



Perspectivas de la ingeniería sismorresistente en el terremoto de Türkiye del 06-02-2023

*Perspectives of Earthquake-Resistant Engineering in the Turkey
Earthquake of 06-02-2023*

William Ascanio

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

Mario Rendón

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

Resumen

El 08 de febrero de 2023, los ingenieros Mario Rendón y William Ascanio, adscritos al departamento de Ingeniería Sísmica de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, viajaron a Siria y Türkiye respectivamente, como integrantes del Equipo de Tarea Humanitaria de Rescate "Simón Bolívar", en calidad de labores de rescate, adicionalmente realizaron inspecciones postsísmicas en estructuras afectadas por los eventos sísmicos de magnitud 7.8 y de 7.5 que sacudieron Türkiye el 6 de febrero de 2023, el mismo fue devastador con un gran número de víctimas y colapsos estructurales. Este artículo presenta un estudio de los factores que contribuyeron al colapso de los edificios inspeccionados en la provincia de Adiyaman, centrándose en el tipo de materiales, en las deficiencias de diseño y la fecha de construcción. A través, de un estudio de caso de estructuras colapsadas y un análisis comparativo de la normativa sismorresistente turca, se identifican las principales causas de falla y se proponen recomendaciones para mejorar la resiliencia de las construcciones futuras en regiones sísmicas, en total se levantó información de 28 edificaciones y se georreferenciaron.

Palabras clave:

Türkiye; terremoto; sismorresistente; materiales; vulnerabilidad

Abstract

On February 8, 2023, engineers Mario Rendón and William Ascanio, assigned to the Seismic Engineering Department of the Venezuelan Foundation for Seismological Research, traveled to Syria and Türkiye respectively, as members of the Humanitarian Rescue Task Force "Simón Bolívar", as rescue workers, additionally they carried out post-seismic inspections in structures affected by the seismic events of magnitude 7.8 and 7.5 that shook Türkiye on February 6, 2023, which was devastating with a large number of victims and structural collapses. This article presents a study of the factors that contributed to the collapse of the inspected buildings in the province of Adiyaman, focusing on the type of materials, design deficiencies and the date of construction. Through a case study of collapsed structures and a comparative analysis of Turkish earthquake-resistant regulations, the main causes of failure are identified and recommendations are proposed to improve the resilience of future constructions in seismic regions. In total, information was collected from 28 buildings and they were georeferenced.

Keywords:

Türkiye; earthquake; earthquake resistant standards; materials; vulnerability



Introducción

Türkiye se encuentra en una de las zonas sísmicas más activas del mundo, debido que se encuentra casi en su totalidad sobre la placa tectónica de Anatolia y a esta le convergen tres placas tectónicas, la Euroasiática, Africana y Árabe (ver Figura N° 1), lo que la hace altamente vulnerable a terremotos de gran magnitud. A pesar de los avances en la ingeniería sísmica y la implementación de normas sismorresistentes, los terremotos continúan causando daños significativos en las edificaciones. El terremoto de Türkiye ha puesto de manifiesto la necesidad de una evaluación exhaustiva de los daños para identificar las deficiencias en el diseño, la construcción y el mantenimiento de las estructuras, así como para mejorar las prácticas actuales (Álvarez, 2023), este estudio se basa principalmente en determinar las fallas probables que causaron los colapsos estructurales ocurridos durante el terremoto de Türkiye del 6 de febrero de 2023, identificando las deficiencias en el diseño, construcción y aplicación de las normas sismorresistentes. Además, se busca proponer recomendaciones para mejorar la resiliencia de las estructuras futuras en regiones sísmicas similares.

Metodología

Se realizaron inspecciones visuales de un amplio conjunto de edificaciones en construcción, dañadas y colapsadas. Se recopilaban datos detallados sobre las características de las edificaciones como la fecha de construcción, tipología constructiva, material, número de pisos, entre otras y los tipos de daños observados. Los datos recopilados se analizaron estadísticamente para identificar patrones y correlaciones entre los daños y las características de las edificaciones.

