Reconocimiento a la zona dañada por los sismos de febrero de 2023 en Turquía

Sergio M. Alcocer Martínez de Castro
Jorge Aguirre González
Jorge A. Ávila Rodríguez
Marcos M. Chávez Cano
Eduardo Botero Jaramillo
Efraín Ovando Shelley

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Series
Instituto de Ingeniería UNAM
Publicación arbitrada

SID 715
MARZO, 2025

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Publicación arbitrada
ISBN: 978-607-587-256-8
DOI: 10.22201/iingen.9786075872568e.2025

Reconocimiento a la zona dañada por los sismos de febrero de 2023 en Turquía

Sergio M. Alcocer Martínez de Castro[1]
IIUNAM
salcocerm@iingen.unam.mx

Jorge Aguirre González[2]
IIUNAM
jaguirreg@iingen.unam.mx

Jorge A. Ávila Rodríguez[3]
IIUNAM
javr@pumas.iingen.unam.mx

Eduardo Botero Jaramillo[4]
IIUNAM
eboteroj@iingen.unam.mx

Marcos M. Chávez Cano[5]
IIUNAM
mchavezc@iingen.unam.mx

Efraín Ovando Shelley[6]
IIUNAM
eovs@pumas.iingen.unam.mx

Serie Investigación y Desarrollo
SID715
Marzo 2025

---

[1] Investigador Titular, Coordinación de Ingeniería Estructural, Instituto de Ingeniería, UNAM
[2] Investigador Titular, Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería, UNAM
[3] Técnico Académico Titular, Coordinación de Ingeniería Estructural, Instituto de Ingeniería, UNAM
[4] Investigador Titular, Coordinación de Geotecnia, Instituto de Ingeniería, UNAM
[5] Investigador Titular, Coordinación de Ingeniería Estructural, Instituto de Ingeniería, UNAM
[6] Investigador Titular, Coordinación de Geotecnia, Instituto de Ingeniería, UNAM

Reconocimiento a la zona dañada por los sismos de febrero de 2023 en Turquía

Primera edición, 31 de marzo de 2025
SID 715

D.R.© 2025 **Universidad Nacional Autónoma de México**

Instituto de Ingeniería, UNAM
Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México

ISBN: 978-607-587-256-8
doi: https://doi.org/10.22201/iingen.9786075872568e.2025

La obra fue editada por el Instituto de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de México (IIUNAM). El cuidado de la edición estuvo a cargo de la Unidad de Promoción y Comunicación del IIUNAM. Esta obra está gratuitamente disponible para consulta e impresión, en archivo PDF de 80.8 MB, en la sección de Publicaciones del portal electrónico del IIUNAM, http://www.iingen.unam.mx, desde que se terminó de editar.

Términos de licenciamiento Creative Commons para protección de la difusión por terceras personas y derechos de autor de la presente obra: Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Instituto de Ingeniería, en particular de la directora, Dra. Rosa María Ramírez, así como del subdirector, Dr. David Murià Vila†. Asimismo, reconocen el apoyo del embajador de México en Turquía, el Sr. José Luis Martínez y del embajador de Turquía en México, el Sr. Ilhan Kemal Tug.

La M.I. Ayse Hortacsu (Applied Technology Council, Estados Unidos de América, EUA), el Dr. Halil Sezen (Universidad Estatal de Ohio, EUA), y el Dr. Héctor Guerrero (II-UNAM) ofrecieron valiosos consejos para el viaje.

En Turquía, la brigada de reconocimiento fue auxiliada por el Prof Mehmet M Köse y por Sila Avgin (Kahramanmaras Sutcu Imam University), quienes le mostraron las zonas mayormente afectadas en Kahramanmaras. Se extiende un agradecimiento amplio a ellos.

La visita al Observatorio de Kandili fue gracias a la generosidad de la Dra. Gülüm Tanircan. Por su parte, el Dr. Alper Ilki (Istanbul Technical University) hizo posible la visita al laboratorio de estructuras de esa universidad. A todos ellos, se agradece su apoyo y atenciones durante la visita.

Los arreglos de la visita a AKOM fueron hechos por la Sra. Nurdan Türeci Akova. Agradecemos las explicaciones y atenciones del Sr. Selcuk Tütüncü, del Sr. Salim Özmen y del Dr. Serif Baris (Kocaeli University).

Durante su visita, los autores fueron recibidos y apoyados, en las más de las ocasiones de manera entusiasta y afectuosa, por una gran cantidad de personas turcas y de otras nacionalidades. A ellas y ellos, damnificados de los sismos, los autores extienden su aprecio y reconocimiento por su fortaleza y generosidad.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Resumen

El 6 de febrero de 2023, a las 4:17 h tiempo local de Turquía, ocurrió el sismo Pazarcik-Kahramanmaras de magnitud M_w 7.7 (AFAD) con profundidad focal de 8.6 km. Ese mismo día, a las 13:24 h tiempo local, ocurrió el sismo Ebistan-Kahramanmaras, de magnitud M_w 7.6 (AFAD). Las aceleraciones máximas registradas sobrepasaron los 1,000 gal en seis del total de 850 estaciones instaladas y, en varias estaciones, los espectros de respuesta superaron los niveles de diseño del reglamento vigente, pero hubo muchas en que no fue así. El reglamento en Turquía es de aplicación nacional.

En lo que corresponde a los aspectos geotécnicos, los daños asociados a la licuación de arenas fueron los más ostensibles, principalmente en las regiones de Hatay-İskenderun, Hatay-Paşaköy, Adıyaman-Gölbaşı y Adıyaman-Türkoğlu. La bondad de las cimentaciones profundas con pilas o pilotes para evitar o mitigar considerablemente los efectos nocivos de la licuación de arenas fue evidente, al igual que el uso de aisladores sísmicos, según se constató en al menos dos importantes hospitales.

Los sismos de interés volvieron a manifestar las ventajas de cumplir con los reglamentos y normas de diseño para proteger la vida y el patrimonio de las personas. Los colapsos y daños en los edificios evidenciaron errores de diseño y detallado del refuerzo, longitudinal y transversal, consistentes con un comportamiento frágil, claramente indeseable en zonas sísmicas. Los materiales usados eran claramente de baja resistencia y con características inadecuadas para resistir sismos. La calidad de la ejecución fue notoriamente deficiente. El excelente comportamiento de hospitales aislados sísmicamente sugiere establecer una política de diseño de nuevos hospitales y la rehabilitación de los existentes que contemple a los dispositivos de control de la respuesta como tecnologías obligatorias.

Es conveniente que el Instituto de Ingeniería establezca lazos formales de colaboración con colegas turcos en diversos campos, incluidos la ingeniería sismológica, ingeniería geotécnica, ingeniería estructural y mitigación del riesgo sísmico.

Palabras clave: Turquía, licuación de arenas, efectos de sitio, autoconstrucción, aislamiento sísmico, marcos de concreto no dúctiles, detallado.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Abstract

On 6 February 2023, at 4:17 h, Turkish local time, the Pazarcik-Kahramanmaras earthquake took place with a Mw 7.7 magnitude (AFAD) and a focal depth of 8.6 km. That same day, at 13.24 h local time, the Ebistan-Kahramanmaras earthquake also took place, with a Mw 7.6 magnitude (AFAD). The maximum registered ground accelerations surpassed the 1,000 gal in six of the 850 installed recording stations and, in several of them, the response spectra exceeded the current regulation's design levels. The Turkish construction regulation is implemented nation-wide.

With respect to the geotechnical aspects, the damages associated with liquefaction effects were the most distinguishable in the regions of de Hatay-İskenderun, Hatay-Paşaköy, Adıyaman-Gölbaşı and Adıyaman-Türkoğlu. The benefits of using deep foundations with piers and piles to considerably avoid or mitigate the adverse effects of liquefaction was evident, as well as the use of seismic isolators according to the observations in at least two main hospitals.

The above-mentioned earthquakes once again demonstrated the importance and advantages of complying with the requirements of the construction regulations and design standards in order to protect human life and assets. The observed damages and collapsed structures revealed errors related with design and longitudinal and transversal reinforcement, aligned with a fragile structural behavioral which is unwanted in seismic areas. The materials used presented a clear low resistance with inadequate characteristics to withstand earthquakes. The construction quality execution was clearly deficient. The excellent behavior of the seismically isolated hospitals suggests establishing a design standard for new hospitals and the rehabilitation of the existing ones in order to consider the use monitoring response devices as mandatory technologies.

It is highly convenient and interesting to establish strong bonds of collaboration between the Institute of Engineering and Turkish colleagues.

Keywords: *Turkey, sand liquefaction, site effects, non-engineered construction, seismic isolation, non-ductile concrete frames, detailing*

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Índice

Agradecimientos ..... **iii**

Resumen ..... **v**

Abstract ..... **vii**

Índice ..... **ix**

Resumen ejecutivo **1**

1. Introducción **5**
1.1. Antecedentes 5
1.1.1. Datos estadísticos 5
1.1.2. Daños del sismo Kocaeli, 1999 6
1.1.3. Aspectos sísmicos de Reglamentos utilizados 6
1.2. Objetivos de la visita, general y específicos 12
1.3. Referencias 13

2. Aspectos sismológicos **15**
2.1. Introducción 15
2.2. Marco tectónico 15
2.3. Peligro sísmico 17
2.4. Sismos del 6 de febrero de 2023 22
2.5. Referencias 30

3. Observaciones y aspectos estructurales de las zonas visitadas **33**
3.1. Introducción 33
3.2. Gaziantep 33
3.2.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 33
3.2.2. Aceleraciones máximas registradas 34
3.2.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 36
3.2.4. Daños estructurales 39
3.2.4.1. Centro histórico 39
3.2.4.2. Castillo de Gaziantep 41
3.2.4.3. Mezquita Şirvani 43

3.3. Kahramanmaras 45
3.3.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 45
3.3.2. Aceleraciones máximas registradas 45
3.3.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 48
3.3.4. Daños estructurales 51
3.3.4.1. Edificio nuevo 51
3.3.4.2. Varios edificios con daños importantes y colapsos 57
3.3.4.3. Edificio con daños estructurales importantes por impacto de construcción colindante (colapsada) 59
3.3.4.4. Estructura uso mueblería, con daños considerables 62
3.3.4.5. Edificios dañados en zona de un conjunto importante de colapsos 75
3.3.4.6. Zona de otros colapsos 80
3.3.4.7. Otros daños y colapso de un edificio interior 85
3.3.4.8. Varios edificios dañados con agrietamientos importantes en los muros de mampostería 88
3.3.4.9. Daños en varias construcciones antiguas y nuevas de mampostería con poco o nulo reforzamiento, casas-habitación 89
3.3.4.9.1. Distrito de Dulkadiroğlu 89
3.3.4.10. Daños tipo en varios edificios altos, una mezquita y un edificio en construcción 110
3.3.4.10.1. Zona de mezquita Doğukent 110
3.3.4.10.2. Edificio en construcción y dos existentes 113
3.3.4.11. Colapsos y daños en un edificio alto y otro de 2 niveles, mal ligados (sin holguras) 120
3.3.4.12. Agrietamiento tipo de muros de fachada, a base de mampostería mal confinada y mal ligada, edificios de varios entrepisos 124
3.4. Pazarcik 124
3.4.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 124
3.4.1.1. Hospital 125
3.4.2. Aceleraciones máximas registradas 129
3.4.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 131
3.4.4. Daños estructurales e indicios de licuación de arenas 134
3.5. Gölbaşi 143
3.5.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 143
3.5.2. Aceleraciones máximas registradas 144
3.5.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 146
3.5.4. Daños estructurales e indicios de licuación de arenas 148
3.5.4.1. Vista general del daño estructural 148
3.5.4.2. Evidencia de licuación de arenas 151
3.5.4.3. Edificios de uso mixto comercial y habitacional 151
3.5.4.4. Detalles varios 153
3.6. Adiyaman 158
3.6.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 158
3.6.2. Aceleraciones máximas registradas 159
3.6.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 161
3.6.4. Daños estructurales 164

3.7. Malatya 172
3.7.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 172
3.7.2. Aceleraciones máximas registradas 173
3.7.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 175
3.7.4. Daños estructurales 178
3.8. Antakya 183
3.8.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 183
3.8.2. Aceleraciones máximas registradas 183
3.8.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 186
3.8.4. Daños estructurales 189
3.9. Adana 204
3.9.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 204
3.9.1.1. Hospital 204
3.9.2. Aceleraciones máximas registradas 207
3.9.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 209
3.9.4. Daños estructurales 212
3.10. Hassa 212
3.10.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 212
3.10.1.1. Clínica 213
3.10.1.2. Hospital Hassa Devlet Hastanesi 215
3.10.2. Aceleraciones máximas registradas 216
3.10.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 219
3.10.4. Daños estructurales 222
3.11. Osmaniye 224
3.11.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 224
3.11.1.1. Hospital 225
3.11.2. Aceleraciones máximas registradas 228
3.11.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 230
3.11.4. Daños estructurales 234
3.12. Nurdagi 243
3.12.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 243
3.12.2. Aceleraciones máximas reportadas 243
3.12.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 246
3.12.4. Daños estructurales 250
3.13. Kuscumustafa 266
3.13.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 266
3.13.2. Aceleraciones máximas registradas 266
3.13.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 268
3.13.4. Daños estructurales 271

3.14. Iskenderun (puerto) 280
3.14.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional 280
3.14.2. Aceleraciones máximas registradas 280
3.14.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) 283
3.14.4. Daños estructurales 286
3.14.4.1. Condominio de cuatro torres altas 286
3.14.4.2. Edificios del Centro 291
3.15. Castillo Yilankale 293
3.15.1. Localización y estado nulo de daños 293
3.16. Referencias 296

4. Consideraciones geotécnicas 299
4.1. Planteamiento general 299
4.1.1. Licuación de arenas 299
4.1.2. Cimentaciones características 301
4.1.3. Inestabilidad de taludes 302
4.1.4. Estructuras de retención 303
4.2. Aspectos geotécnicos de la visita de reconocimiento de daño 303
4.2.1. Licuación: hundimientos o emersiones relativas 303
4.2.1.1. Hospital de Pazarcik 303
4.2.1.2. Golbasi 310
4.2.1.3. Iskenderun 323
4.2.2. Desplazamientos laterales 338
4.2.2.1. Dortyol 338
4.2.3. Asentamientos 342
4.2.3.1. Bodega de muebles Marisit, Kahramanmaraş 342
4.2.3.2. Zona Comercial Kahramanmaras 345
4.2.4. Agrietamiento de suelos y pavimentos 346
4.2.4.1. Altinuzum 346
4.2.4.2. Avenida Ataturk 348
4.2.5. Inestabilidad de taludes 350
4.3. Referencias 363

5. Conclusiones y recomendaciones 365
5.1. Conclusiones 365
5.1.1. Aspectos sismológicos 365
5.1.2. Aspectos estructurales 366
5.1.2.1. Aspectos generales 366
5.1.2.2. Estructuras de mampostería 366
5.1.2.3. Edificios tipo habitacional 367
5.1.3. Aspectos geotécnicos 367
5.2. Recomendaciones 368
5.2.1. Aspectos sismológicos 368
5.2.2. Aspectos estructurales 369
5.2.2.1. Generalidades 369
5.2.2.2. Estructuras de mampostería 369
5.2.2.3. Edificios tipo habitacional 370
5.2.3. Aspectos geotécnicos 370

Anexo 1 373
A.1.1. Reporte fotográfico de daños por el sismo Kocaeli de agosto-1999 373
A.1.2. Daños en Izmit 374
A.1.3. Daños en Yalova 392
A.1.4. Adapazari 394

Anexo 2. Información sobre los movimientos fuertes del terreno registrados en las estaciones situadas a distancias menores de 100 km de la ruptura **417**

Anexo 3. Información de fotos de portada **423**

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Resumen ejecutivo

El 6 de febrero a las 4:17 h tiempo local de Turquía, ocurrió el sismo conocido como Pazarcik-Kahramanmaras de magnitud M_w 7.7 (AFAD) con profundidad focal de 8.6 km. La falla corresponde a un movimiento lateral izquierdo que rompió alrededor de 350 km de longitud total a partir de Pazarcik en las direcciones SSW y ENE. Fue una falla superficial que afloró en varios puntos. Ese mismo día, a las 13:24 h tiempo local, ocurrió otro sismo, llamado Ebistan-Kahramanmaras, de magnitud M_w 7.6 (AFAD) con profundidad focal de 7 km. También se trató una falla superficial lateral que rompió 150 km aproximadamente, en dirección EW.

Estos dos eventos ocurrieron en un área sísmicamente activa sobre la falla este de Anatolia que está en el límite entre el bloque de Anatolia y la placa Arábiga y que ha sido bien estudiada. Este conocimiento ha sido reflejado en el último mapa de peligro sísmico de Turquía publicado en 2018 donde las áreas de ruptura de estos sismos aparecen resaltadas en rojo intenso reflejando las altas aceleraciones esperadas.

En Turquía los movimientos sísmicos fuertes son monitoreados por una numerosa red de acelerógrafos distribuida en todo el país y que opera AFAD (siglas del nombre turco Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanliği). Es importante resaltar cómo la cantidad de estaciones está más acentuada en las zonas de mayor peligro y especialmente se encuentran alineadas con la falla del sismo de Pazarcik-Kahramanmaras. Esto demuestra que la comunidad científica e ingenieril involucrada con el estudio de la actividad sísmica en Turquía tenía el conocimiento que estos sismos ocurrirían. Gracias a esta distribución de estaciones se pudo tener registro de la distribución de aceleraciones en las áreas cercanas a la falla. Las aceleraciones más altas registradas en seis de estas estaciones sobrepasaron los 1,000 gal. Aunque en varias estaciones, los espectros de respuesta obtenidos a partir de los registros de aceleración superaron los espectros de diseño del reglamento vigente, hubo muchas en que no fue así.

A diferencia de México, el reglamento en Turquía es de aplicación nacional lo cual resulta muy positivo. Sin embargo, el uso de la clasificación del tipo de suelo, tomando en cuenta el valor de las velocidades de las ondas de cortante (S) de los estratos del suelo a una profundidad de 30 m (V_{s30}), contemplado en el reglamento, podría ser una forma insuficiente de incorporar los efectos de sito a los espectros de diseño y que podría ser la causa de haber sido superados por las observaciones. Otros

factores que influyeron en la generación de los movimientos fuertes observados fueron: efectos de directividad, la heterogénea distribución de desplazamientos sobre el plano de falla, la variación de velocidades (resultó ser superior a la velocidad de propagación de las ondas S) y efectos de enfocamiento debido a la geometría del subsuelo. En general, hay congruencia entre las grandes intensidades instrumentales (niveles de aceleración) y los daños en las edificaciones que se pudieron observar.

En lo que toca a los aspectos geotécnicos, los daños asociados a la licuación de arenas fueron los más ostensibles. La licuación de arenas se manifestó en muchos sitios, principalmente de las regiones de Hatay-Paşaköy, Hatay-İskenderun, Adıyaman-Gölbaşı, Adıyaman-Türkoğlu. En el campo libre, se manifestó a través de emisiones de materia granular, hundimientos del terreno y desplazamientos laterales en sitios con pendientes ligeras, principalmente cerca de las costas. La licuación total de una arena implica su incapacidad absoluta de resistir esfuerzos cortantes y aunque eso ocurra temporalmente, por segundos o decenas de segundos, el fenómeno dio lugar a fallas catastróficas de decenas de edificios. Si la licuación es sólo parcial, eso conlleva una reducción de la capacidad de carga de las cimentaciones lo cual se tradujo en que muchos edificios se inclinaran o se hundieran, provocando daños en la superestructura. Se pudieron constatar muchos de los daños antes referidos, principalmente en la región de Hatay-İskenderun aunque también quedó claro que la evidencia de la licuación en el caso de muchos edificios demolidos quedó borrada y que también muchos de los sitios costeros que la experimentaron fueron reparados rápidamente.

