propician que los ocupantes de las edificaciones puedan evacuar de forma segura antes un posible colapso, minimizando así el riesgo de pérdidas humanas.

La falta de aplicaciones de estas normativas en las construcciones informales no solo pone en entredicho la efectividad de la regulación existente, sino que también demanda una reflexión profunda sobre la necesidad de implementar programas de educación y capacitación dirigidos a los ingenieros, constructores y arquitectos, así como a los propios habitantes, para fomentar un entendimiento integrado de la importancia de adherirse a estos códigos en el diseño y la construcción de viviendas, especialmente en un contexto geológico como el de Siria, que es propenso a actividades sísmicas significativas (ver Figura N° 8).

Figura N° 8. Ausencia de planos resistentes en ambas direcciones



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la Figura N° 9, se documentan colapsos de edificios, en los cuales se evidencian empalmes inadecuados en columnas, constituyendo un factor crítico en la evaluación de la integridad estructural durante eventos sísmicos. Estos empalmes, al no estar debidamente diseñados y ejecutados, comprometen significativamente la capacidad de las columnas para resistir las fuerzas dinámicas generadas por un sismo. En zonas sísmicas es imperativo seguir las recomendaciones de diseño que sugieren la ubicación de los empalmes del acero longitudinal en el centro de la sección de la columna, dado que esta posición se considera la menos solicitada durante la acción sísmica.

Figura N° 9. Empalme inadecuado



Fuente: Elaboración propia (2023).



En el proceso de verificación de las estructuras, se ha constatado el uso de acero de refuerzo trasversal liso $\frac{1}{4}$ " y desatado, lo cual presenta un incumplimiento significativo respecto a las especificaciones técnicas que requieren un diámetro mínimo de acero $\frac{3}{8}$ así como la utilización de estribos doblados a 135° . Esta desviación de las normativas establecidas no solo compromete a la integridad estructural del proyecto, sino que también pone en riesgo la

durabilidad y la seguridad de la edificabilidad en cuestión. Adicionalmente, se ha detectado la presencia de corrosión en el acero de refuerzo, lo que puede agravar aun más los problemas de solidez y resistencia del material utilizado. Es importante que las ligaduras en el mismo sentido, lo cual no cumple con las prácticas de diseño adecuadas que aseguran un confinamiento eficaz. Esta situación se ilustra de manera precisa en la Figura N° 10 y N° 11.

Figura N° 10. Acero incumpliendo con especificaciones



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 11. Acero con corrosión

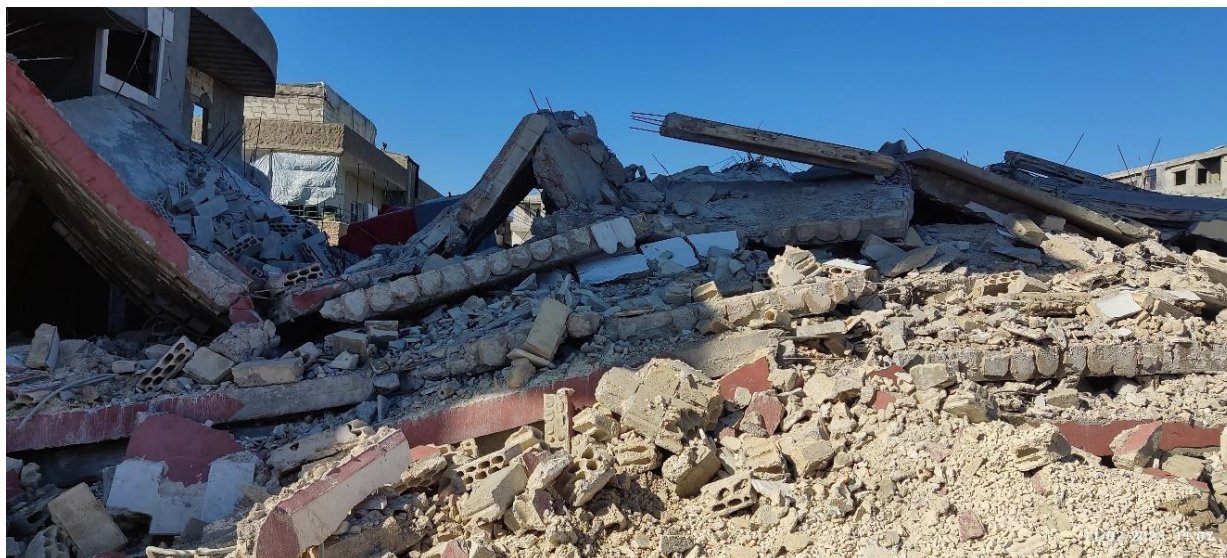


Fuente: Elaboración propia (2023).

JABLEH, Zona Barrio Al Essaleh

En esta zona, se observa una notable continuidad en la tipología constructiva previamente descrita para la provincia de Latakia, donde las edificaciones predominantes son aquellas construidas por concreto armado de baja altura, el colapso de las estructuras sucumbieron de manera vertical, apilándose unos niveles sobre otros (ver Figura N° 12).

Figura N° 12. Acero con corrosión



Fuente: Elaboración propia (2023).

Los sistemas estructurales están formados por losas y columnas sin vigas en las dos direcciones ortogonales, que presentaron un desempeño deficiente frente a eventos sísmicos, en los casos observados las columnas actuaron como un punzón, ejerciendo fuerzas concentradas que ocasionaron daños severos que contribuyó al colapso de las losas (ver Figura N° 13).