Türkiye

Tiene territorio tanto en Europa como en Asia, aunque la gran mayoría de su territorio se considera parte de Asia. Está situada en la encrucijada de los Balcanes, el Cáucaso, Oriente Medio y el Mediterráneo oriental, es uno de los países más grandes de la región en términos de territorio

y población y su superficie terrestre es mayor que la de cualquier estado europeo. Casi todo el país se encuentra en Asia y comprende la península oblonga de Asia Menor, también conocida como Anatolia, y en el este, parte de una región montañosa conocida como las Tierras Altas de Armenia. El resto, la Tracia turca, se encuentra en el extremo sureste de Europa. Limita al norte con el Mar Negro, al noreste con Georgia y Armenia, al este con Azerbaiyán e Irán, al sureste con Irak y Siria, al suroeste y oeste con el Mar Mediterráneo y el Mar Egeo, y al noroeste con Grecia y Bulgaria. La capital es Ankara, y su mayor ciudad y puerto marítimo es Estambul (Figura N° 1). El estudio se concentró en los distritos de Besni y Adiyaman de la provincia de Adiyaman, se levantó información de 20 edificios en el distrito de Adiyaman (Figura N° 2) y ocho en el distrito de Besni (Figura N° 3) documentando con fotografías y georreferenciado.

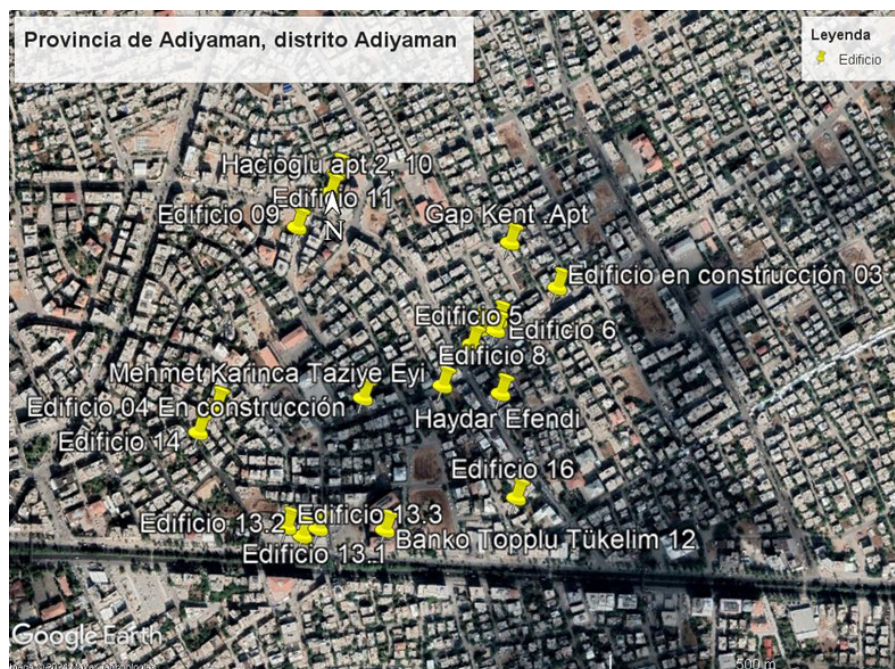


Figura N° 1. Mapa de Türkiye



Fuente: Newebcreations (2023).

Figura N° 2. Ubicación de edificios inspeccionados Distrito de Adiyaman



Fuente: Google Earth (2024).



Figura N° 3. Ubicación de edificios inspeccionados Distrito Besni



Fuente: Google Earth (2024).

La tectónica de la zona afectada está constituida por fallas geológicas alrededor de la placa de anatolia, la placa africana, la placa árabe y la placa euroasiática. A excepción de una porción relativamente pequeña de su territorio a lo largo de la frontera con Siria, que es una continuación de la placa Arábica, Türkiye es geológicamente parte del gran cinturón alpino que se extiende desde el océano Atlántico hasta las montañas del Himalaya (Figura N° 4). Este cinturón se formó durante la era Cenozoica (hace entre 66 y 1,6 millones de años), cuando las placas continentales árabe, africana e India comenzaron a chocar con la placa Euroasiática. Este proceso actualmente está en funcionamiento, ya que la placa africana converge con la placa Euroasiática y la placa de Anatolia se escapa hacia el oeste y suroeste a lo largo de fallas de deslizamiento. Como resultado de esta configuración de placas tectónicas, Türkiye es una de las regiones volcánicas y de terremotos más activa del mundo (Funvisis, 2023).

La Figura N° 5 se corresponde a la ubicación epicentral de los dos terremotos principales, el primer terremoto tuvo una magnitud de 7,8 Mw y ocurrió a 04:17 HL a una profundidad de 17,9 Km con una intensidad de IX frente a la provincia de Gaziantep en Türkiye, mientras el segundo terremoto ocurrió nueve horas después con una magnitud de 7,6 Mw a las 13:24 HL, a 10 km de profundidad con una intensidad de IX frente a la provincia de Kahramanmarash en Türkiye, con relación a la escala Modificada de Mercalli, la cual los calificó IX definido como Muy Destructivo (USGS, 2023).