La bondad de las cimentaciones profundas con pilas o pilotes para evitar o mitigar considerablemente los efectos nocivos de la licuación de arenas fue evidente, al igual que el uso de aisladores sísmicos, como se pudo constatar en al menos dos importantes hospitales. Los aisladores sísmicos colocados en la cabeza de los pilotes no previenen la ocurrencia de la licuación, pero si mitigan sus efectos al reducir los desplazamientos y fuerzas inerciales trasmitidas a la superestructura. Los pilotes de estos sistemas han demostrado su bondad para evitar o mitigar considerablemente los efectos nocivos de la licuación de arenas lo cual es un hecho reconocido mundialmente y respaldado por la evidencia empírica. Sin embargo, su funcionamiento adecuado depende de que su punta se apoye debajo de los estratos potencialmente licuables de tal suerte de que queden empotrados en el estrato resistente no licuable. Estos elementos deben diseñarse como elementos trabajando solamente por punta, pues al ocurrir la licuación se perderá el confinamiento del material circundante. Lo anterior tiene consecuencias desde el punto de vista de su diseño estructural puesto que, al ocurrir la licuación, se perderá el confinamiento del suelo lo que dará lugar a la aparición de momentos flexionantes y fuerzas cortantes a los que usualmente no estarían expuestos.

En Turquía es común cimentar los edificios de vivienda con zapatas aisladas desplantadas a poca profundidad, de lo cual se infiere que se diseñan considerando que los terrenos arenosos de desplante son capaces de proveer la capacidad de carga necesaria. Sin embargo, esta práctica los deja expuestos a sufrir los efectos nocivos de la licuación de arenas. En nuestro país hay muchas regiones y zonas en las que se ha manifestado reiteradamente la licuación de arenas, principalmente pero no exclusivamente, a lo largo de las zonas costeras. Al igual que, por ejemplo, en Turquía, Japón, Chile,

Nueva Zelanda y otros países, los daños inducidos por este fenómeno han sido en ocasiones catastróficos, generando gran número de pérdidas humanas y altos costos económicos. Por ello, urge emprender un esfuerzo a nivel nacional para identificar, primero, los sitios más expuestos a sufrir por este fenómeno y luego dedicar recursos para identificar y, en su caso, desarrollar métodos prácticos para prevenirlo o al menos para mitigar sus efectos.

El temblor de Turquía también produjo fallas en taludes carreteros, tanto en cortes como en rellenos, algunos de consideración. Es altamente destacable la rapidez y la eficiencia con la que actuaron las autoridades turcas para restablecer la circulación en las vías de comunicación. También se identificaron algunos taludes de aproximación a puentes o pasos elevados que se resolvieron con la técnica de tierra armada. En ninguno de estos se pudieron apreciar daños o signos de mal comportamiento pues, al parecer, no sufrieron daños, ni siquiera aquellos localizados en la cercanía de la zona epicentral. Es importante revisar los métodos y procedimientos de diseño de estas estructuras empleados en Turquía para aprender de ellos. Finalmente, también se observaron estructuras de retención, muros de gravedad de poca altura, principalmente en carreteras, qué si bien sufrieron desplazamientos, no indujeron inconvenientes de consideración para la operación de las vías de comunicación.

Los sismos del 6 de febrero de 2023 volvieron a evidenciar, como ha ocurrido en sismos en Turquía y en México, las ventajas de cumplir con los reglamentos y normas de diseño para proteger la vida y el patrimonio de las personas. Los colapsos y daños en los edificios evidenciaron errores de diseño y detallado del refuerzo, longitudinal y transversal, consistentes con un comportamiento frágil, indeseable y proscrito en zonas sísmicas. Además de ello, los materiales usados eran de baja resistencia (como el concreto) y con características indeseables para resistir sismos (barras lisas, piezas de mampostería con huecos perpendiculares a la carga vertical). La calidad de la ejecución fue notoriamente deficiente; ello se evidenció en colados inadecuados, junteo incompleto de piezas de mampostería, dobleces de barras con longitudes y ubicaciones incorrectos, entre otros.

La visita a la zona dañada es enormemente útil para la práctica mexicana. En especial lo es cuando se terminaba la revisión de lo que será la versión 2023 de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México. Un ejemplo son los criterios que se incluyeron para colocar estribos o grapas interiores en columnas rectangulares muy alargadas de edificios de ductilidad baja y media. Este requisito deriva directamente de analizar el deficiente detallado de columnas alargadas con estribos perimetrales únicamente.

De la visita a Turquía, se renueva la lección que el comportamiento sísmico de un edificio depende de un conjunto de buenas prácticas, desde la adecuada conceptualización sísmica del inmueble, un adecuado análisis (sin perder de vista que es una mera estimación de la respuesta), un diseño y detallado consistente con un comportamiento dúctil y con adecuada capacidad de deformación, un proyecto ejecutivo (planos y memorias) completo y exhaustivo, hasta una construcción realizada de siguiendo fielmente al proyecto ejecutivo. Este último eslabón es especialmente sensible. De nada sirven análisis complejos y detallados, un diseño y detallado cuidadosos e integrales, si la calidad de

la construcción, por defecto del constructor y sus subordinados, o por intervención del desarrollador, no se logra de buen nivel.

Durante la visita del grupo del Instituto de Ingeniería se recabó información referencial sobre presunta corrupción y conflictos de interés entre los desarrolladores inmobiliarios y las autoridades municipales y, quizá, federales. La falta de una adecuada planificación urbana, asignación de usos de suelo, así como de control de la calidad y supervisión, contribuyeron a la vulnerabilidad y al número de colapsos y fallecimientos. La necesidad de incluir a todas las partes que intervienen en una edificación (diseñadores arquitectónicos, geotécnicos, estructurales; desarrolladores; contratistas y subcontratistas; supervisores, entre otros) es palpable. Todos quienes intervienen en una "obra" son responsables de su quehacer profesional directo (como los proyectistas), así como de establecer las condiciones para que los profesionistas más aptos para el proyecto puedan desarrollarlo (como los desarrolladores).

Los daños en Turquía nos recuerdan la necesidad urgente de profesionalizar a todos quienes participan en el proceso de una edificación. De especial mención están los constructores y sus equipos, a quienes frecuentemente se les satura de responsabilidades administrativas, dejando el cuidado de los aspectos de cumplimiento técnico del proyecto en manos de personal menos capacitado y entrenado.

El excelente comportamiento de hospitales aislados sísmicamente sugiere a México la conveniencia de establecer una política de diseño de nuevos hospitales y la rehabilitación de los existentes que contemple al aislamiento de base y, en general, a los dispositivos de control de la respuesta como tecnologías obligatorias para cierto tamaño de hospitales. Turquía decidió que hospitales con más de 100 camas deben contar con estas tecnologías. Este tamaño podría servir como referencia para establecer un número mínimo de camas a partir del cual los hospitales en México dispongan de mecanismos de control de respuesta.

Dadas las similitudes entre Turquía y México, en lo social y técnico, es conveniente que el Instituto de Ingeniería establezca lazos formales de colaboración en investigación, formación de capacidades humanes, desarrollo de normatividad y su capacitación, así como de cabildeo de políticas públicas con colegas turcos.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

1.1.1. Datos estadísticos

De acuerdo con el informe de la Oficina de Estrategia y Presupuesto de la Presidencia de Turquía (OEP, 2023), a diciembre de 2022, la población total en las provincias afectadas por los sismos era de 14´013,496 personas, lo que representa 16.4 por ciento del total de la República de Turquía (85.3 millones). Del total, 96.7 por ciento vive en ciudades. En las provincias afectadas, se cuenta 1.74 millones de sirios bajo protección temporal, mismos que representan el 11.5 por ciento del total de la población en las provincias afectadas.

La población económicamente activa de Turquía es de 51.4 por ciento, con una tasa de empleo de 45.2 por ciento. En las provincias afectadas, la tasa de empleo varía entre 34.5 y 45 por ciento. Cerca de la mitad de la población trabaja en el sector de servicios. El resto se distribuye en la industria (entre 19.1 y 32.4 por ciento) y la agricultura (entre 19.0 y 31.8 por ciento).

En la zona afectada por los sismos, la tasa de empleo informal es de 39 por ciento. La mayor parte de la fuerza laboral es de hombres (70 por ciento). Un total de 622,384 personas están registradas como desempleadas.

En la zona afectada por los sismos se contabilizan 3´029,422 viviendas, con una ocupación media de 3.5 habitantes por vivienda. Este valor es 10 por ciento superior al promedio de Turquía (3.2 hab/vivienda). Se contaron 2.5 millones de edificios y estructuras en la zona; 90 por ciento era de tipo residencial (edificios o casas), 3 por ciento edificios públicos y 6 por ciento como sitios de trabajo. El número de casas en la zona afectada representaba 14.05 por ciento del total del país. Casi dos de cada tres viviendas eran de propiedad de sus usuarios (62.3 por ciento).

Turquía cuenta con 4.1 millones de alumnos en todos los niveles educativos; 21.4 por ciento de ellos estudia en la zona afectada por los sismos. El nivel de aprovechamiento de educación primaria es de 94.3 por ciento. En la región se tienen 16 universidades, con 380 mil estudiantes y 45,000

trabajadores académicos y administrativos. El número de alumnos universitarios representa 9 por ciento del total en el país.

Del total de los hospitales, 12.5 por ciento de los nosocomios afiliados al Ministerio de Salud y 17.5 por ciento de hospitales de primer nivel se encuentran en la zona afectada. El número total de camas es equivalente a 32.3 camas-paciente por 10,000 habitantes; el promedio en Turquía es de 31.3 camas-paciente por cada 10,000 habitantes. En la zona dañada, los médicos y empleados de la salud representan 16.5 y 15.5 por ciento del total del país, respectivamente.

Asimismo, en la zona afectada se registran: 8,500 edificios de patrimonio histórico; número de presas que equivalen al 39 por ciento de la capacidad hidroeléctrica instalada de Turquía, las cuales generan 40 por ciento de la hidroelectricidad generada. Además, se encuentran algunas plantas de generación de energía solar, eólica y por biomasa. La longitud total de vías férreas en la región es de 1,275 km.

1.1.2. Daños del sismo Kocaeli, 1999

Para contrastar los daños de los sismos de 2023, es útil recordar el sismo de Kocaeli de 1999. El 17 de agosto de 1999 ocurrió un temblor de M_w= 7.4, al Noroeste de Turquía, sacudiendo toda la región del Mar Mármara y algunas de las zonas más industrializadas y pobladas del país. El epicentro se localizó en la región de Kocaeli, cuya capital es Izmit, con consecuencias graves en los distritos de Estambul, Golkuk, Derince, Darica, Adapazari y Yalova, entre otros sitios. Como se mencionará posteriormente, según lo observado en los recorridos, dominaron: fallas en edificios con planta baja flexible; diseños sismorresistentes pobres con requisitos deficientes o nulos de marcos dúctiles, debido a la escasez de refuerzo transversal en los nudos y extremos de columnas, sin estribos y/o grapas interiores, dobleces de remate a 90 grados, entre otros requerimientos; daños por impacto de edificios colindantes; problemas por efectos de licuación de arenas; concretos de mala calidad y barras lisas; etc. Al final de este trabajo se presenta el Anexo 1 con un resumen del Reporte Fotográfico, en el que se pueden estudiar los principales daños observados. Como quedará manifiesto de la descripción de los daños de 2023, los tipos de falla y sus causas son muy similares a los encontrados en 1999.

1.1.3. Aspectos sísmicos de Reglamentos utilizados

A continuación, en relación con algunos requerimientos sísmicos, se presentan los espectros de diseño elásticos y la clasificación de suelos, de acuerdo con varios Reglamentos para el diseño sísmico de estructuras en Turquía (que en el idioma original tienen por nombre Türk Deprem Yönetmelikleri, TDY). El cálculo de los espectros de diseño elásticos se realizó a partir de la información disponible de los Reglamentos correspondientes a los años 1975 (TDY 1975), 1998 (TDY 1998), 2007 (TDY 2007), y 2018 (TBDY 2018); esta información se obtuvo del sitio *web* https://www.tdmd.org.tr, disponible en la Asociación de Ingeniería Sísmica de Turquía (Türkiye Deprem Mühendisliği Derneği).

En la Figura 1.1 se comparan los espectros de diseño elásticos para cada uno de los Reglamentos TDY 1975, TDY 1998, TDY 2007 y TBDY 2018, y la Tabla 1.1 muestra las ordenadas espectrales correspondientes a la meseta para cada uno de ellos. Enseguida se presentan algunas consideraciones que se tomaron para el cálculo y selección de dichos espectros, a saber:

- Para todos los casos, el factor de importancia se tomó igual a 1.0, pero que, en circunstancias normales de diseño, se deberá seleccionar un valor según el uso de la estructura, y que, puede corresponder a un valor de hasta 1.5.
- Asimismo, para todos los casos, se calcularon las ordenadas espectrales que corresponden a la zona sísmica de mayor demanda, tomando en cuenta que los lugares que se visitaron durante los recorridos, se ubican donde el mayor peligro sísmico se presenta en la proximidad de las fallas geológicas.
- Para el caso del TDY 1975, se considera un factor k igual a 1.0 que corresponde a un sistema estructural a base de marcos, pero en dicho reglamento se indican otros factores dependientes del sistema estructural que se requiere. La zona sísmica se tomó como 1, puesto que, como se explicó anteriormente, se refiere a una zona con un mayor peligro sísmico debido a la ubicación geográfica de las zonas visitadas. La clasificación del tipo de suelo se realizó tomando en cuenta el valor de las velocidades de corte a una profundidad de 30 m (Vs30), para las cuales las estaciones sismológicas localizadas en las zonas de estudio arrojan resultados que, de acuerdo con el reglamento, ubica en las zonas I, II y III, es decir, valores de Vs30 de entre 200 y 750 m/s.
- Los reglamentos TDY 1998 y TDY 2007 comparten los mismos valores de ordenadas para el cálculo de los espectros elásticos de diseño. La clasificación del tipo de suelo es similar a la del año TDY 1975 basado en la estimación del Vs30, donde para este caso, los suelos tipo Z1, Z2, Z3 y Z4 se encuentran entre los valores de 200 y 750 m/s. Nuevamente, la zona sísmica que se consideró es la 1.
- En la versión del Reglamento TBDY 2018, ya no se incluye el concepto de una zona sísmica, sino se apoya en las coordenadas específicas del sitio de interés para obtener parámetros correspondientes a cada una de las ubicaciones requeridas; por lo tanto, para este trabajo en particular, se tomó la combinación de parámetros que dieran como resultado las mayores ordenadas espectrales, tomando en cuenta que no se obtuvo acceso a los parámetros específicos de las zonas visitadas porque el sitio web que permite obtener dichos valores está restringida a habitantes locales. Esto último, está asociada con la clasificación del suelo, donde para este reglamento vigente, se tiene la clasificación del suelo para seis diferentes tipos: ZA, ZB, ZC, ZD, ZE y ZF, que también dependen de las Vs30, que varían de valor entre 200 y 750 m/s, según información de ubicación de las estaciones sismológicas de interés para este trabajo; así, se muestran los espectros elásticos de diseño para las zonas ZC y ZD, correspondientes a dicho rango de Vs30 (ver Figura 1.1).
- Para llevar a cabo la comparación de las diferentes versiones de los Reglamentos en Turquía (TDY), desde el punto de vista del diseño sísmico de estructuras, en la Tabla 1.2 se incluyen los rangos utilizados de los valores de los perfiles de la velocidad de cortante de los estratos del suelo a 30 m de profundidad (Vs30), así como su clasificación respectiva propuesta, según el tipo de suelo en territorio turco. Además, como referencia, para cada una de las regiones visitadas se incorpora la

Tabla 1.3, donde se muestran los valores propuestos de Vs30, según la clasificación del tipo de suelo en el reglamento vigente de Turquía (TBDY-2018), contra lo indicado en el Manual de Obras Civiles por Sismo de la CFE (MDOC-DS-2015), y el periodo predominante del suelo (Ts) para el caso de la Ciudad de México.

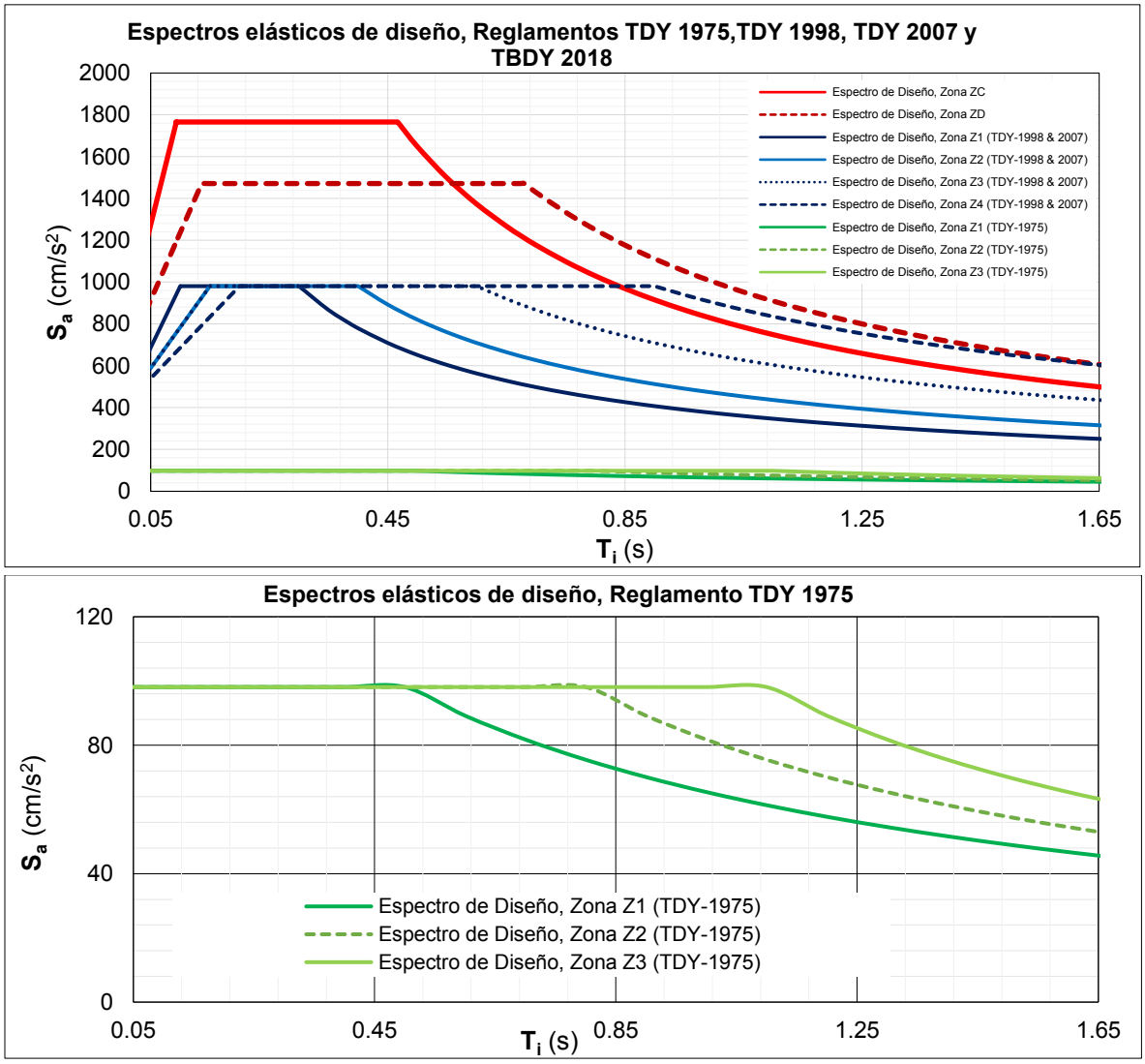


Figura 1.1 Espectros elásticos de diseño sísmico según los Reglamentos TDY 1975, TDY 1998, TDY 2007 y TBDY 2018. *Fuente: Elaboración propia con base en Earthquake Engineering Association of Turkey (s. f.)* [*Notas: 1) es probable que las estructuras dañadas y colapsadas durante el sismo Kocaeli de 1999, hayan sido diseñadas con el Reglamento TDY 1975, con ordenadas espectrales muy inferiores a las especificadas posteriormente en las versiones 1998, 2007 y 2018 de los Reglamentos respectivos; 2) pero, también, es alta la probabilidad de que los diseños sismorresistentes de los edificios observados y colapsados o muy dañados, durante los sismos de 1999 y 2023, no hayan respetado los requisitos mínimos de los detalles de armados (principalmente, en los refuerzos transversales) de los elementos estructurales pertenecientes a dichas construcciones, según lo detectado durante los recorridos hechos en ambos sismos severos; 3) como conclusión inicial importante, se supone que los diseñadores y/o constructores no cumplieron cabalmente con las Normas de diseño*].