Figura N° 13. Punzonamiento de losa



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 14. Vista de punzonamiento de losa



Fuente: Elaboración propia (2023).

La integridad de las columnas en edificaciones se ve comprometida cuando presentan fallas atribuibles al corte, que generalmente se relaciona con un armado deficiente del refuerzo transversal, diámetro de acero insuficiente y la distribución no uniforme. La separación es determinante en el confinamiento del concreto y el adecuado comportamiento de las juntas ante un evento sísmico (ver Figura N° 15).

Figura N° 15. Falla por corte en columnas



Fuente: Elaboración propia (2023).



En las Figuras N° 16, N° 17, N° 18 y N° 19 se muestra el desprendimiento de mampostería de relleno en áreas internas y externas en la edificación en construcción. Este tipo de daño no solo afecta la estética del edificio, sino que también puede indicar problemas subyacentes en la calidad de la construcción y en la adherencia entre los materiales utilizados. Además, se documentaron daños severos en columnas, grietas y pandeo en nodo por falta de confinamiento del acero transversal, igualmente se apreció que el acero para estribos era de $\varnothing 1/4''$ con dobleza 90°, que son elementos críticos para la estabilidad estructural y por último, se apreció que las tuberías de servicios están expuestas y que atraviesan elementos estructurales; esta situación no solo representa un riesgo potencial para la funcionabilidad del sistema hidráulico y eléctrico del edificio, sino que también puede debilitar los elementos estructurales al crear puntos vulnerables donde se pueden generar grietas o fracturas. La exposición de estas tuberías aumenta el riesgo de daños durante eventos sísmicos o por movimientos naturales del terreno.

Figura N° 16. Daños en mampostería



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 17. Daños en paredes internas



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 18. Pandeo de acero de refuerzo



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 19. Tuberías interviniendo la losa



Fuente: Elaboración propia (2023).



Conclusión

Los daños causados por el terremoto ponen en manifiesto la alarmante falta de adecuación de las estructuras que carecen de diseños de acuerdo a las normas o códigos sismorresistentes establecidos. Esta situación no solo refleja un incumplimiento normativo, sino que también resalta la insuficiencia en la aplicación de prácticas de ingeniería adecuadas. Entre las características que contribuyen a las fallas frágiles se encuentran la ausencia de vigas altas en las direcciones principales, lo que compromete la estabilidad lateral de los edificios. Además, se ha observado una distribución inadecuada del acero transversal en las columnas, lo que limita una capacidad de resistir fuerzas sísmicas.

La utilización de mampostería no confinada es otro factor crítico que agrava la vulnerabilidad estructural, ya que este tipo de construcción carece del refuerzo necesario para soportar los movimientos telúricos. Asimismo, el uso de agregado inadecuado en el concreto de las columnas debilita aún más la integridad estructural, haciendo que estas sean más propensas a sufrir daños severos durante la ocurrencia de un sismo.

Otro aspecto que hay que destacar, es la falta de personal técnico calificado en el diseño y ejecución de las construcciones. El déficit de profesionales capacitados resulta en estructuras con insuficiencia en el diseño y en la ejecución de las mismas, lo cual hace que incremente la vulnerabilidad de las edificaciones ante eventos sísmicos. Este conjunto de factores no solo pone en riesgo la infraestructura urbana, sino que también tiene consecuencias devastadoras para la vida humana, resultando en daños severos o colapso total.

Es imperativo que se tomen medidas urgentes para revisar y actualizar los códigos de construcción, así como para capacitar a los profesionales del sector. Solo de esta manera, se podrá garantizar edificaciones más seguras y resilientes frente a futuros sismos.

Referencias

Ascanio, W. Y Rendón, M. (2023). *Lecciones aprendidas desde la perspectiva de la sismorresistencia, daños y normativas, terremoto de Turkiye y Siria 06//02/2023*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Departamento de Ingeniería Sísmica. Caracas: Funvisis.

Awad, A., Bassam, H. y Talal, I. (2002). *Housing Report-Reinforced concrete with concrete shearwalls dual system*. Earth quake Engineering Research Institute (EERI) and International Association for Earthquake Engineering (IAEE). Syrian Arab Republic: Civil Engineering Department, Indian Institute of Technology, Bombay Mumbai 400076, INDIA, Email:rsinha@civil.iitb.ac.in FAX: (91-22) 2572-3480, 2576-7302, Reporte 59.

Awad, A., Bassam, H. y Talal, I. (2002). *Housing Report-Reinforced concrete with concrete shearwalls dual system*. Earthquake Engineering Research Institute (EERI) and International Association for Earthquake Engineering (IAEE). Syrian Arab Republic: Civil Engineering Department, Indian Institute of Technology, Bombay Mumbai 400076, INDIA, Email:rsinha@civil.iitb.ac.in FAX: (91-22) 2572-3480, 2576-7302, Reporte 60.

Barazangi, M. (1998). *The Seismic Settings of Syria and Arabic Region*. Syrian Journal of Geology, Vol. 11. pp. 1-65.

Mundo, C. (2024). Mapas del Mundo. Disponible en: <https://www.mapas-del-mundo.net/mapas/asia/siria/detallado-mapa-de-elevacion-de-siria-con-carreteras-ferrocarriles-ciudades-y-aeropuertos> . Imagen del mapa disponible en: [jpg:https://www.mapas-del-mundo.net/](https://www.mapas-del-mundo.net/)

University, C. (2001). *Tectonic Map of Syria*, Institute for the Study of the Continents, Cornell University Press, New York.