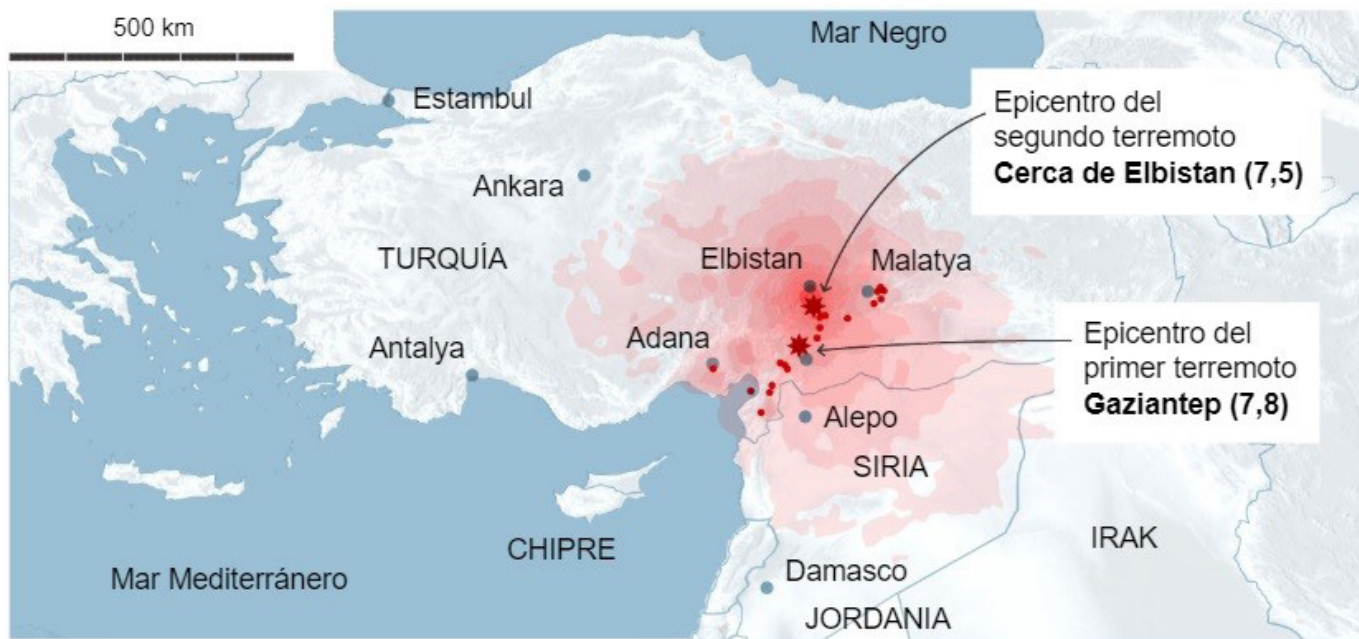


Figura N° 4. Tectónica de Placas



Fuente: Copyright © DIARIO ABC, s.f. (2023).

Figura N° 5. Sismicidad



Fuente: Copyright © DIARIO ABC, s.f. (2023).

En el transcurso del tiempo la norma de construcción de Türkiye la han ajustado a los requerimientos y estudios nuevos, la primera norma publicada en 1947, la misma ha pasado por siete revisiones en 1953, 1961, 1968, 1975, 1998 y 2007, la última fue publicada en 2018, la norma de 2007 estuvo influenciada por el terremoto de Kocaeli y Duzce ocurrido en el año 1999, la norma de 2018 cumple con los estándares internacionales la cual fue publicada cuatro años antes del terremoto en estudio (EERI, 2023), adicionalmente en 2013 el ministerio de Salud de Türkiye publicó código de regulación para la construcción de hospitales con capacidad de más de 100 camas, donde exigen que estas edificaciones deben ser construidas con aislamiento sísmico en sus bases, de 100 hospitales construidos con estas características 11 se encontraban dentro de la zona afectada, los mismos presentaron un comportamiento adecuado en comparación de las edificaciones con base fijas (Zimmerman, 2023).

Es posible que las estructuras construidas con las normas antiguas carezcan de una resistencia sísmica adecuada debido a la falta de medidas sísmicas impuestas por el código que son menos sólidas en comparación con las normas vigentes.