Tabla 1.1 Comparación entre coeficientes sísmicos, con base en la clasificación del tipo de suelo para las zonas sísmicas más desfavorables, utilizando las diferentes versiones del Reglamento para el diseño sísmico de estructuras en Turquía (TDY 1975, 1998, 2007 y 2018)

Versión de Reglamento	Clasificación del suelo*	Ordenada espectral máxima, S_a (cm/s^2)	Coeficiente Sísmico, c_s
1975	I	98.1	0.1
	II	98.1	0.1
	III	98.1	0.1
1998 y 2007	Z1	981	1.0
	Z2	981.0	1.0
	Z3	981.0	1.0
	Z4	981.0	1.0
2018	ZC	1,765.8	1.8
	ZD	1,471.5	1.5

***** La clasificación de los suelos se indica en las tablas 1.2 y 1.3.

Nota: Los coeficientes sísmicos que se presentan corresponden a la ordenada de la meseta de los espectros de diseño que se muestran en la Figura 1.1

Tabla 1.2 Clasificación de tipo de suelo, con base en los resultados obtenidos y propuestos de las velocidades de cortante a 30 m de profundidad (Vs30), según las diferentes versiones de Reglamentos para el diseño sísmico de estructuras en Turquía (TDY 1975, 1998, 2007 y 2018) *****. *Parte 1 (continúa)*

Versión de Reglamento	Clasificación		V_{s30} (m/s)	Características del tipo de Suelo
1975	I		>700	Roca, arena muy densa o arcilla muy rígida
	II		400-700	Roca fragmentada, arenas densas o arcillas rígidas
	III		200-400	Rocas sueltas como tobas, arenas con densidad media, limos y arcillas con rigidez media
	IV		<200	Capas aluviales blandas y profundas con nivel freático alto
1998 y 2007	Z1	A	>700	Roca, arena muy densa o arcilla muy rígida
		B ($h_1 \leq 15$ m)	300-1000	Roca fragmentada, arenas densas o arcillas rígidas
	Z2	B ($h_1 > 15$ m)	300-1000	Roca fragmentada, arenas densas o arcillas rígidas
		C ($h_1 \leq 15$ m)	200-700	Rocas sueltas, arenas con densidad media, limos y arcillas con rigidez media
	Z3	C (15 m$<h1\leq$50 m)	200-700	Rocas sueltas, arenas con densidad media, limos y arcillas con rigidez media
		D ($h_1 \leq 10$ m)	<200	Capas aluviales blandas y profundas con nivel freático alto
	Z4	C ($h_1 > 50$ m)	200-700	Rocas sueltas, arenas con densidad media, limos y arcillas con rigidez media
		D ($h_1 > 10$ m)	<200	Capas aluviales blandas y profundas con nivel freático alto

Tabla 1.2 Clasificación de tipo de suelo con base en los resultados obtenidos y propuestos de las velocidades de cortante a 30 m de profundidad (Vs30), según las diferentes versiones de Reglamentos para el diseño sísmico de estructuras en Turquía (TDY 1975, 1998, 2007 y 2018) *. *Parte 2 (continuación)*

Versión de Reglamento	Clasificación	V_{s30} (m/s)	Características del tipo de Suelo
2018	ZA	>1500	Rocas sólidas y duras
	ZB	760-1500	Roca, arena muy densa o arcilla muy rígida
	ZC	360-760	Roca fragmentada, arenas densas o arcillas rígidas
	ZD	180-360	Rocas sueltas, arenas con densidad media, limos y arcillas con rigidez media
	ZE	<180	Capas aluviales blandas y profundas con nivel freático alto
	ZF	-	Motivos que requieren investigación y evaluación específicas del sitio: 1) Suelos con riesgo de colapso y potencial colapso por efecto de sismos (suelos licuables, arcillas muy sensibles, suelos colapsables débilmente cementados, etc.), 2) Arcillas con un espesor total de más de 3 m de turba y/o alto contenido orgánico, 3) Arcillas de alta plasticidad (PI > 50) con un espesor total de más de 8 m, 4) Arcillas muy gruesas (> 35 m) blandas o medianamente sólidas.

* *Fuente: Earthquake Engineering Association of Turkey (s. f.).*

Tabla 1.3 Comparativa de la clasificación de tipo de suelo, con base en resultados reportados de los perfiles de velocidad de cortante a 30 m de profundidad (V_{s30}) para el Reglamento vigente de diseño sísmico de estructuras en Turquía (TBDY-2018), tomando en cuenta cada una de las regiones visitadas, contra lo indicado en el Manual de Obras Civiles por Sismo de la CFE (MDOC-DS-2015), y de acuerdo con el periodo predominante del suelo (T_s) para el caso de la Ciudad de México. *Parte 1 (continúa)*

Ciudad	Estación	V_{s30} [1] (m/s)	T_s [1] (s)	Clasificación del tipo de suelo		
				TBDY [2]	CFE [3]	CDMX [4]
Gaziantep	2703	758	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Kahramanmaras	4617	574	0.20	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Kahramanmaras	4618	715	0.32	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Kahramanmaras	4619	545	0.22	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Kahramanmaras	4620	484	0.21	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Kahramanmaras	4621	714	0.10-0.50	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Pazarcik	4614	541	0.32	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Pazarcik	4615	484	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Pazarcik	NAR	ND	ND	ZC	ND	ND
Gölbasi	0208	469	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Adiyaman	0201	391	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Adiyaman	0210	ND	ND	ND	ND	ND
Malatya	4404	1380	ND	ZB	ROCA	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Malatya	4406	815	0.22	ZB	ROCA	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Malatya	4408	654	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)
Malatya	4409	373	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: $T_s \leq 0.5$ s)

Tabla 1.3 Comparativa de la clasificación de tipo de suelo, con base en resultados reportados de los perfiles de velocidad de cortante a 30 m de profundidad (V_{s30}) para el Reglamento vigente de diseño sísmico de estructuras en Turquía (TBDY-2018), tomando en cuenta cada una de las regiones visitadas, contra lo indicado en el Manual de Obras Civiles por Sismo de la CFE (MDOC-DS-2015), y de acuerdo con el periodo predominante del suelo (T_s) para el caso de la Ciudad de México. *Parte 2 (continuación)*

Ciudad	Estación	V_{s30}[1] (m/s)	T_s [1] (s)	Clasificación del tipo de suelo		
				TBDY [2]	TBDY [2]	TBDY [2]
Malatya	4412	311	ND	ZD	SUELO MEDIO	II (Transición: 0.5 s ≤T_s≤ 1.0 s)
Malatya	4413	508	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: Ts≤ 0.5 s)
Malatya	4414	418	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: Ts≤ 0.5 s)
Antakya	3124	283	0.81	ZD	SUELO MEDIO	II (Transición: 0.5 s ≤T_s≤ 1.0 s)
Antakya	3132	377	0.30	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: T_s≤ 0.5 s)
Adana	0118	946	ND	ZB	ROCA	I (Lomas: T_s≤ 0.5 s)
Adana	0123	519	0.20	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: T_s≤ 0.5 s)
Hassa	3143	444	0.43	ZC	FIRME Y DENSO	III_a (Lago: 1.0 s ≤T_s≤ 1.5 s)
Hassa	3144	485	0.44	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: T_s≤ 0.5 s)
Hassa	3138	618	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: T_s≤ 0.5 s)
Osmaniye	8002	430	ND	ZC	FIRME Y DENSO	I (Lomas: T_s≤ 0.5 s)
Osmaniye	8003	350	ND	ZD	SUELO MEDIO	II (Transición: 0.5 s ≤T_s≤ 1.0 s)
Nurdagi	4632	428	0.98	ZC	FIRME Y DENSO	III_a (Lago: 1.0 s ≤T_s≤ 1.5 s)
Nurdagi	2712	ND	ND	ND	ND	ND
Kuscumustafa	2708	523	0.70	ZC	FIRME Y DENSO	II (Transición: 0.5 s ≤T_s≤ 1.0 s)
Iskenderun	3115	424	1.11	ZC	FIRME Y DENSO	III_a (Lago: 1.0 s ≤T_s≤ 1.5 s)

[1] TADAS (s. f.)M; [2] Republic of Turkey Ministry of Internal Affairs Disaster and Emergency Management Presidency (2024); [3] Clasificación equivalente del tipo de suelo con base en el V_{s30}, según el Manual de Obras Civiles por Sismo de la CFE (MDOC-DS-2015); [4] Clasificación equivalente del tipo de suelo con base en el periodo predominante del movimiento del suelo en la Ciudad de México; ND: No se tiene información en la base de datos; NAR: nombre asignado en la base de datos de la estación.

1.2. Objetivos de la visita, general y específicos

El 6 de febrero de 2023, ocurrieron dos temblores en la República de Turquía que causaron más de 55 mil muertos, 38 mil colapsos y una enorme cantidad de daño. No habían ocurrido sismos tan intensos desde 1513.

Con objeto de entender qué fue lo que ocurrió en términos de comportamiento de las estructuras y de sus cimentaciones, tanto de edificios como de puentes, sistemas de distribución de agua potable, entre otros, un grupo de investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM), realizó la visita a la zona dañada del 11 al 22 de abril. La intención última de la visita es aprender de esta experiencia y aplicarla a las normas de diseño y construcción de nuestro país.

En términos generales, se encontraron problemas en el comportamiento estructural, asociados a una mala práctica del diseño y la construcción, y una falta de observancia de las normas y de los reglamentos de construcción. De nada sirve que los reglamentos estén bien elaborados si no se aplican. Desafortunadamente, no es nada distinto de lo que ha pasado en otros países, incluyendo México.

En la Figura 1.2 se muestra el mapa general de Turquía, incluyendo la parte Sur-Este donde se presentaron los daños principales de los sismos del 6 de febrero de 2023. En la Figura 1.3 se encuentra la ubicación de las ciudades visitadas por personal académico del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM), durante los días 11 a 22 de abril de 2023.

Durante los nueve días efectivos de visita terrestre se recorrieron 1,600 km, las ciudades y zonas revisadas fueron: Gaziantep, Kahramanmaras, Pazarcik, Gölbasi, Adiyaman, Yesilyurt, Malatya, Kuscumustafa, Antakya, Hassa, castillo Yilankale, Hospital Adana, puerto Iskenderun, mezquita Seyhan, Osmaniye, y Nurdagi.

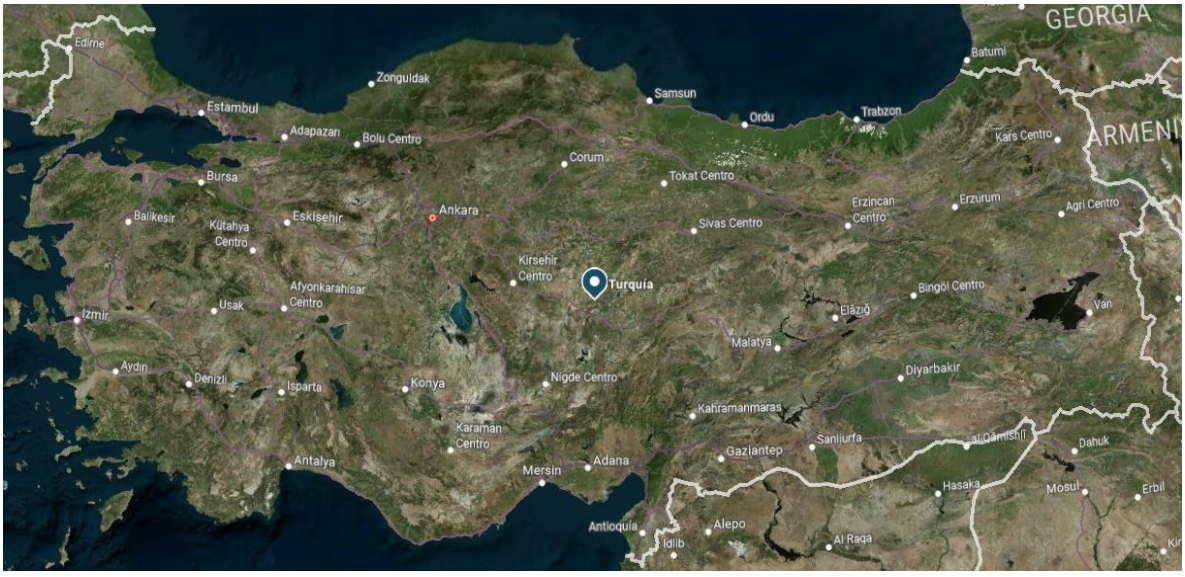


Figura 1.2 Mapa general de Turquía, donde se muestra la zona Sur-Este de Turquía y Norte de Irán de los daños principales del sismo del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Google Earth (2023a).*

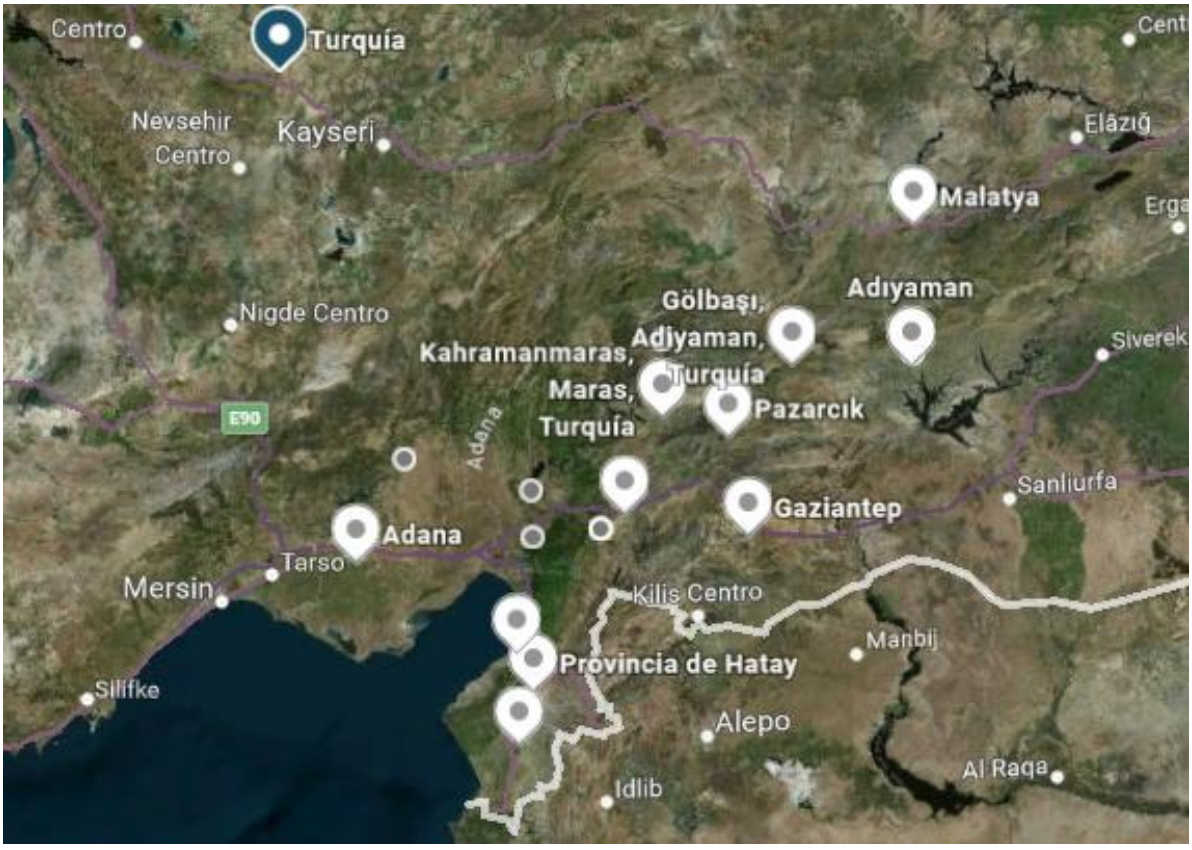


Figura 1.3 Vista general del mapa que describe la mayoría de los sitios con daños importantes, visitados por personal académico del II-UNAM. *Fuente: Google Earth (2023b)*

1.3. Referencias

Earthquake Engineering Association of Turkey. (s. f.). Recuperado de: https://www.tdmd.org.tr

Google Earth. (2023a). [Mapa general de Turquía]. Recuperado de: https://www.google.es/intl/es/earth/index.html

Google Earth. (2023b). [Vista general del mapa que describe la mayoría de los sitios con daños importantes visitados por personal académico del II-UNAM]. Recuperado de: https://www.google.es/intl/es/earth/index.html

Republic of Turkey Ministry of Internal Affairs Disaster and Emergency Management Presidency. (2024). *Türkiye Earthquake Hazard Map. AFAD*. https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi

TADAS, Turkish Accelerometric Database and Analysis System. (s. f). Recuperado de https://tadas.afad.gov.tr/login

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

2. Aspectos sismológicos

2.1. Introducción

El 6 de febrero de 2023 a las 4:17 hora local ocurrió un sismo conocido como Pasarcik-Kahramanmaras, cuya magnitud fue determinada por las agencias locales (AFAD, KOERI, EMSC) de M_w 7.7, mientras que USGS le asignó M_w 7.8. Alrededor de nueve horas más tarde, a las 13:24 hora local, ocurrió otro sismo llamado Elbistan-Kahramanmaras de magnitud M_w 7.6 (según AFAD y KOERI) o M_w 7.5 (según EMSC, USGS). El epicentro del sismo de Pazarcik se ubicó en 37.288º latitud N y 37.043º longitud E, entre las ciudades de Gaziantep y Kahranmanmaras, a distancias de 40 y 33 km, respectivamente, con una profundidad de 8.6 km (AFAD). Mientras que el sismo de Elbistan-Kahramanmaras, tuvo su epicentro en 38.0889º de latitud N y 37.239º de longitud E, aproximadamente a 98 km al noroeste de la ciudad de Adiyaman, y a 62 km al noreste de la ciudad de Kahramanmaras, con una profundidad focal de 7.0 km (AFAD). Corresponden a eventos que ocurren sobre fallas superficiales y que forman partes de rasgos tectónicos bien conocidos y estudiados en la zona, que serán expuestos en las siguientes secciones de marco tectónico y peligro sísmico.

En la parte de Antioquía (Antakya) y en algunas zonas pegadas a la costa se generaron aceleraciones máximas de 1,367 cm/s^2, lo que lo coloca como el onceavo sismo que ha producido este nivel de aceleraciones a nivel mundial, a partir de que se comenzaron a guardar estos registros.

2.2. Marco tectónico

Turquía está situada en un ambiente tectónico muy activo. La mayor parte del país está situado sobre el bloque de Anatolia que colinda al norte con la placa Euroasiática en un movimiento de cizalla con una falla lateral derecha conocido como NAFZ (por sus siglas en inglés de North Anatolian Fault Zone). Esto implica que el bloque de Anatolia se mueve relativamente hacia el oeste en comparación con la placa Euroasiática que tiene un movimiento relativo hacia el este. Hacia el sureste, el Bloque de

Anatolia colinda con la placa de Arabia, también con un movimiento de cizalla, pero esta vez con una falla lateral izquierda llamada EAFZ (por sus siglas en inglés de East Anatolian Fault Zone). El movimiento de la placa Arábica hacia el noroeste empuja al bloque de Anatolia hacia el oeste a través de esta falla de cizallamiento que muestra una dirección NE-SO casi perpendicular al movimiento de la placa Arábica. El movimiento relativo entre los bloques oscila entre los 10 mm/año en el extremo NE y 1.5 mm/año en una de las ramas del extremo SO (Gulerce et al., 2017). En la Figura 2.1 se muestra el mapa del sistema de fallas laterales del Este de Anatolia, mostrando sus hebras, segmentos y saltos de falla.

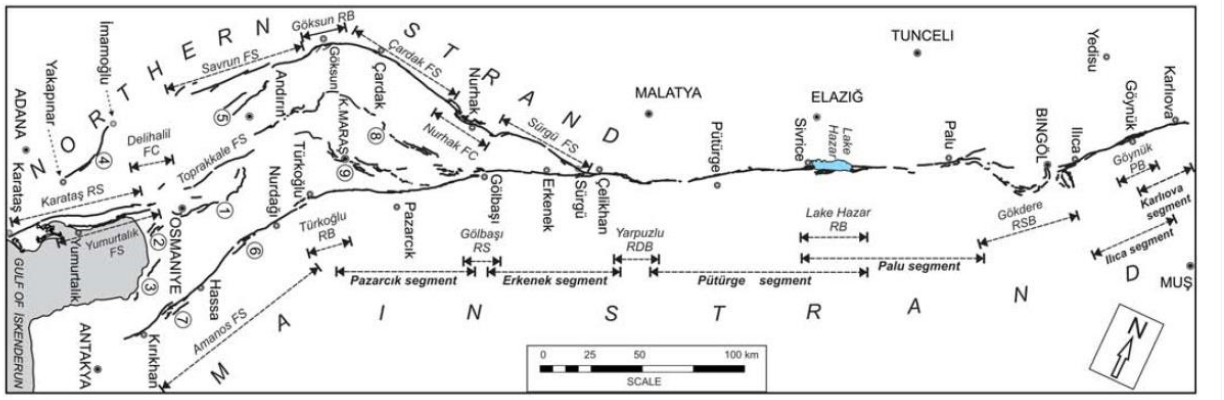


Figura 2.1 Mapa del sistema de fallas laterales del Este de Anatolia, mostrando sus hebras, segmentos y saltos de falla. Abreviaturas: FS, segmento de falla; RB curva de liberación; RS, Liberación del paso a nivel; RDB, doble curva de contención; RSB, curva de contención; PB, curva emparejada; (1) segmento de falla Duzici-Osmaniye; (2) segmento de falla Erzin; (3) segmento de falla Payas; (4) segmento de falla Yakapinar; (5) segmento de falla Cokak; (6) curva de liberación Islahiye; (7) paso de restricción Demrek; (8) zona de falla Engizek; (9) zona de falla Maras. *Fuente: Gülerce et al. (2023).*

En general, el sistema de fallas se extiende desde la costa del Mar Mediterráneo en donde aparece de forma ramificada en dos sistemas: uno al norte del golfo de Iskenderun con las fallas de Kyrenia, Karatas y Ceyhan que constituyen la hebra norte; y otro al sur, con las fallas de Orontes y Amanos (segmento de falla de Amanos, AFS) (Gulerce *et al.*, 2017). Esta última rama se extiende en dirección NE hasta Turkoglu donde continúa con una dirección más hacia el Este sobre una línea subtendida entre las ciudades de Turkoglu y Golbasi que se extiende hasta la ciudad de Celikhan sistema identificado como Pazarcik-Erkenek (Gulerce *et al.*, 2017). Luego continua hacia el NE con los segmentos Puturge, Palu, Gokdere, Ilica, Goynuk y Karliova. Todos estos segmentos constituyen la hebra principal que forma una longitud total de 580 km de frontera entre placas y se extiende desde Antakya hasta Karliova (Duman y Emre, 2013). En Celikhan, punto intermedio, se une con el sistema de fallas de la hebra Norte que a esta atura corre de este a oeste en dirección de las ciudades de Celikhan y Goksun, conocido como sistema de fallas Surgu-Misis (SMFS). Este comprende los segmentos de falla de Cardak (CFS), Nurak (NFC) y Surugu (SFS) (Duman y Emre, 2013; Duman *et al.*, 2020).

En estos últimos sistemas de fallas, que pertenecen a EAFZ, es donde ocurrieron los dos sismos del 6 de febrero de 2023. El primer evento sísmico se originó cerca de Pazarcik, sobre la hebra principal, y se propagó hacia el sur a través del segmento de falla de Amanos y hacia el este, a través del sistema Pazarcik-Erkenek. Por otro lado, el segundo evento sísmico se inició cerca de la ciudad de Elbistan, sobre la hebra Norte, a la mitad del segmento CFS, extendiéndose hacia ambos lados, por ese mismo segmento hacia el oeste y hacia el este, abarcando el segmento SFS.

2.3. Peligro sísmico

Según Duman *et al.* (2020), sobre los sistemas de fallas pertenecientes a la hebra Norte y a la hebra principal del sistema Este de las fallas de Anatolia, se han reportado eventos históricos hasta de Mw 7.6 en el año de 242 AD. Sin embargo, las magnitudes reportadas de los eventos ya registrados por instrumentos no exceden la magnitud de 6.0 (Duman *et al.*, 2020). En el mismo trabajo de Duman *et al.* (2020), se realiza un estudio de paleosismología, donde excavaron siete trincheras sobre la hebra Norte del sistema de fallas del este de Anatolia. En su investigación: excavaron, limpiaron, tomaron muestras, perforaron, realizaron la datación e interpretación. Las trincheras paleosísmicas estuvieron sobre los siguientes cinco segmentos: Karatas, Yumurtalik, Toprakkale, Duzici y Osmaniye. En todos los segmentos estudiados, las fallas son de rumbo con componentes oblicuos que en algunos casos son normales y en otros laterales debido al pandeo en la vecindad. Lograron identificar los eventos ocurridos en 242 AD y 1115 AD. El evento de 242 AD fue identificado en tres de las cinco fallas y se le atribuye una Mw 7.6, el evento histórico más grande de la región. Con base en los resultados de las trincheras, se especula que cuatro de estos segmentos se hayan roto juntos en una ruptura compleja multisegmento que podría ser análogo a un sismo de Mw 7.8. Con los datos que disponían los autores concluyeron que el intervalo de recurrencia para estos sismos es mayor que 1000 años (Duman *et al.*, 2020). Aunque el primer evento del 6 de febrero 2023 que discutimos en este trabajo ocurre sobre otra hebra (la hebra principal), este estudio reciente muestra como en la antigüedad han ocurrido eventos que rompen varios segmentos de falla. También, nos muestra los grandes periodos de recurrencia de la sismicidad de estas fallas. Las consecuencias de ello, por un lado, serían la poca significancia estadística de estos eventos en las estimaciones de peligro para un intervalo de tiempo relativamente corto y, por otro, la acumulación de deformaciones en ese intervalo que es potencial generador de sismos de gran magnitud.

El sismo más grande reportado en el catálogo de USGS, en la zona comprendida entre los 35.480º y los 38.404º de latitud N y los 35.112º y los 39.001º de longitud E, es de M 6.8, y ocurrió en el año de 1905, a 13 km de Sinik.

Tomando en cuenta tanto la tectónica expuesta en la sección anterior, así como la sismicidad mencionada, Gulerce *et al.* (2017) realizaron una estimación del peligro sísmico probabilístico en la zona de falla del Este de Anatolia usando modelos de fuente de fallas planas (Figura 2.2).

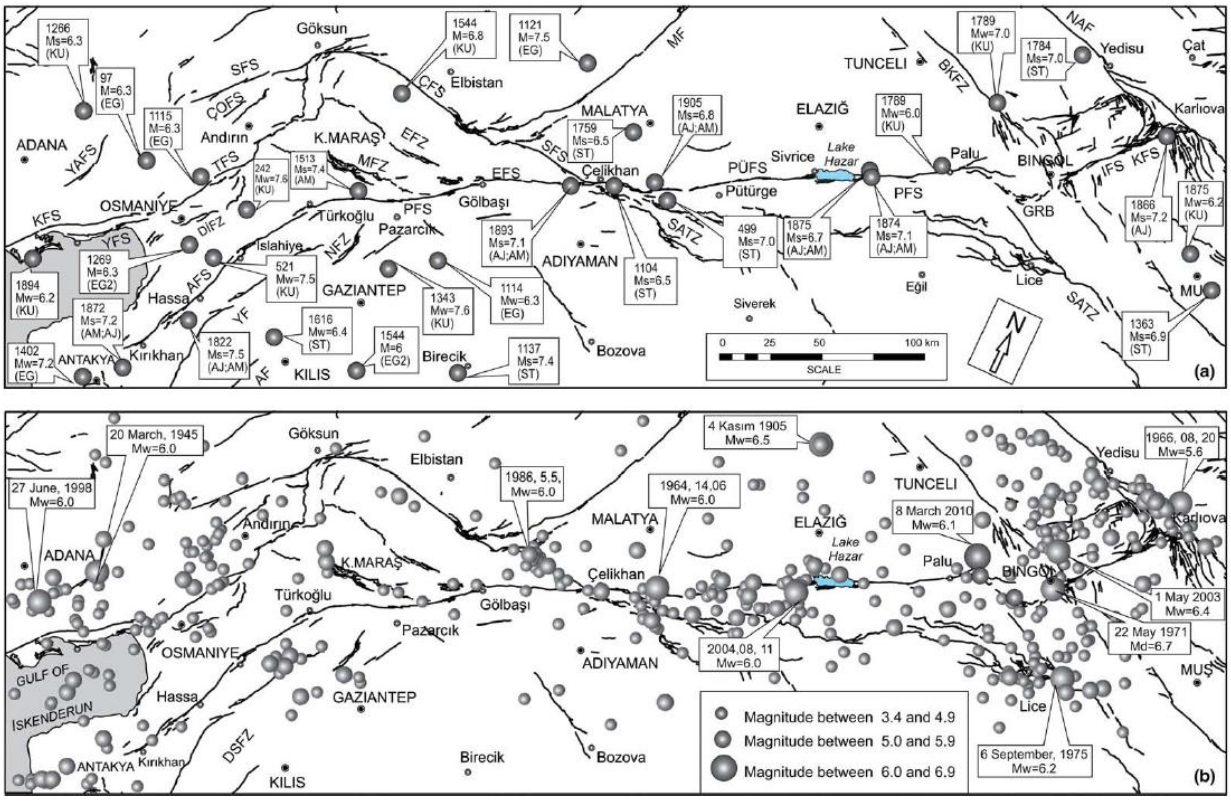


Figura 2.2 Distribución de ambos sismos (a) históricos y (b) instrumentales a lo largo de la falla del Este de Anatolia, donde se muestran las zonas de falla mayores en la vecindad. Además, se hace ver que las localizaciones de sismos históricos corresponden con Ambraseys (1988), Ambraseys y Jackson (1998) y Tan *et al.* (2008); los datos instrumentales son de Aktar *et al.* (2000), Kalafat *et al.* (2011) y Ergin *et al.* (2004). [*Notas: las letras adentro de los cuadros se refieren a las fuentes originales para los sismos históricos, y las abreviaturas son: ST, Shebalin y Tatevossian (1997); KU, Kondorskaya y Ulomov (1999); EG, Guidoboni et al. (1994); AM, Ambraseys (1988); AJ, Ambraseys y Jackson (1998); NAF, Falla del Norte de Anatolia; MF, Zona de Falla de Malatya; DSFZ, Zona de Falla del Mar Muerto; BKFZ, Zona de Falla Bingol-Karakocan; SATZ, Zona de Convergencia del Sureste de Anatolia; segmento de falla de Yakapinar; KFS, segmento de falla de Karatas; YFS, segmento de falla de Yumurtalik; DIFZ, Zona de Falla Duzici-Iskenderun; AFS, segmento de falla Amanos, YFS, segmento de falla Yesemek; AF, Falla Afrin; NRFZ, Zona de Falla Narili; MFZ, Zona de Falla Maras; EFZ, Zona de Falla Engizek; COFS, Zona de Falla Cokak; SFS, segmento de falla Savrun; TFS, segmento de falla Toprakkale; CFS, segmento de falla Cardak; SUFS, segmento de falla Surgu; PUFS, segmento de falla Puturge; PFS, segmento de falla Palu; IFS, segmento de falla Iliica; KFS, segmento de falla Karliova*]. *Fuente: Duman y Emre (2013)*.

En su estudio consideraron varios escenarios, donde contemplaron la ocurrencia de fuentes sísmicas producto de la ruptura de fallas aisladas, así como la combinación de segmentos. Con base en la información tectónica más reciente, construyeron eventos de pequeña, moderada y gran magnitud que consideran las restricciones de la geología y las tasas sísmicas relativas a cada subzona. Sus resultados coinciden con otros trabajos (Erdik *et al.*, 1999).

Gulerce *et al*. encontraron una distribución de aceleraciones del orden de 0.7 g, casi uniforme en zonas cercanas a las fallas para un periodo de retorno de 475 años. Al final se menciona que, en temas controversiales, la decisión que tomaron siempre estuvo sesgada hacia las alternativas que resultan en

valores de peligro mayor. Trabajos como éste seguramente incidieron en el mapa de peligros y en el Reglamento de construcción vigente, cuya última revisión se realizó en 2018.

El mapa de peligro sísmico vigente en 2023 fue rebasado en algunos lugares por las aceleraciones registradas y no presentó una distribución tan uniforme como se había estimado. Fue posible verificar esto gracias al gran número de estaciones de la red acelerográfica desplegada en Turquía (TNSMN, por sus siglas en ingles de Turkish National Strong Motion Network) que cuenta con más de 850 estaciones operadas por AFAD (*https*: *tadas.afad.gov.tr*), como se muestra en la Figura 2.3.

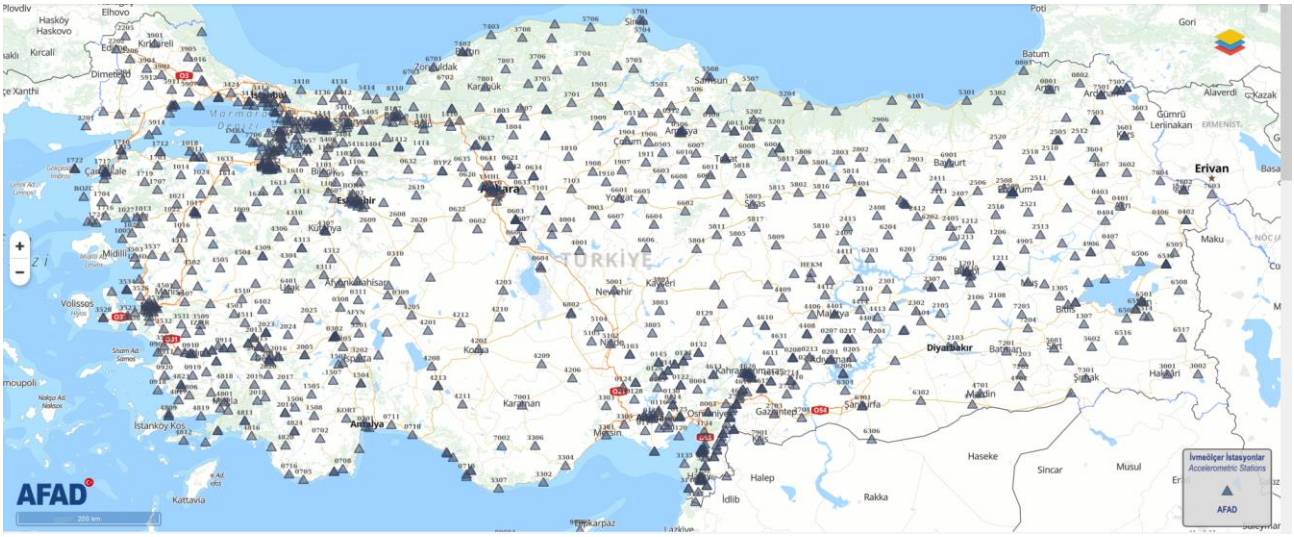


Figura 2.3 Distribución de estaciones acelerográficas de la red TNSMN operada por AFAD.
Fuente: TADAS, (s. f.).

Como se puede apreciar en la Figura 2.3, muchas de estas estaciones se instalaron sobre la traza de la que hemos llamado la hebra principal de la falla EAF, lo que permitió registrar las aceleraciones y mapear rápidamente las zonas de mayor y menor intensidad de aceleración máxima (PGA, por sus siglas en inglés *Peak Ground Acceler*ation). Estos mapas muestran zonas de concentración de PGA en sitios cercanos a la falla, pero no uniforme a lo largo de ésta. Estas zonas de concentraciones de PGA son la combinación del desplazamiento heterogéneo sobre la falla y la directividad. Las discrepancias entre lo estimado en el mapa de peligro sísmico y el mapa de intensidades observado es consecuencia de que en este tipo de estudios de peligro sísmico no se consideran efectos como la directividad y la distribución heterogénea de las dislocaciones a lo largo de la falla. Esto implicaría, entre otras cosas, conocer el punto de nucleación de las fallas, es decir, el punto donde inicia la ruptura. Estos temas son difíciles de ser considerados *a priori*, aunque existen algunos trabajos donde se han realizado escenarios sísmicos que incorporan tanto los efectos producidos por las heterogeneidades como los efectos, como la directividad, generados por la propagación de la ruptura.

Darawcheh *et al.* (2022) reconstruyen el escenario debido al devastador sismo de Alepo ocurrido el 13 de agosto de 1822. En su revisión histórica encuentran que el evento sísmico previo que devastó a

Alepo ocurrió el 11 de octubre de 1138, sugiriendo que en un lapso de 684 años no ocurrieron sismos de gran magnitud hasta 1822. Dado que la ocurrencia de este sismo es previa a la época instrumental, la reconstrucción que hacen está basada en los reportes de los testigos presenciales. Con esos datos reconstruyen el mapa de isosistas mostrado en la Figura 2.4, donde tanto Alepo como Antakya experimentaron intensidades entre VIII y IX; el epicentro del sismo de 1822 ocurre sobre la falla Saint Simeon que corre en paralelo a unos 60 km al Este del segmento Amanos de la hebra principal de EAF. Cabe señalar que, a pesar de que no corresponde a la misma falla que rompió este año (6 de febrero de 2023), este estudio nos muestra que Antakya ha sido afectado por varios eventos devastadores a lo largo de su historia y que los intervalos en que estos eventos ocurren son muy largos.