Observaciones de Campo

El 9 de febrero de 2023 se llegó a la Provincia de Adiyaman con la misión de apoyar con el rescate de víctimas debido a los terremotos ocurridos el día 6 de febrero de 2023, donde estuvimos hasta el 18 del mismo mes. Se levantó información de algunos edificios de la zona, documentando con fotografías, en total se inspeccionaron 28 edificaciones diferentes en el transcurso de la estadía, ubicadas en la provincia de Adiyaman en la zona central y en el Distrito de Besni. La distancia epicentral del Terremoto de Mw 7,8 ocurrido a las 4:17 hora local al distrito de Besni es de 93 km y a la zona central de Adiyaman es de 126 km mientras, que la distancia del epicentro del terremoto inducido de Mw 7,5 ocurrido a la 1:24 p. m. hora local con el distrito de Besni es de 68,5 km y con la zona central de Adiyaman es de 98,5 km aproximadamente. A continuación, se presenta el material obtenido en sitio:

Edificio N° 1: Haydar Efendi

El edificio Haydar Efendi, ubicado en la avenida Haydar Efendi de la provincia de Adiyaman, Türkiye, toma su nombre de la misma vía. Sus coordenadas UTM son 437.203 m E, 4.180.071 m N, en el huso 37S. Este complejo residencial constaba de dos torres de ocho pisos, con planta baja destinada a locales comerciales y los pisos superiores de viviendas, sumando un total de 56 apartamentos por torre. Se estima que albergaba aproximadamente 280 personas. Según testimonios locales, fue construido alrededor de 1988 y su existencia pudo ser confirmada mediante imágenes de *Google Earth* a partir de julio del 2003. El edificio colapsó durante el terremoto del 6 de febrero, en las Figuras N° 6 y N° 7 se muestra el antes y el después de la edificación, la cual presentaba regularidad en planta y en elevación, su tipología constructiva era pórticos de concreto armado con ausencia de vigas altas en una dirección.

Entre los escombros se observó que las barras de refuerzo utilizadas para la construcción de los elementos estructurales, vigas y columnas eran lisas, el doblaje de los estribos era a 90° y la separación de los estribos en las columnas es de 25 cm aproximadamente (Figura N° 8) mientras que, la separación de los estribos de las vigas era de 32 cm aproximadamente (Figura N° 9), además se observó la utilización de agregado grueso tipo canto rodado con dimensión de hasta 7.90 cm, y con poca adherencia al concreto debido que se desprende fácilmente con las manos (Figura N° 10); otro aspecto observado es el espesor del recubrimiento de piso presentaba casi seis cm de espesor (Figura N° 11).

Figura N° 6. Edificio Haydar Efendi antes del sismo



Fuente: Google Earth (2015).

Figura N° 7. Después del sismo edificio Haydar Efendi



Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura N° 8. Detalle de columna del edificio Haydar Efendi



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 9. Detalle de una viga del edificio Haydar Efendi



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 10. Agregado grueso en concreto del edificio Haydar Efendi



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 11. Espesor del acabado de piso del edificio Haydar Efendi



Fuente: Elaboración propia (2023).



Edificio N° 2: Gap Kent Apt

Edificio Gap Kent Apt, ubicado en la zona central de la Provincia de Adiyaman entre las calles 2113 y 2105, coordenadas UTM 437.261 m E, 4.180.330 m N y huso 37S, es un edificio de 5 pisos más un sótano, constituido por una torre de uso residencial con 20 apartamentos donde habitaban aproximadamente 100 personas. Según lugareños, fue construido en 1990 y para julio del 2003 ya se puede observar el edificio en *Google Earth*. El edificio colapsó durante el terremoto del 6 de febrero, en las Figuras N° 12 y N° 13 se muestran las vistas de antes y el después del edificio, donde se aprecia que era regular en planta y en elevación, su tipología constructiva era pórticos de concreto armado, con ausencia de vigas altas en una dirección.

Entre los escombros se observaron los estribos de las columnas con doblez a 90° y separados 25 cm aproximadamente (Figura N° 14), las barras de refuerzo utilizadas para el refuerzo de los elementos estructurales, vigas, columnas y losas eran lisas, (Figura N° 15). Además, el agregado grueso era tipo canto rodado y concreto con poca adherencia, en la Figura N° 16 se muestra un bloque de concreto estructural donde el agregado se logró desprender fácilmente de manera manual. Un aspecto que influye sobre la carga del edificio, es el espesor del acabado del piso que en ciertos lugares de las escaleras llegaron alcanzar 12 cm (Figura N° 17).

Figura N° 12. Antes Edificio Gap Kent Apt



Fuente: *Google Earth* (2015).