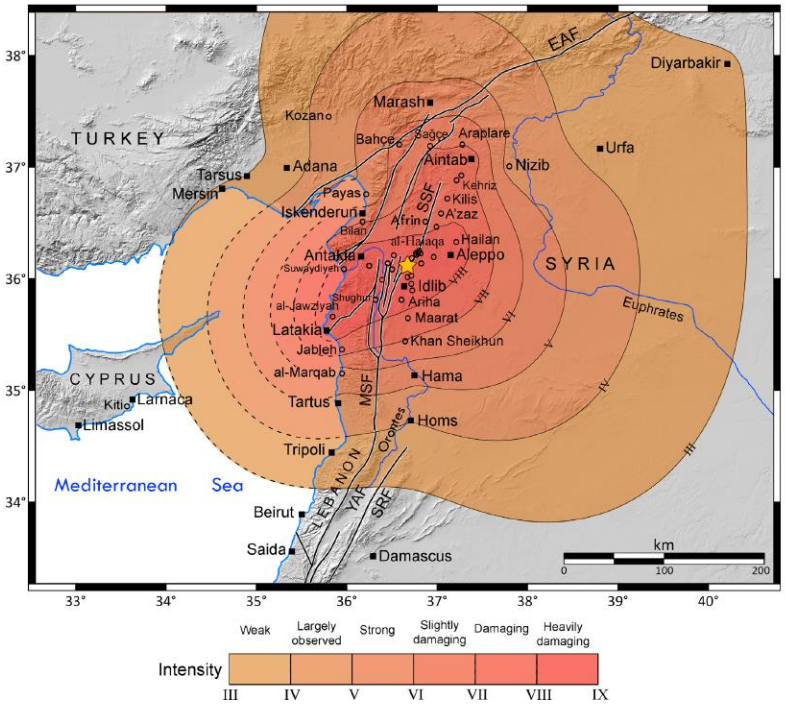


Figura 2.4 Mapa de localización de las ciudades (cuadros negros), pueblos y poblaciones (círculos sin relleno) afectados por el sismo del 13 de agosto de 1822, con identificación de isosistas promediadas y localización del epicentro sobre la falla Saint Simeon, que corre en paralelo a unos 60 km al Este del segmento Amanos de la hebra principal de EAF. *Fuente: Darawcheh et al. (2022).* [*Notas: los números que van de III a VIII son grados de intensidad en la EMS-98, estimadas en ese trabajo; el epicentro del sismo es mostrado con una estrella amarilla; el grupo de círculos que se traslapan al Oeste de Alepo son las villas de Sahle (planicie) al-Halapa. Las abreviaturas de las fallas activas son: EAF; Falla del Este de Anatolia; MSF: Falla Missyaf, SRF: Falla Serghaya; SSF: Falla Saint Simeon; YAF: Falla Yammouneh*]

El primer mapa de peligro sísmico de Turquía llamado “Mapa de regiones sísmicas de Turquía” entró en vigor en 1966. El 18 de marzo de 2018, el Departamento de Dirección de Terremotos de AFAD publicó una actualización que entró en vigor el primero de enero de 2019; participaron cinco universidades y dos instituciones de estado. Las universidades participantes fueron: la Universidad

Técnica de Oriente Medio (ADTU) de Ankara, la Universidad de Bósforo de Estambul, la Universidad Mediterránea de Antalya, la Universidad Cukurova de Adana y la Universidad de Sakarya. En cuanto a las instituciones de estado participantes se encuentra la Dirección General de Investigación y Exploración Geológica (MTA) y la Agencia de Gestión de Desastres y Emergencias (AFAD), esta última perteneciente a la presidencia de la República. Este nuevo mapa fue preparado con mayor detalle tomando en cuenta los parámetros sísmicos más recientes, catálogos sísmicos y métodos matemáticos de nueva generación. A diferencia de la versión anterior, este mapa muestra los valores de aceleración pico en lugar de las zonas sísmicas y remplaza el concepto de "zona sísmica" (Kiliç, 2022).

Posteriormente, en la Figura 2.5, aparecen las aceleraciones pico (PGA), en porcentaje de g (aceleración de la gravedad), esperadas con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, equivalentes a un periodo de recurrencia de 475 años. En rojo intenso se indican valores de alrededor de entre 0.5 y 0.6 g; estos valores consideran los niveles de aceleración en roca, por lo que hace falta considerar los efectos de amplificación local. Cabe hacer notar que, una de las franjas de color rojo intenso se encuentra a lo largo de la EAFZ, incluyendo la zona donde Gulerce *et al.* (2017) realizaron su estudio.

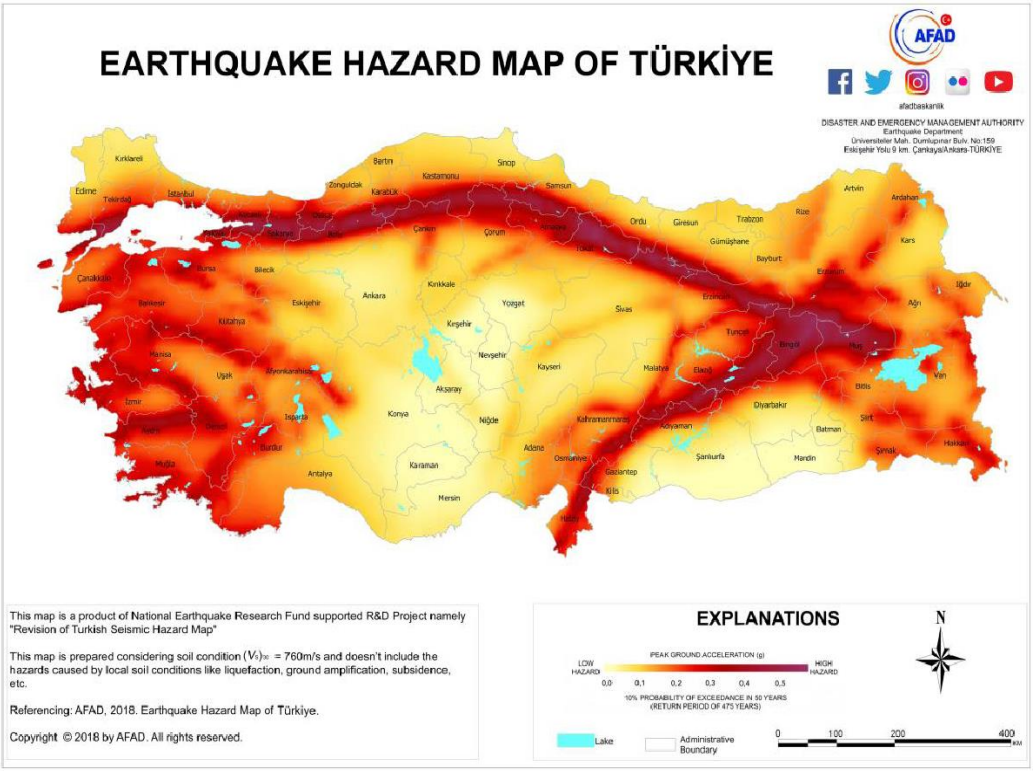


Figura 2.5 Distribución de aceleraciones pico (PGA), en porcentaje de g (aceleración de la gravedad), esperadas con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, equivalentes a un periodo de recurrencia de 475 años, donde en rojo intenso se indican valores entre 0.5 y 0.6 g. *Fuente: Kiliç (2022).*

2.4. Sismos del 6 de febrero de 2023

Como se mencionó anteriormente, tanto el sismo de Mw 7.7 ocurrido a las 4:17 h, como el sismo Mw 7.6 ocurrido a las 13:24 h rompieron la falla Este de Anatolia (EAFZ). El primero, se originó cerca de Pazarcik, sobre la hebra principal, y se propagó hacia el sur a través del segmento de falla de Amanos y hacia el este a través del sistema Pazarcik-Erkenek. El segundo, se inició cerca de la ciudad de Elbistan, sobre la hebra Norte, a la mitad del segmento CFS extendiéndose hacia ambos lados, por ese mismo segmento hacia el oeste y hacia el este abarcando el segmento SFS. Las profundidades hipocentrales fueron de 8.6 y 7 km, respectivamente. Fueron fallas superficiales, donde se han documentado varios lugares en los que la falla afloró o generó efectos que se manifestaron en la superficie como los mostrados en las figs 2.6 a 2.9.

Figura 2.6 Desvío de un camino que cruza la falla (izquierda), y deformación de una vía de ferrocarril que cruza la falla (derecha). *Fuente: StEER: 2023 Mw 7.8 Kahramanmaras, Türkiye Earthquake Sequence Preliminary Virtual Reconnaissance Report (PVRR)" (2023)*

Figura 2.7 Fotos del desplazamiento horizontal de 2.4 m en un camino rural cerca de Pazarcik (izquierda), y el desplazamiento horizontal de 6.7 m de una cerca a lo largo del segmento de falla Surugu-Cardak (derecha). *Fuente: Economic Research Center, Middle East Technical University (2023).*

Figura 2.8 Observación de la ruptura superficial de 3.6 m de desplazamiento lateral sobre la carretera Gaziantep-Kahramanmaras. *Fuente: Economic Research Center, Middle East Technical University (2023); mapa: Emre et al. (2013).*

Figura 2.9 Desplazamiento horizontal, superficie de ruptura, grietas y daños en las vías de ferrocarril y caminos, así como el daño en una torre eléctrica, cercana a la superficie de ruptura, en Kahramanmaras. *Fuente: Economic Research Center, Middle East Technical University (2023); mapa: Emre et al. (2013).*

La propagación de la falla generó efectos de directividad. Directividad, se refiere a la energía que se enfoca a lo largo de la falla en dirección de la propagación, lo cual resulta en pulsos cortos de gran amplitud. Si bien estos pulsos son más notorios en los registros de velocidad y aceleración, este enfoque de energía puede notarse especialmente en la zona de Hatay, donde se concentran grandes aceleraciones PGA, según se puede observar en la Figura 2.10. En esta figura se muestra la distribución de PGA debidas al sismo de Pasarcik-Kahramanmaras (el primer evento). En el caso del sismo de Elbistan-Kahramanmaras (el segundo evento) las mayores aceleraciones PGA se concentran en el extremo poniente de la falla, alrededor de la ciudad de Goksun, como puede observarse en la Figura 2.11. Sin embargo, estas aceleraciones máximas observadas en el segundo evento son un poco menos de la mitad de las aceleraciones máximas observadas en el primero.

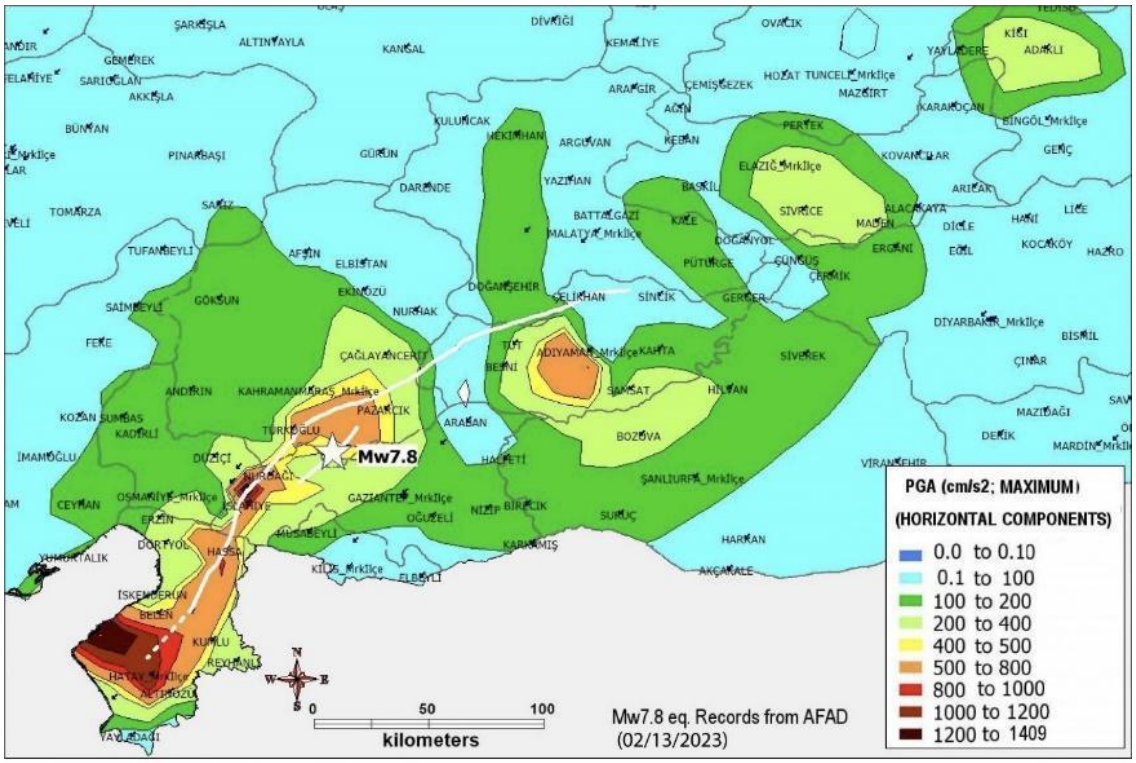


Figura 2.10 Mapa de contorno de PGA (unidades en cm/s^2; valores máximos de las componentes Norte-Sur y Este-Oeste) asociados con el sismo de magnitud 7.7. *Fuente: Erdik et al. (2023).*

Estos mapas han podido ser elaborados con detalle gracias a la densa distribución de estaciones que, llama la atención, especialmente está distribuida sobre la hebra de falla principal hacia el Sur. Un acercamiento de la distribución de las estaciones alrededor de la falla se puede ver en el mapa de la Figura 2.12. Gracias a esa distribución se pudo dar seguimiento a los niveles de aceleración registrados durante el evento principal de manera puntual a lo largo del recorrido que se realizó durante la visita. Especialmente se visitaron cuatro estaciones de esta red que presentaron características especiales.

Estas estaciones están marcadas con rectángulos azules en el mapa de la misma Figura 2.12. Una de ellas (estación 3129) es donde se presentó la aceleración máxima registrada de 1,367 gal (1 gal= 1 cm/s^2). Otra de ellas (estación 3138), donde la mayor aceleración se presentó en la componente vertical, registrando 1,068 gal. La estación 2708 registró la máxima aceleración de 1,089 gal en la componente EO. La última de las estaciones que se visitaron fue la 2712 que registró una aceleración máxima de 603 gal, también en la componente EO.

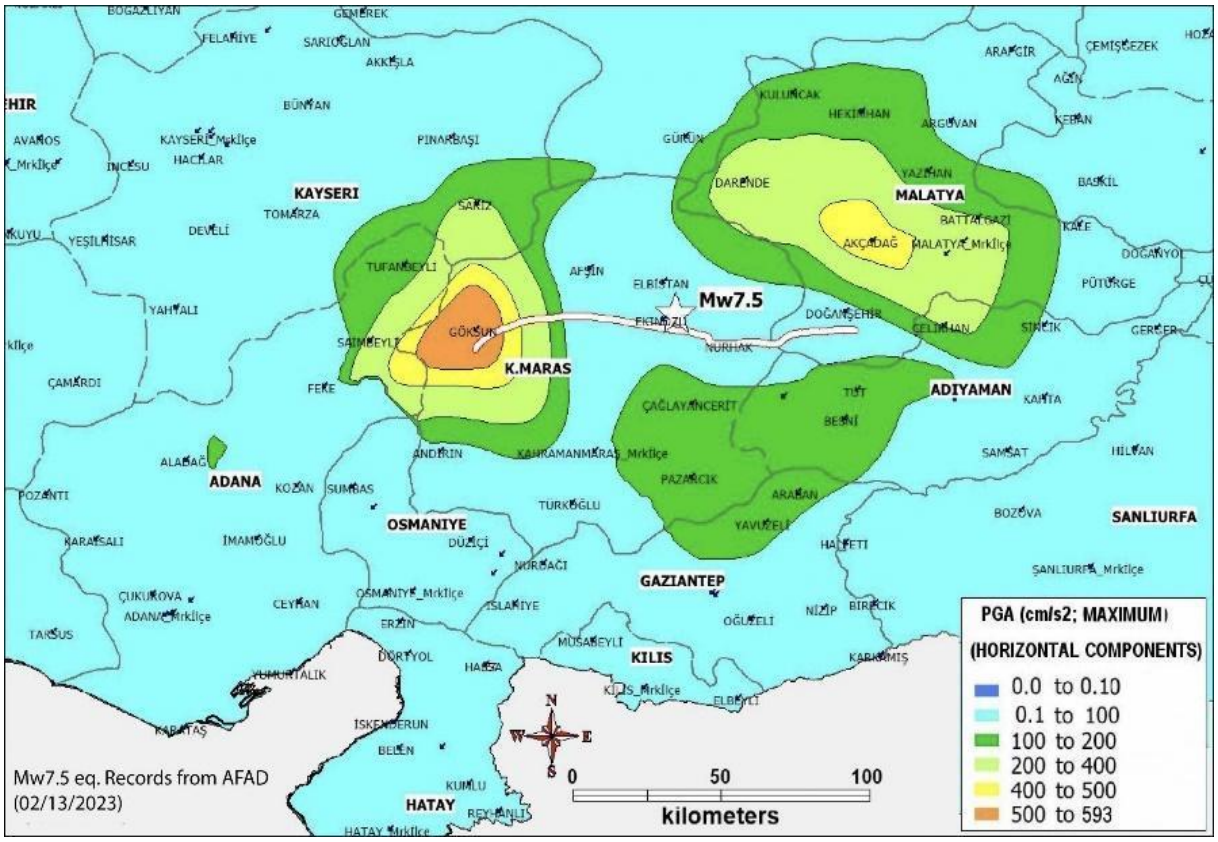


Figura 2.11 Mapa de contorno de PGA (unidades en cm/s^2; valores máximos de las componentes Norte-Sur y Este-Oeste) asociados con el sismo de magnitud 7.6. *Fuente: Erdik et al. (2023).*

La ubicación y aceleraciones registradas en estas estaciones durante el evento Pasarcik-Kahramanmaras aparecen en la Tabla 2.1. La información de todas las estaciones ubicadas en una distancia de 100 km alrededor de la ruptura para los dos eventos (Pasarcik-Kahramanmaras y Elbistan-Kahramanmaras) aparecen en el Anexo 2, mostrado al final del presente escrito. En total, 6 estaciones registraron aceleraciones mayores que 1,000 gal durante el sismo de Pasarcik-Kahramanmaras, pero ninguna registró más de 1,000 gal durante el sismo de Elbistan-Kahramanmaras.

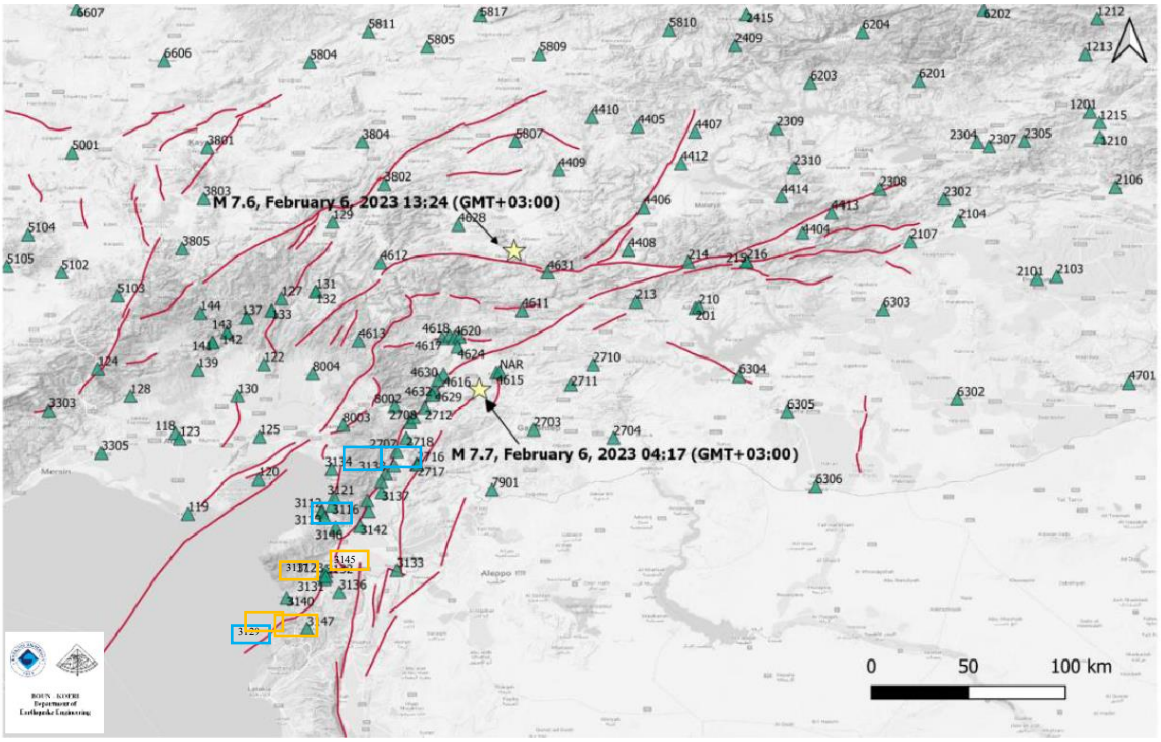


Figura 2.12 Acercamiento de la distribución de estaciones acelerográficas de la red TNSMN operada por AFAD en triángulos verdes, donde junto a cada triángulo aparece el número de estación. En estrellas amarillas se indican los epicentros de los dos eventos sísmicos y en líneas rojas aparecen las trazas de las fallas compiladas desde los mapas de fallas activas de Turquía; la posición de las estaciones 3145, 3123, 3132 y 3117 aparecen resaltadas con recuadros anaranjados. *Fuente: General Directorate of Mineral Research and Exploration (2023).*

Tabla 2.1 Información sobre los movimientos fuertes del terreno registrados durante el sismo de Pazarcik para las cuatro estaciones visitadas.

Estación	Ciudad	Distrito	Lat.	Long.	Rrup (km)	V_{S30}	PGA (cm/s^2)		
							E-O	N-S	U-D (Vertical)
2708	Gaziantep	İslahiye	37.0993	36.6484	4.00	523	1,089.4	812.7	977.0
2712	Gaziantep	Nurdağı	37.1840	36.7328	1.00	NA	602.7	555.4	343.8
3129	Hatay	Defne	36.1912	36.1343	17.90	447	1,199.8	1,367.7	826.2
3138	Hatay	Hassa	36.8026	36.5112	2.00	618	746.7	889.0	1,068.1

Nota: De izquierda a derecha se reportan, en cada columna, el número de la estación, la ciudad, el Distrito, la latitud y longitud de la estación, la distancia a la ruptura (Rrup), el parámetro V_{S30}, la aceleración pico (PGA) para las componentes E-O, N-S y U-D (vertical). *Fuente: Gülerce et al. (2023).*

En la Figura 2.13 aparecen fotos de las cuatro estaciones visitadas. Durante la visita se pudo observar que ninguna de estas estaciones presentaba problemas de desacoplamiento de la estación con el suelo circundante, lo que indica que las aceleraciones registradas reflejan la aceleración del terreno.

Figura 2.13 Estaciones acelerográficas operadas por AFAD que visitó el grupo del II-UNAM: parte superior izquierda se tiene la estación 2708, en la parte superior centro y derecha la estación 3138, en la parte inferior izquierda y centro la estación 3129, y en la parte inferior derecha la estación 2712. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la Figura 2.14 se muestran algunas vistas en las cercanías de la estación 3129 donde se registró la mayor aceleración (1,367 gal). Como se puede observar en las fotografías y en concordancia con la gran intensidad experimentada, muchos edificios colapsaron y la gran mayoría de los que quedaron en pie tuvieron daños estructurales tan intensos que requirieron ser demolidos

En la Figura 2.15 a) y b) se presenta una estructura fuertemente dañada por el sismo en las cercanías de la estación 2708, y en la Figura 2.15c) se muestra otra estructura que no presentó daños aparentes, al menos por la parte exterior que fue la que pudimos observar; llama la atención que la estructura sin daños estaba a la misma distancia con respecto de la estación 2708, aproximadamente, pero en la dirección opuesta. En la Figura 2.15d) y e) se muestran los registros de aceleraciones respectivos y la comparación de los espectros de respuesta contra el espectro de diseño del reglamento.

Figura 2.14 Fotografías de edificios colapsados y fuertemente dañados observados en las cercanías de la estación 3129 (en Hatay) donde se registró la mayor aceleración (1,367 gal). *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Así como en la estación 2708, hubo estaciones en que los espectros de respuesta superaron los espectros de diseño del reglamento vigente como lo muestran Erdik *et al.* (2023). En la Figura 2.16 se retoma la comparación que hacen Erdik *et al.* (2023) de los espectros de respuesta con los del reglamento TBDY (2018) de cuatro estaciones. Corresponde a las estaciones 3145, 3123, 3132 y 3117. Estas estaciones aparecen resaltadas con recuadros anaranjados en el mapa de la Figura 2.12. En esta comparación se puede observar cómo, de manera especial, los espectros de diseño fueron excedidos en una banda que va de los 0.5 a los 1.1 s de periodo, que corresponde con la gran mayoría de los edificios en Turquía.

Además de los elementos ya discutidos, en el reporte de METU/EERC (2023) realizan una comparación de las PGA con las relaciones de atenuación comúnmente usadas. En general, las relaciones explican apropiadamente la distribución de las PGA con la distancia a la zona de ruptura (Rrup), salvo algunos puntos que caen por encima de una desviación estándar. Desgraciadamente los mapas de peligro no habían previsto la ocurrencia de sismos de estas magnitudes. Un punto positivo que hay que resaltar, es que Turquía cuenta con un reglamento de construcción de cobertura nacional. Sin embargo, la forma en que consideran los efectos de sitio está basada en el valor V_{S30} que corresponde a un promedio ponderado de la velocidad de propagación de ondas de cortante en los primeros 30 m de profundidad. Este valor resulta insuficiente cuando los valores de $V_S < 720$ m/s se extienden a profundidades mayores de 30 m. Tal es el caso de los sitios en Turquía localizados en las cuencas sedimentarias o en las laderas. De la misma forma es el caso de la Ciudad de México, donde el espesor de sedimentos suaves se extiende hasta algunos cientos de metros de profundidad.

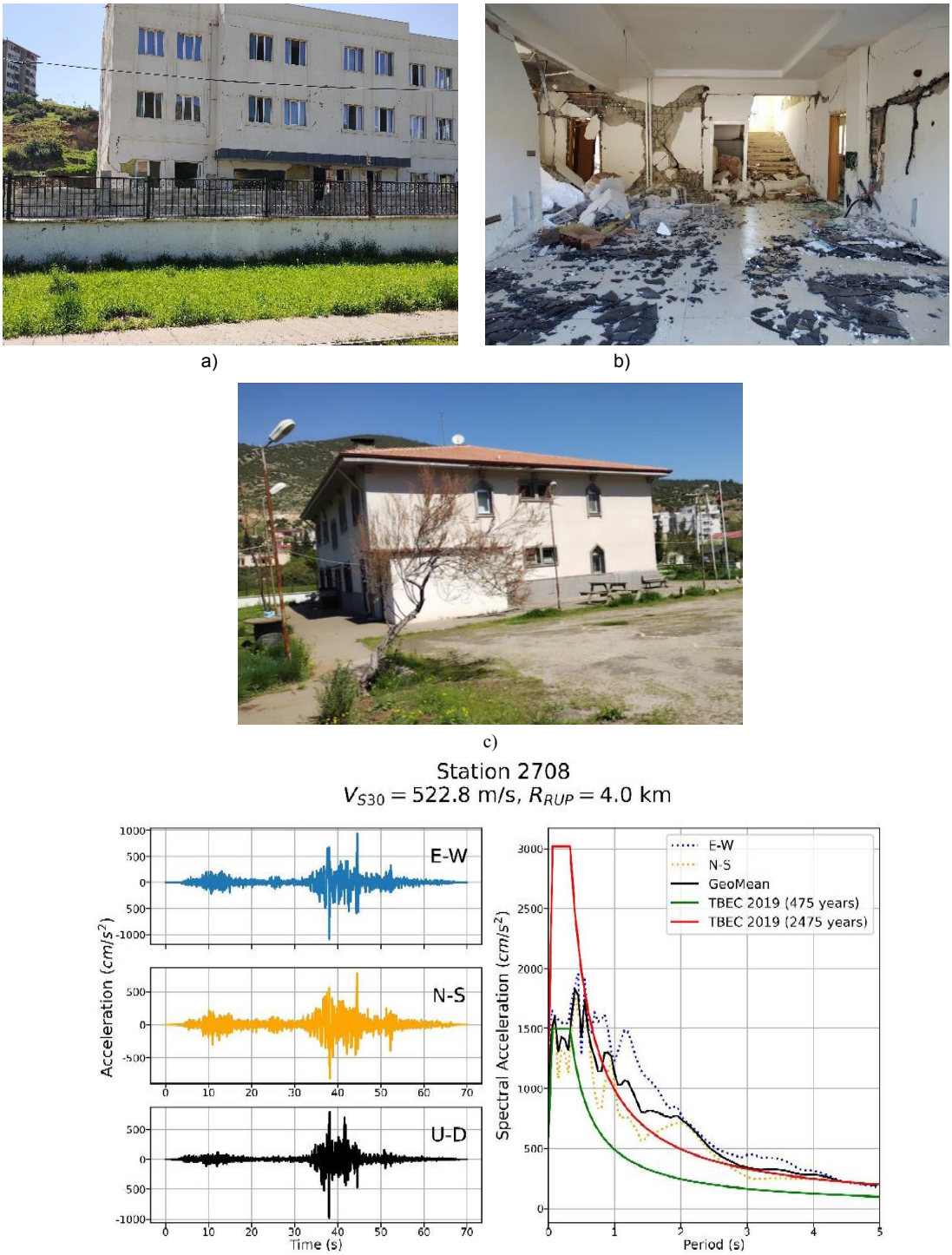


Figura 2.15 Fotografías de los contrastes entre los daños observados en las cercanías de la estación 2708. La estructura con fuertes daños (Figuras 2.15a) y b), y la estructura sin daños aparentes (Figura 2.15c). En la parte inferior izquierda se tienen los acelerogramas (tres componentes) y en la derecha se muestran los espectros de las componentes horizontales de esta estación con el 5% de amortiguamiento del sismo de Pazarcik, junto con el espectro de diseño del reglamento más reciente. *Fuente: a, b y c: Archivo personal de los autores; Turkish Building Earthquake Code (2019); Erdik et al. (2023*).

La distribución de las estaciones y los estudios realizados en la zona muestran que la comunidad involucrada con el estudio de los sismos y sus efectos tenía claro que ocurrirían sismos en esta zona. Lamentablemente este conocimiento no permeó a la práctica de la ingeniería geotécnica, estructural y de construcción en acciones concretas para reducir los efectos de estos eventos sísmicos en cuanto a pérdidas de vidas humanas y pérdidas económicas. Esta es una gran lección que se debe aprender de esta experiencia.

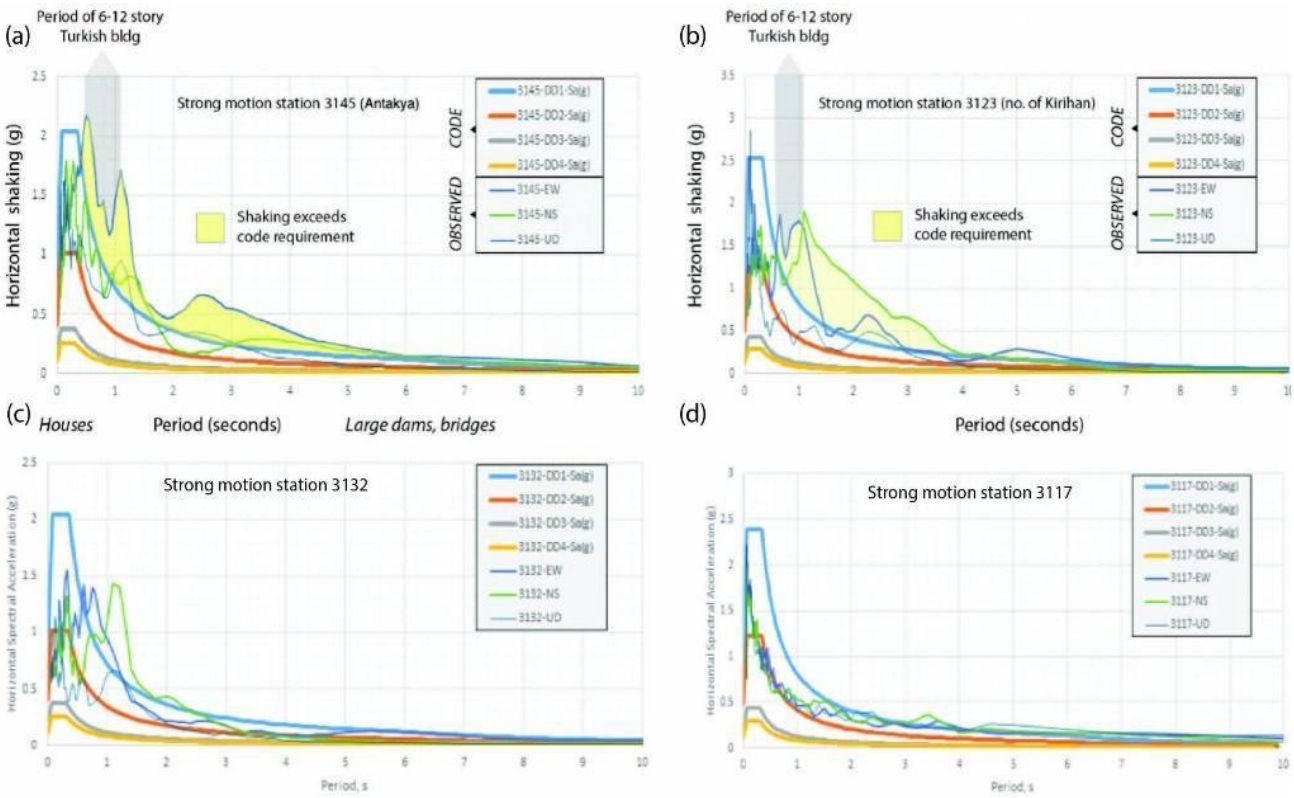


Figura 2.16 Comparación de los espectros de respuesta con el 5% de amortiguamiento viscoso con el espectro basado en el código TBDY (2018) en las estaciones (a) 3145, (b) 3123, (c) 3132 y (d) 3117. *Fuente: Erdik et al. (2023*

2.5. Referencias

Çetin, K. O., Ilgaç, M., Can, G. & Çakır, E. (Eds.). (2023). *Middle East Technical University Preliminary*

Earthquake Engineering Association of Turkey. (s. f.). Recuperado de: *https://www.tdmd.org.tr/*

Darawcheh, R., Abdul-Wahed, M. K. & Hasan, A. (2022). The Great Aleppo Earthquake: New Historical Sources and Strong, Ground Motion Simulation. *Geofísica Internacional, 61*(3), 201-228.

Dilsiz, A., S. Gunay, K. Mosalam, E. Miranda, C. Arteta, H. Sezen, E. Fischer, M. Hakhamaneshi, W. Hassan, B. ALhawamdeh, S. Andrus, J. Archbold, S. Arslanturkoglu, N. BEKTAS, L. Ceferino, J. Cohen, B. Duran, K. Erazo, G. Faraone, T. Feinstein, R. Gautam, A. Gupta, S. Haj Ismail, A. Jana, S. Javadinasab Hormozabad, A. Kasalanati, M. Kenawy, Z. Khalil, I. Liou, M. Marinkovic, A. Martin, Y. Merino-Peña, M. Mivehchi, L. Moya, C. Pájaro Miranda, n. quintero, J. Rivera, X. Romão, M. Lopez Ruiz, S. Sorosh, L. Vargas, P. Velani, H. Wibowo, S. Xu, T. YILMAZ, M. Alam, G. Holtzer, T. Kijewski-Correa, I. Robertson, D. Roueche, A. Safiey (2023). "StEER: 2023 Mw 7.8 Kahramanmaras, Türkiye Earthquake Sequence Preliminary Virtual Reconnaissance Report (PVRR)", in StEER- February 6, 2023, Kahramanmaras, Türkiye, Mw 7.8 Earthquake [Version 2]. DesignSafe-CI. Recuperado de: https://doi.org/10.17603/ds2-7ry2-gv66

Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S., Kürçer, A., Kara, M., Özdemir, E., Yavuzoğlu, A. & Güldoğan, Ç. U. (2020). Paleoseismology of the western Sürgü–Misis fault system: East Anatolian Fault, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews, 2*, 411-437. https://doi.org/10.1007/s42990-020-00041-6

Economic Research Center, Middle East Technical University. (2023). Recuperado de: *https://erc.metu.edu.tr/en/2023wp*

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye diri fay haritası : ölçek 1 : 1.250.000 = active fault map Turkey with an explanatory text 1 : 1.250.000*. General Directorate of Mineral Research and Exploration.

Erdik, M., Alpay, Y., Onur, T., Sesetyan, K. & Birgoren, G. (1999). Assessment of earthquake hazard in Turkey and neighbouring regions. *Ann. Geofisc, 42*, 1125-1138.

Erdik, M., Tümsa, M. B. D., Pınar, A., Altunel, E. & Zülfikar, A. C. (2023). *A preliminary report on the February 6, 2023 Earthquake in Türkiye*. TEMBLOR. http://doi.org/10.32858/temblor.297

General Directorate of Mineral Research and Exploration (2023). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 2013*. Recuperado de: https://bmta.researchcommons.org/journal/vol2013

Gülerce, Z., Askan, A., Kale, Ö., Sandıkkaya, A., Işık, N. S., İlhan, O., Can, G., Ilgaç, M., Ozacar, E. Sopacı, A. A., Çetin, K. Ö., Akbaş, B., Altındal, A., Guryuva, B., Kanun, O., Albayrak, K., Muratoglu, G., Okcu, O. S., Icen, A. & Aydin, M. F. (2023). Preliminary Analysis of Strong Ground Motion Characteristics. [Expanded version of Chapter 3]. *February 6, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcik (Mw=7.7) and Elbistan (Mw=7.5) Earthquakes.* Recuperado de: https://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/CH4_Strong_Ground_Motion_Report_2023-02-20.pdf

Gülerce, Z., Shah, S. T., Menekşe, A., Özacar, A. A., Kaymakci, N. & Çetin, K. O. (2017). Probabilistic Seismic-Hazard Assessment for East Anatolian, Fault Zone Using Planar Fault Source Models. *Bulletin of the Seismological Society of America, 107*(5), 2353-2366. http://dx.doi.org/10.1785/0120170009

Kılıç, N. (2022). Earthquake Hazard Map of TÜRKİYE. *Abstract Book of the Turkish-German Symposium on Seismotectonic Research in the Marmara Region*. Republic of Turquía Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Authority (AFAD) & Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences.

TADAS, Turkish Accelerometric Database and Analysis System. (s. f.). [Distribución de estaciones acelerográficas de la red TNSMN operada por AFAD]. Recuperado de: *https://tadas.afad.gov.tr/map*

Turkish Building Earthquake Code. (2019). Recuperado de: *https://tdg.com.tr/en/info-base/shm-codes-regulations-directives*

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

3. Observaciones y aspectos estructurales de las zonas visitadas

3.1. Introducción

En este capítulo se presentan las principales características de las ciudades y zonas revisadas, tales como su localización, extensión geográfica y poblacional, incluyendo los reportes de, según la base de datos de TADAS: aceleraciones máximas registradas, periodos dominantes del movimiento del suelo, y espectros de respuesta elástica. Se muestran, también, los daños estructurales detectados en cada una de las ciudades visitadas, de acuerdo como se comentó previamente en la Figura 1.3, a saber: Gaziantep, Kahramanmaras, Pazarcik, Gölbasi, Adiyaman, Yesilyurt, Malatya, Kuscumustafa, Antakya, Hassa, castillo Yilankale, Hospital Adana, puerto Iskenderun, mezquita Seyhan, Osmaniye, y Nurdagi. En las fotografías se han incluido leyendas y recuadros para facilitar la observación de los aspectos por analizar.

3.2. Gaziantep

3.2.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

La ciudad de Gaziantep es la capital de la provincia del mismo nombre (ver Figura 3.2.1). De acuerdo con el informe de la OEP (2023), la población total de la provincia era de 2.15 millones de personas. Del total de la población, 1.37 millones se encontraban entre los 15 y 64 años de edad y 0.79 millones entre 0 y 17 años.