Figura N° 13. Después Edificio Gap Kent Apt



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 14. Detalle de columna exterior del edificio Gap Kent Apt



Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura N° 15. Detalle de columna interior del edificio Gap Kent Apt



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 16. Agregado en elementos estructurales en el edificio Gap Kent Apt



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 17. Acabado de piso en exceso, edificio Gap Kent Apt



Fuente: Elaboración propia (2023).

Edificio N° 3

Edificio N° 3, ubicado en la zona central de la Provincia de Adiyaman entre la avenida Kavi y la calle 2107, coordenadas UTM 437.342 m E, 4.180.252 m N y huso 37S, el edificio en construcción es de tipología constructiva de pórticos de concreto armado, se aprecia que es regular en planta con vigas altas en ambas direcciones, de cinco niveles de altura, presenta discontinuidad horizontal en las vigas del pórtico del entrepiso, detalle N° 1 en la Figura N° 18. Además, se pudo verificar que los niveles superiores eran de menor altura en comparación al nivel de planta

baja. Aunque el edificio no muestra daños, se puede apreciar a través de él, la forma actual de construcción que se aplica en la ciudad.

En la Figura N° 19 se observa el armado del acero de refuerzo de una viga que se colocaría en un nivel de la construcción, se apreció el uso de barras de acero estriadas y la separación de ligaduras de 10 cm aproximadamente. En la Figura N° 20 se muestran las barras de acero de refuerzo usadas las cuales son de diámetros similares a las utilizadas en Venezuela $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ " y $\frac{5}{8}$ ".



Figura N° 18. Vista del edificio N° 3, en construcción



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 19. Construcción de la armadura de una viga del edificio N° 3



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 20 Barras de acero estriadas, utilizadas en la construcción del edificio N° 3



Fuente: Elaboración propia (2023).

Edificio N° 4

El edificio N° 4, ubicado en la zona central de la Provincia de Adiyaman entre las avenidas Efendi y Kavi, coordenadas UTM 437.192 m E, 4.180.165 m N y huso 37S, el edificio es de cinco pisos, la planta baja es de uso comercial y los otros cuatro niveles de uso residencial. Fue construido después de septiembre del 2019, según lo observado en *Google Earth*.

No se observaron daños en el edificio, la planta baja se encontraba en remodelación (Figura N° 21), su tipología constructiva es de pórticos en concreto armado, con ausencia de vigas altas en ambas direcciones en el nivel de planta baja, (Detalle N° 1 de la Figura N° 22), además, se apreció que es regular en planta y en elevación.

Figura N° 21. Fachada principal del edificio N° 4



Fuente: *Google Earth* (2019).



Figura N° 22. Vista interna de losa de planta baja del edificio N° 4



Fuente: Elaboración propia (2023).

Edificio N° 5

El edificio N° 5 ubicado en la zona central de la Provincia de Adiyaman en la avenida Kavi, coordenadas UTM 437.232 m E, 4.180.188 m N y huso 37S, es un edificio de cinco pisos, de uso comercial en planta baja y residencial en los niveles superiores, este edificio fue construido después de junio del 2015, según lo observado en *Google Earth*.

Se evidenciaron daños no estructurales, como grietas en la mampostería en planta baja (Figura N° 23), daños en los descansos de la escalera de planta baja y del

primer piso, se apreció que las barras de acero utilizadas eran estriadas, como se muestran en las Figuras N° 24 y N° 25, también se evidenciaron grietas en la mampostería del apartamento del cuarto piso (Figuras N° 26 y N° 27), y grietas en la mampostería del módulo de las escalera y ascensor (Figura N° 28). Su tipología constructiva es aporticada de concreto armado, se apreció que es regular en planta y en elevación, no se apreciaron vigas altas. La planta baja es de mayor altura que el resto de los niveles superiores.

Figura N° 23. Fachada lateral del edificio N° 5



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 24. Detalle del descanso de la escalera de planta baja del edificio N° 5



Fuente: Elaboración propia (2023).