Figura 3.2.1 Distribución geográfica de la provincia de Gaziantep. *Fuente: Google Maps (2023a).*

3.2.2. Aceleraciones máximas registradas

En la Figura 3.2.2 se muestra de manera esquemática, la ubicación de la Estación Sismológica que fue localizada cercana a los edificios que se visitaron, y que cuenta con información de importancia; se describe también, la posición de los edificios visitados y que se presentan posteriormente en las Figuras 3.2.6 a 3.2.8, correspondientes a la provincia de Gaziantep. Después, la Tabla 3.2.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA) en la estación 2703, la cual es la más cercana a la zona que se visitó, según el temblor principal del 06 de febrero, 2023.

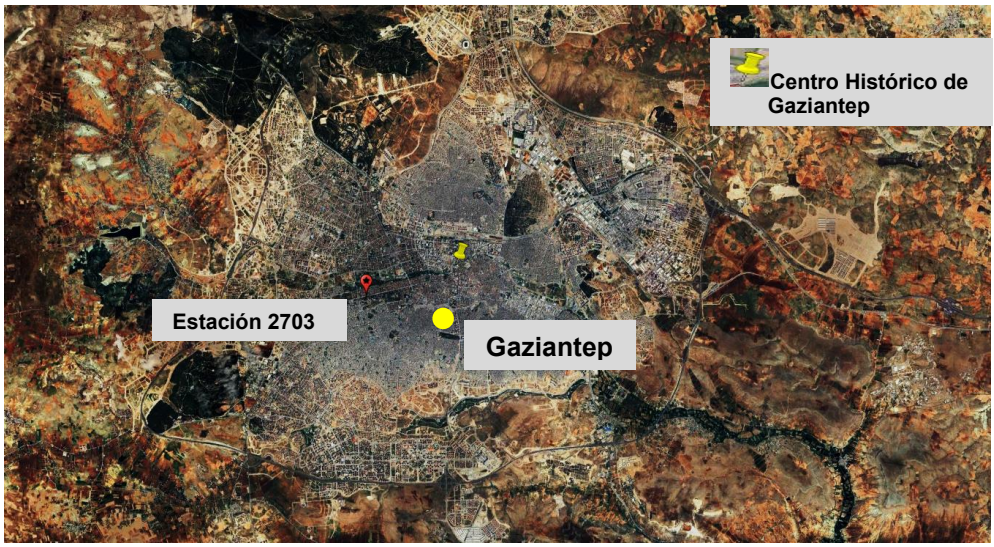


Figura 3.2.2 Posición esquemática de la ubicación de la Estación Sismológica 2703 localizada en Gaziantep, cercana a los edificios visitados en la zona. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023b).*

Como referencia, la Figura 3.2.3 muestra los registros de los acelerogramas obtenidos en la estación de interés, haciendo ver que el temblor tuvo una duración total aproximada de 60 s, con una fase intensa de casi 15 s, con PGA por arriba de 150 cm/s^2.

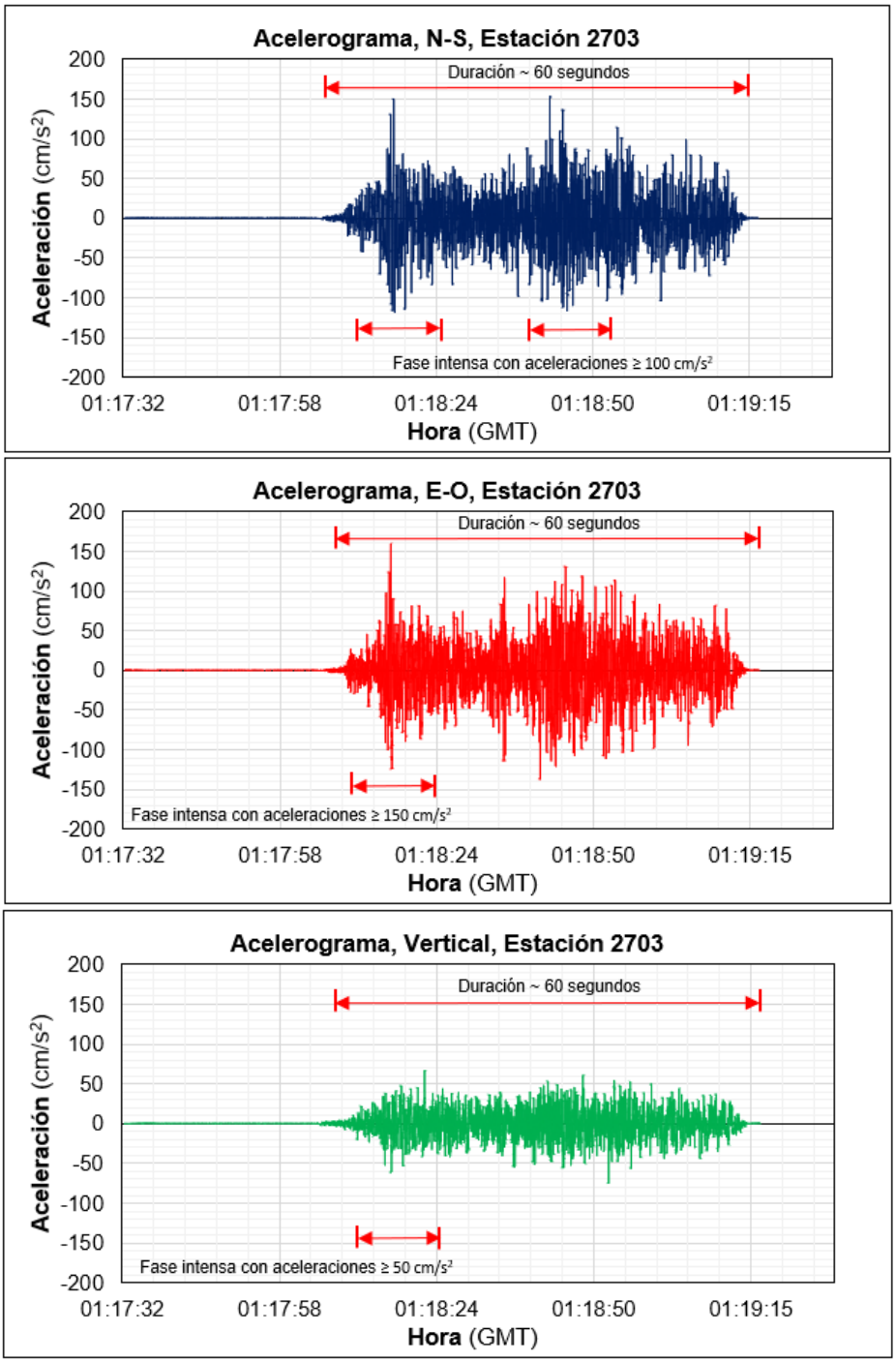


Figura 3.2.3 Registros de aceleraciones de la Estación 2703, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.2.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, donde se indica que en la Estación 2703 se registraron las máximas aceleraciones del suelo en Gaziantep, según el temblor principal del 06-febrero-2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
2703	156.63	165.06	80.10

Nota: El sismo principal ocurrió el 06-febrero-2023, a las 01:17:32 (GMT).
Fuente: TADAS (s. f.).

3.2.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

En la Tabla 3.2.2 se presenta el resultado de la V_{s30}, según la base de datos del TADAS; para esta estación no reportan algún dato relacionado con el periodo dominante del movimiento del suelo (T_s), correspondiente al sitio de la Estación Sismológica 2703, pero, con base en el valor alto (758 m/s) reportado de la velocidad de la onda de cortante V_{s30}, se puede suponer que las condiciones del sitio de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas); lo anterior se pudo corroborar durante los recorridos respectivos.

Tabla 3.2.2 Resultado reportado de la velocidad de onda de cortante hasta 30 m de profundidad, donde se concluye que las condiciones del suelo es tipo duro (equivalente al suelo de la zona de Lomas de la Ciudad de México), según la ubicación de la estación sísmica instalada en la zona de interés*

Estación	Ubicación de Estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
2703	37.058°	37.35°	(-)	758	DURO$^+$ [ZC]

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); (-) Sin información en la base de datos, pero probablemente inferior a 0.5 s; $^+$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017.
Fuente: TADAS (s. f.).

En la Figura 3.2.4 se comparan los espectros (seudo-aceleraciones) de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a la Estación Sismológica 2703, instalada en la provincia de Gaziantep, según la ubicación mostrada en la Figura 3.2.2, indicando los periodos de vibración asociados a los valores máximos de las aceleraciones espectrales, para fines ilustrativos; nótese que los picos máximos corresponden a periodos de vibración del orden de 0.25 s, congruente con un suelo tipo duro, como se mencionó previamente, según el valor alto reportado de V_{s30}. La Tabla 3.2.3 tiene un resumen de las máximas seudo-aceleraciones espectrales registradas en cada dirección; como referencia, esta estación está ubicada casi al centro de la misma Provincia de Gaziantep, muy cercana al centro histórico.

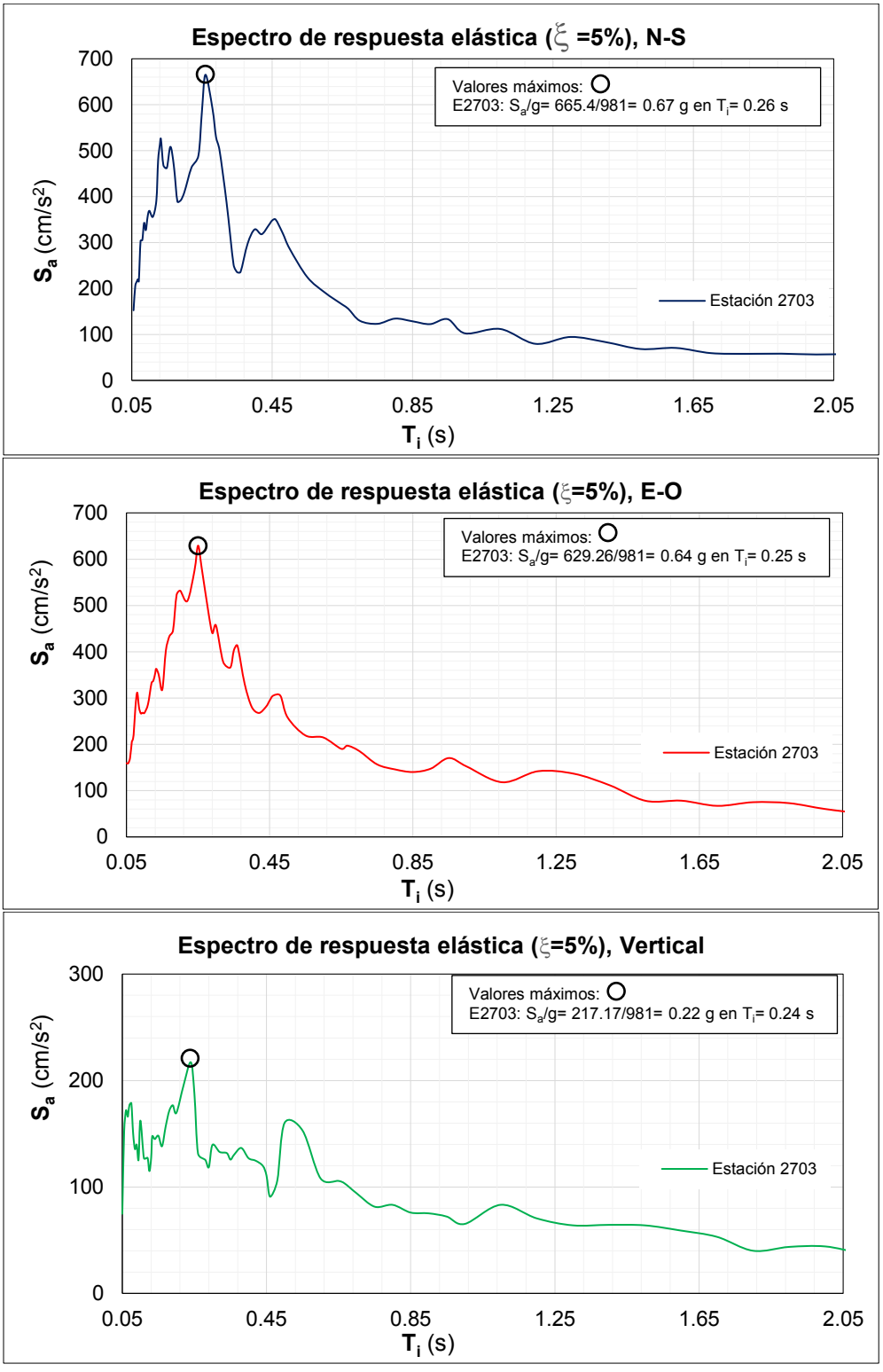


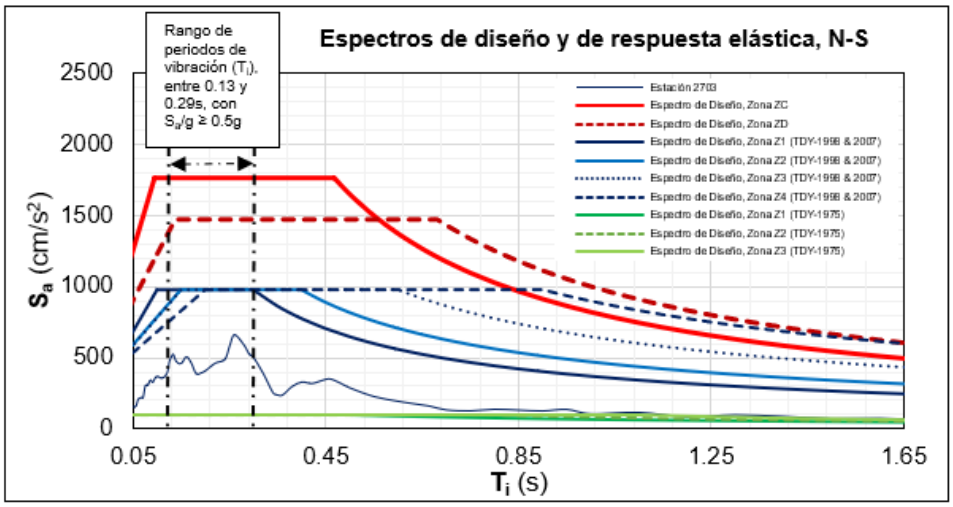
Figura 3.2.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para la Estación Sismológica 2703, Provincia de Gaziantep. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.2.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a la Estación Sismológica 2703, instalada en la provincia de Gaziantep, según se muestra en la Figura 3.2.2

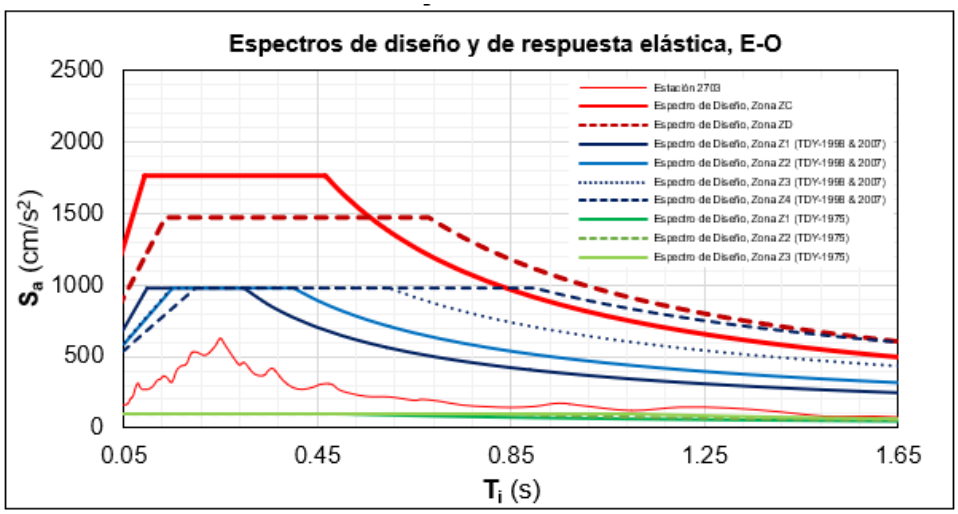
Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
2703	0.67	0.64	0.22

Posteriormente, como referencia, en la Figura 3.2.5 se presenta la comparación de los espectros de seudo-aceleraciones de respuesta elástica (ξ= 5%), correspondientes a la Estación Sismológica 2703 (componentes horizontales) con mayores niveles de excitación, a raíz de los efectos del sismo del 6 de febrero, 2023, contra los espectros elásticos de diseño para diferentes zonas sísmicas que contemplan los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, de acuerdo con las zonas de interés de la Provincia de Gaziantep. Las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés quedan bastante por arriba de los niveles de diseño de la versión TDY 1975, considerando que este Reglamento rigió en la mayoría de los edificios con daños importantes.

Esto es, suponiendo que los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango entre 0.1 s y 1 s, es probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona de la Provincia de Gaziantep, estuvieron expuestas a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 150 cm/s^2 (ver componente E-O, Estación 2703), seguramente superiores a los valores del diseño original; lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante el recorrido realizado al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.2.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica, según los registros de la Estación Sismológica 2703 ubicada muy cercana al centro histórico de la Provincia de Gaziantep, según el sismo del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.2.4. Daños estructurales

3.2.4.1. Centro histórico

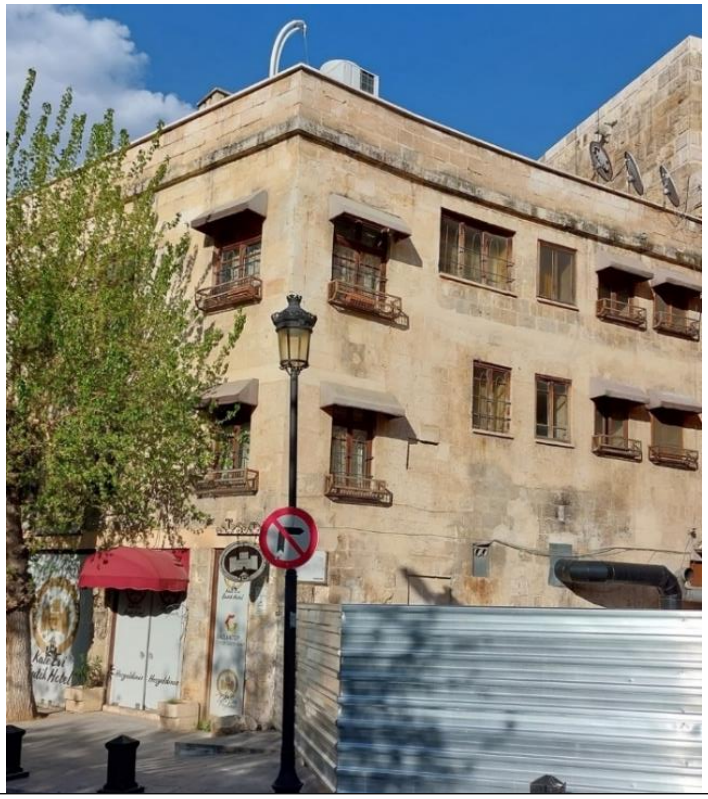
Durante el recorrido, no se observaron daños en edificios, ni en la infraestructura de la ciudad (ver Figura 3.2.6).

Edificios comerciales en el centro histórico, sin daños

a)

Edificio de mampostería simple en el centro histórico, sin daño desde el exterior

b)



Otra vista de un edificio de mampostería simple en el centro histórico, sin daño desde el exterior

c)

Figura 3.2.6 Daños nulos en Gaziantep. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.2.4.2. Castillo de Gaziantep

El castillo de Gaziantep fue construido hace casi 2,000 años durante los siglos segundo y tercero. Inicialmente sirvió como una torre de vigilancia romana. Luego bajo Justiniano I, quien reinó como emperador bizantino de 527 a 565 D.C., expandió el castillo a su forma actual. Se encuentra ubicado en lo alto de una colina de Gaziantep. El castillo tiene una planta circular, con una circunferencia de 1,200 m. Las murallas son de piedra y el castillo cuenta con 12 torres.