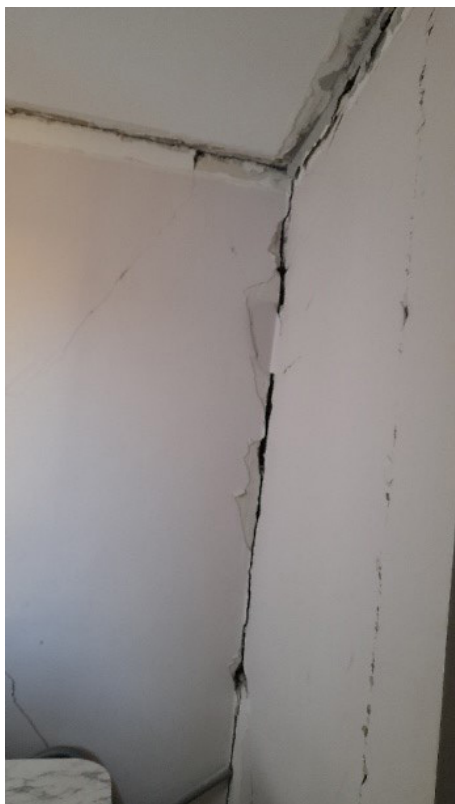


Figura N° 25. Vista del descanso de la escalera del piso 1, edificio N° 5



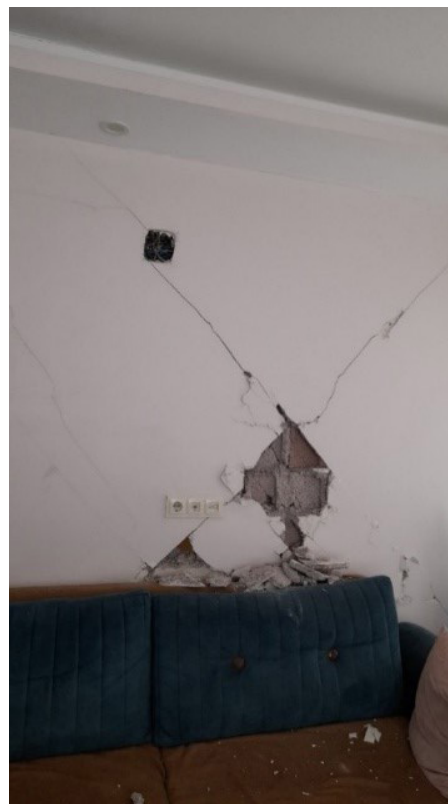
Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 26. Detalle de daños en mampostería, en un
cuarto piso N° 4 del edificio N° 3



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 27. Detalle de daños en mampostería, sala del
piso N° 4 del edificio N° 5



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 28. Mampostería en área de ascensores y escalera, piso N° 3 del edificio N° 5



Fuente: Elaboración propia (2023).

Edificio N° 6

El edificio N° 6, ubicado en la zona central de la Provincia de Adiyaman, en la calle 2125 entre las calles 2126 y Yeşilyurt, coordenadas UTM 436.962 m E, 4.180.453 m N y huso 37S, es un edificio de seis niveles, de uso residencial, comprendido con un semisótano más cinco pisos superiores, este edificio fue construido antes de julio del 2003, según lo observado en *Google Earth*.

En las Figuras N° 29 y N° 30, se muestra el antes y después de la fachada posterior del edificio N° 6, se aprecia el colapso de los tres primeros niveles, la tipología constructiva era aporticado de concreto armado con ausencia de vigas altas en ambas direcciones y una configuración regular en planta y en elevación (Figura N° 31), en el detalle N° 1 se observa el colapso de un nodo, mientras en la Figura N° 32 se observa las tres losas de los pisos colapsados.

Figura N° 29. Antes del sismo edificio N° 6



Fuente: *Google Earth* (2015).



Figura N° 30. Después del sismo edificio N° 6



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 31. Detalle del nodo del edificio N° 6



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 32. Vista de las losas del edificio N° 6



Fuente: Elaboración propia (2023).

Edificio N° 7

Edificio N° 7, ubicado en la zona central de la Provincia de Adiyaman en la calle 519, entre las calles 514 y Kara Musa, coordenadas UTM 437.268 m E, 4.179.893 m N y huso 37S, conjunto residencial de tres niveles, la planta baja era estacionamiento y los otros pisos de uso residencial, para julio del 2003, se observa el edificio de acuerdo con *Google Earth*.

El edificio presentó colapso de la planta baja durante el terremoto del 6 de febrero, en las Figuras N° 33 y N° 34 se muestra el antes y el después de la edificación, la tipología constructiva estaba constituida por pórticos de concreto armado, con ausencia de vigas altas en ambas direcciones y una configuración regular en planta y elevación.

Figura N° 33. Antes edificio N° 7



Fuente: *Google Earth* (2015).



Figura N° 34. Después edificio N° 7



Fuente: Elaboración propia (2023).

La columna perimetral se encontraba entera, con fractura en los extremos, superior e inferior, mientras que la columna interna estaba colapsada por completo, así mismo, las barras de refuerzo utilizadas para la construcción de los elementos estructurales, vigas, columnas y losa eran lisas y el doblez de los estribos a 90°, además se usó para el concreto agregado gruesos del tipo canto rodado.

Edificio N° 8

Edificio N° 8, ubicado en la Provincia de Adiyaman, distrito de Besni en la avenida Ataturk, coordenadas UTM 400.395 m E, 4.171.591 m N y huso 37S, el edificio tenía cinco pisos, de uso comercial en planta baja y residencial en los niveles superiores, según los lugareños fue construido en 1998, para marzo del 2011 ya existía según *Google Earth*.

El edificio colapsó durante el terremoto del 6 de febrero, en las Figuras N° 35 y N° 36 se observan el antes y

el después del edificio, tipología constructiva de pórticos de concreto armado con ausencia de vigas altas en una dirección, con configuración regular en planta y elevación, presentaba adosamiento en la fachada lateral derecha y la planta baja más alta que los pisos superiores.

Entre los escombros se observó falla por fractura en los extremos de las columnas, (Figura N° 37), estribos doblados a 90° y agregado grueso del tipo canto rodado ocasionando poca adherencia que evidenció al ser desprendía fácilmente con las manos (Figura N° 38), la separación entre las barras del acero longitudinal de las columnas era de 22 cm aproximadamente (Figura N° 39), también se apreció deslizamiento de las barras de acero de refuerzo principal desde el interior del concreto de las columnas (Figura N° 40), así como separación de 25 cm aproximadamente de los estribos en las columnas (Figura N° 41), y la combinación de barras de acero lisas y estriadas en los elementos estructurales.

Figura N° 35. Antes edificio N° 8



Fuente: Google Earth (2015).

Figura N° 36. Después edificio N° 8



Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura N° 37. Detalle de nodo Edificio N° 8



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 38. Agregado grueso y doblez del acero



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 39. Separación del acero principal en columnas, edificio N° 8



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura N° 40. Deslizamiento interno del acero principal en columna Edificio N° 8



Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura N° 41. Separación de estribos edificio N° 8



Fuente: Elaboración propia (2023).

Edificio N° 9: Mehmet Erdemoğlo Camii (Mezquita)

Edificio N° 9 Mehmet Erdemoğlo Camii Mezquita ubicada en la Provincia de Adiyaman, distrito de Besni en la avenida Ataturk, coordenadas UTM 400.419 m E, 4.171.602 m N y huso 37S, la edificación es un templo de tres niveles entre ellos un semisótano, de uso religioso, para marzo del 2011 existía de acuerdo con *Google Earth*.

En la Figura N° 42 se presenta el antes y en la Figura N° 43 el después del Mehmet Erdemoğlo Camii edificio

N° 9, se observan daños debido al colapso de un edificio adyacente, se observó que para la construcción de la mezquita se utilizaron barras de acero de refuerzo lisas, el doblado de estribos a 90° (Figura N° 4), la tipología constructiva constituida por pórticos de concreto armado con vigas altas en una dirección.

Figura N° 42. Antes edificio N° 9



Fuente: Google Earth (2015).

Figura N° 43. Después edificio N° 9



Fuente: Elaboración propia (2023).



Figura N° 44. Fachada Lateral edificio N° 9



Fuente: Elaboración propia (2023).

Resultados

Durante la inspección realizada en la provincia de Adıyaman, se documentó que la tipología constructiva predominante en las edificaciones es de pórticos de concreto armado, con alturas que varían entre dos y nueve pisos. El análisis detallado de las edificaciones inspeccionadas reveló la siguiente distribución en cuanto a la presencia de vigas: 15 edificaciones carecían de vigas altas en ambas direcciones, nueve presentaban vigas en una sola dirección y cuatro contaban con vigas altas en ambas direcciones. En cuanto a los daños observados, nueve edificaciones colapsaron, uno sufrió daño estructural severo, 16 presentaron daños no estructurales moderados a severos o daños estructurales leves, dos se encontraban en construcción y uno no mostró daños aparentes. Se observó que las edificaciones tienden a presentar regularidad tanto en planta como en elevación, y su uso varía entre residencial, comercial y religioso.

Entre las edificaciones colapsadas se repiten las fallas frágiles, ruptura de nodos entre los elementos estructurales, baja calidad del concreto, preparación, distribución y tipo de barra de acero de refuerzo, grades espesores de los acabados en pisos y escaleras, la sumatoria de todas estas situaciones es la principal causa de los resultados obtenidos por la acción de la carga sísmica en las edificaciones.

En la Tabla N° 1 se aprecia que los edificios colapsados guardan relación con el año de construcción, esto se atribuye principalmente a la normativa utilizada para el diseño sismorresistente, ya que, las normas más recientes cumplen con los estándares internacionales y tienen incorporados los estudios más recientes. También se aprecia que los edificios colapsados presentan ausencia de vigas altas en una y hasta en las dos direcciones.

Tabla N° 1. Características más resaltantes de las edificaciones inspeccionadas

Edificio	Año de construcción	Ausencia de vigas altas	Daños	N° de niveles	Uso del edificio
1	1988	1	Colapsado	8	R y C
2	1990	1	Colapsado	5	R
3	2023	0	SD	5	NA
4	2023	0	SD	5	NA
5	2019	2	DNE	5	R y C
6	Antes del 2003	1	DNE	5	R y C
7	2015	2	DE	6	R
8	2015	2	DNE	5	R y C
9	Antes del 2003	2	DE	3	R y C
10	2016	2	DNE	5	R y C
11	Antes del 2003	2	Colapsado	6	R
12	2003	2	DE	7	R y C
13.1	2018	2	DNE	9	R y C
13.2	Antes del 2003	2	DNE	8	R y C
13.3	Antes del 2003	2	DNE	6	R y C
14	Antes del 2003	1	Colapsado	5	R y C
15	Antes del 2003	1	Colapsado	7	R
16	Antes del 2003	2	Colapsado	3	R
17	Antes del 2003	2	Colapsado	5	R y C
18	2016	0	DNE	2	RE
19	1998	1	Colapsado	5	R y C
20	2013	2	DNE	5	R y C
21	2013	2	DNE	5	R y C
22	2013	1	DNE	5	R y C
23	2013	0	DNE	4	R y C
24	2013	2	DNE	4	R y C
25	Antes del 2011	1	Colapsado	4	R y C
26	2011	1	DE	3	RE

SD= Sin daños DNE= Daños no estructurales y DE= Daños estructurales
R= Residencial, C= Comercial y RE= Religioso

Fuente: Elaboración propia (2024).

Conclusión

El sistema estructural predominante utilizado en las edificaciones observadas en la región afectada, estuvo formado por edificios entre dos y nueve pisos, con regularidad en plantas y elevación, la tipología constructiva es de pórticos de concreto armado con paredes de rellenos.

Entre las edificaciones que presentaron daños tanto estructurales como no estructurales se observan patrones recurrentes de fallas frágiles, ruptura en los nodos de los elementos estructurales, ausencia de vigas altas, adosamiento, baja calidad del concreto, distribución y tipo de barra de acero de refuerzo, grandes espesores en los acabados en pisos y escaleras.

Las edificaciones dañadas que no se derrumbaron, presentan configuraciones estructurales de diseño que no son recomendables ante la ocurrencia de un sismo, la ausencia de vigas altas en ambas direcciones, planta baja débil y la baja calidad de los materiales usados, la sobre carga debido a los acabados, esto hacen que sean consideradas con vulnerabilidad "Media-Alta".

La correlación entre el año de construcción y el nivel de daño observado sugiere que la antigüedad de las edificaciones, combinada con deficiencias constructivas, fueron factores determinantes en los colapsos y daños significativos registrados.

Referencias

ABC-Copyright © DIARIO ABC, S.L. (2023). *Mapa del terremoto en Turquía y Siria: análisis en gráficos de las zonas afectadas por el sismo*. Disponible en: <https://www.abc.es/sociedad/mapa-terremoto-frontera-turquia-siria-20230206093909nt.html>.

Copyright, Newwebcreations (2023). Disponible en: <https://es.maps-turkey.com/mapas-de-turqu%C3%A1-en-el-mundo/mapa-de-turqu%C3%ADa-y-los-pa%C3%ADses-vecinos>.

EERI (2023). *Informe preliminar de reconocimiento virtual conjunto, Terremoto de Turquía de 2023*. PRJ3824. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369754356_StEER-EERI_2023_Mw_78_Kahramanmaraş_Turkiye_Earthquake_Sequence_Joint_Preliminary_Virtual_Reconnaissance_Report_PVRR.

Funvisis, (2023). "Lecciones Aprendidas desde la Perspectiva de la Sismorresistencia, Daños y Normativas, Terremoto de Türkiye y Siria, Informe Técnico. Departamento de Ingeniería Sísmica Fun-004 2023. FUNVISIS. Caracas.

Google Earth (2022). Obtenido de www.googleearth.com

USGS (2023). Obtenido de <https://earthquake.usgs.gov/storymap/index-turkey2023.html>

Zimmerman y otros, (2023). *Post-disaster observations of the Kahramanmaraş Türkiye earthquake sequence, Structure Part 2*, 2023.