Este edificio presentó el colapso parcial de algunos muros perimetrales que se encontraban entre las torres. Probablemente el daño fue causado por un comportamiento fuera del plano ocasionado por la gran longitud y altura de los muros, así como la falta de contrafuertes a lo largo de los muros que ayudaran a reducir las deformaciones laterales. El modo de falla se asemeja a un triángulo invertido. Algunas torres presentaron agrietamientos diagonales que provocaron su colapso parcial. No se tuvo acceso al interior del edificio. En la Figura 3.2.7a) a f) se describen los daños principales observados.

a)

b)

Daños en torres y muros, por falla fuera del plano o disgregación de la mampostería.

c)

d)

e) f)

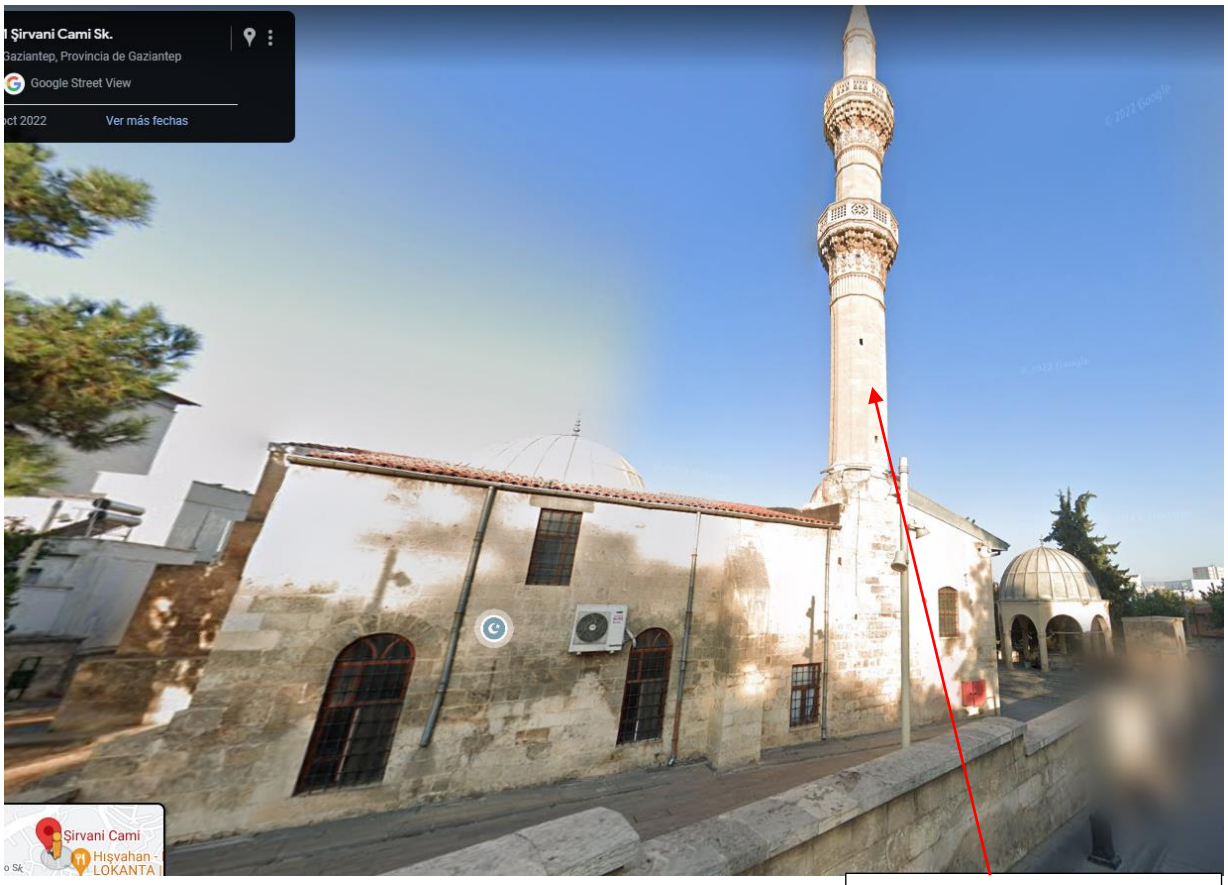
Figuras 3.2.7 Daños en el Castillo de Gaziantep, mostrando la falla fuera del plano en muros y el agrietamiento de torres. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.2.4.3. Mezquita Şirvani

Este edificio es obra de Şirvani Mehmet Effendi, en el año 677 D.C. No se tuvo acceso al edificio, pero desde el exterior se apreciaba el colapso parcial de uno de sus muros longitudinales, que después de revisar fotografías del inmueble previas al sismo, se encontró que el daño observado fue debido al colapso del minarete de la mezquita.

La Figura 3.2.8a) y b) muestra el antes y después de los sismos de febrero de 2023. Este minarete estaba construido con pequeños bloques labrados de piedra aglutinados con algún tipo de mortero. Estas estructuras destacan por ser esbeltas y por carecer en muchos casos de acero de refuerzo suficiente.

ANTES



a)

DESPUÉS

Figuras 3.2.8 Daños en la mezquita Şirvani a raíz de los sismos de febrero de 2023: a) Vistas del antes (Google Maps); b) después del colapso del minarete. *Fuente: a) Google Maps (2023c); b) Archivo personal de los autores.*

3.3. Kahramanmaras

3.3.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

La provincia de Kahramanmaras situada en la región central del Sur de Turquía con extensión territorial de 3,017 km^2, es considerada como una de las ciudades más grandes de la región de Anatolia Suroriental (ver Figura 3.3.1), tomando en cuenta que la población estimada para el año de 2021 fue de 1´171,298 habitantes.

Figura 3.3.1 Distribución geográfica de la provincia de Kahramanmaras. *Fuente: Google Maps (2023d).*

3.3.2. Aceleraciones máximas registradas

La Figura 3.3.2 describe esquemáticamente la ubicación de las estaciones sismológicas, así como la posición de los edificios visitados, correspondientes a la provincia de Kahramanmaras.

Posteriormente, la Tabla 3.3.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA), donde se indica que en la estación 4621 se registraron las máximas aceleraciones del suelo, según el temblor principal del 06 de febrero, 2023.

Como referencia, en la Figura 3.3.3 se muestran los acelerogramas obtenidos en la misma estación 4621, haciendo ver que el temblor tuvo una duración total aproximada de 70 segundos, con una fase intensa de casi 15 segundos con PGA por arriba de 200 cm/s^2; solamente se presentan los registros de la estación 4621, donde se muestran las aceleraciones máximas del suelo del total de las estaciones localizadas en la provincia de Kahranmanmaras.

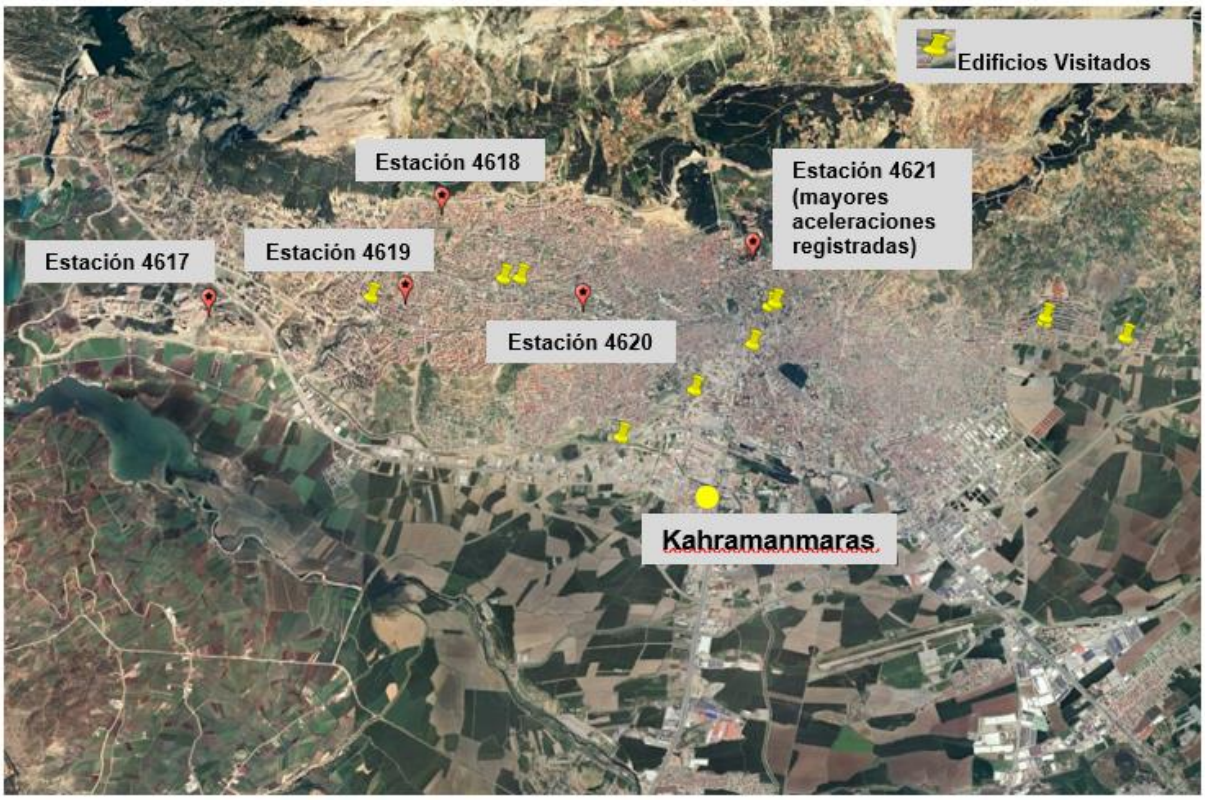


Figura 3.3.2 Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas localizadas en Kahramanmaras y de los edificios visitados en la zona. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023e).*

Tabla 3.3.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, donde se indica que en la estación 4621 se registraron las máximas aceleraciones del suelo, según el sismo principal del 06 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
4617	145.3	115.2	110.6
4618	125.7	159.4	134.4
4619	302.0	194.7	175.5
4620	300.4	320.9	185.3
4621	363.8	295.6	253.9

Nota: El sismo principal ocurrió el 06 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT)
Fuente: TADAS (s. f.).

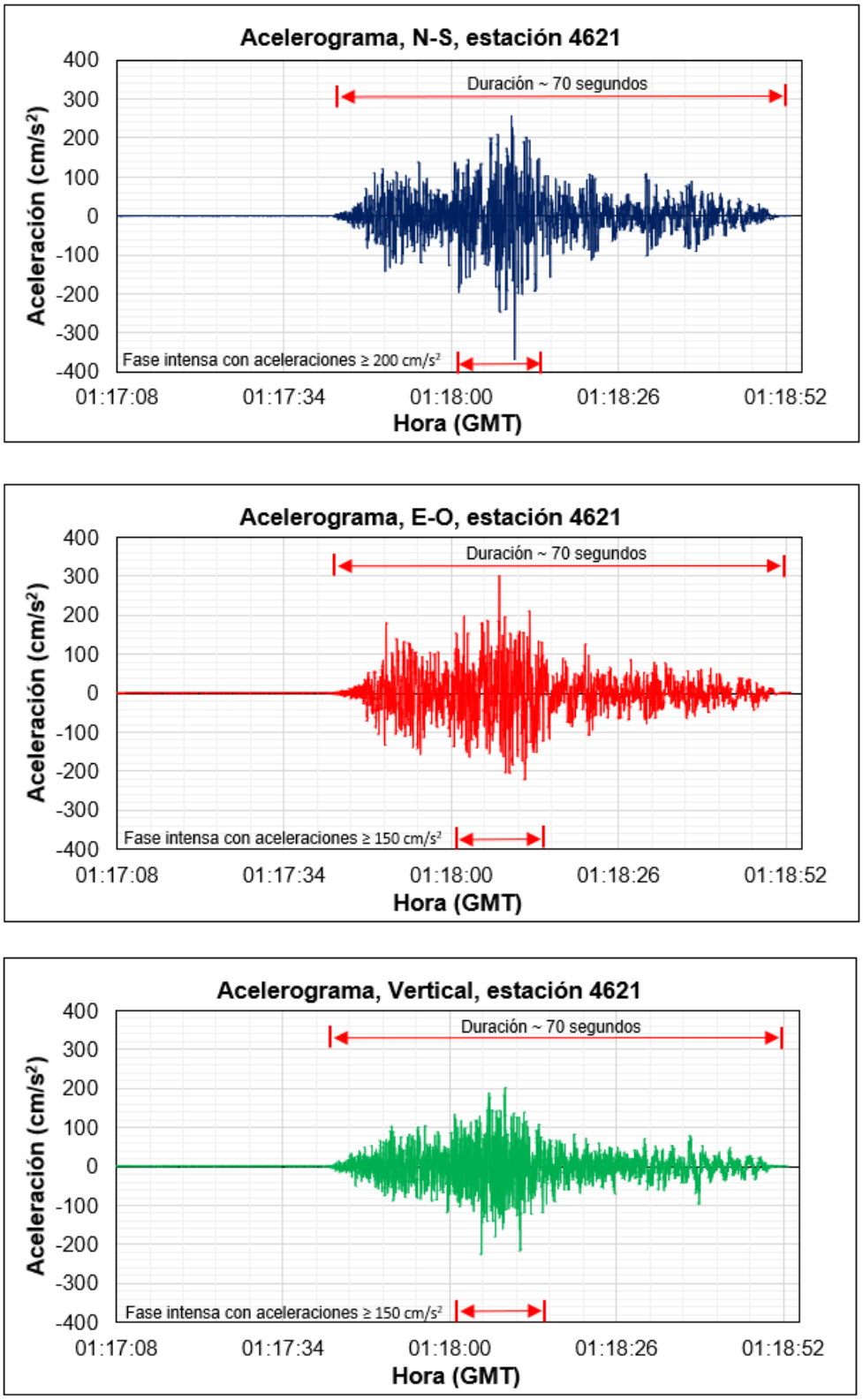


Figura 3.3.3 Registros de aceleraciones de la estación 4621, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.3.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

En la Tabla 3.3.2 se presentan los resultados de los periodos dominantes del movimiento del suelo (T_s), correspondientes al sitio de las estaciones acelerográficas 4617 a 4621, donde, con base en estos datos y los valores reportados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30} (m/s), se concluye que las condiciones de los sitios de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas de la Ciudad de México); lo anterior se pudo corroborar durante nuestros recorridos respectivos.

Tabla 3.3.2 Periodos dominantes del movimiento del suelo, donde se concluye que las condiciones del suelo es tipo duro (Lomas de la Ciudad de México), según la ubicación de las estaciones sísmicas instaladas en zonas de interés*

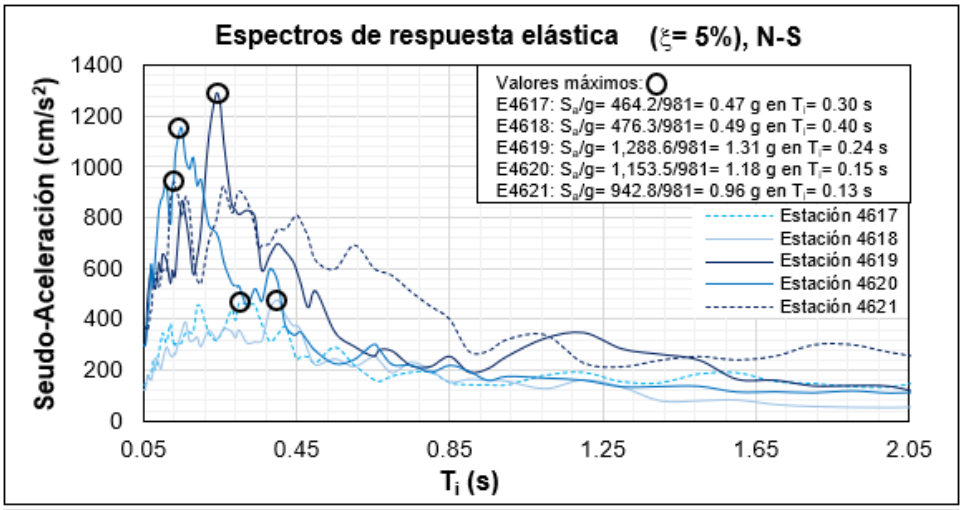
Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
4617	37.585510°	36.830300°	0.20	574	DURO$^+$ [ZC]
4618	37.600110°	36.872310°	0.32	715	
4619	37.587020°	36.866160°	0.22	545	
4620	37.585680°	36.898450°	0.21	484	
4621	37.593470°	36.929090°	0.10-0.50	714	

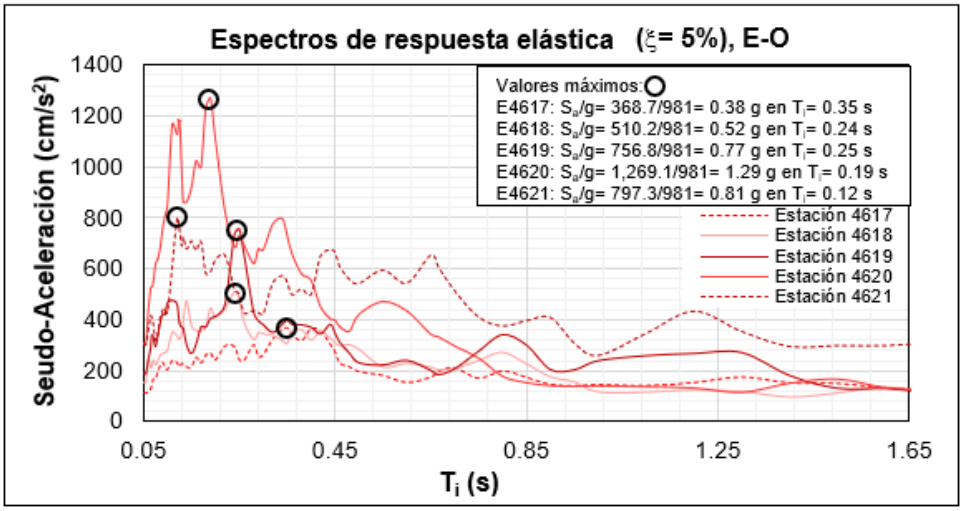
Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^+$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017. *Fuente: TADAS (s. f.)*.

En la Figura 3.3.4 se comparan los espectros de seudo-aceleraciones espectrales de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones acelerográficas 4617 a 4621, respectivamente, instaladas en la provincia de Kahramanmaras, según su ubicación de la Figura 3.3.2; en estas figuras (tres componentes) se tabulan los periodos de vibración asociados a los valores máximos de las aceleraciones espectrales, para fines ilustrativos. La Tabla 3.3.3 incluye un resumen de las máximas seudo-aceleraciones espectrales, haciendo ver que en los sitios de las estaciones 4619 y 4620 se presentan los resultados más críticos; como referencia, estas estaciones están ubicadas casi al centro de la misma Provincia de Kahramanmaras, para fines prácticos.

Posteriormente, en la Figura 3.3.5 se presenta la comparación de los espectros de seudo-aceleraciones de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las dos estaciones sismológicas 4619 y 4620 (componentes horizontales) con mayores niveles de excitación, a raíz de los efectos del sismo principal del 6 de febrero de 2023, contra los espectros elásticos de diseño para diferentes zonas sísmicas que contemplan los Reglamentos TDY: 1975, 1998, 2007 y 2018, de acuerdo con las zonas de interés de la Provincia de Kahramanmaras. Las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés quedan bastante por arriba de los niveles de diseño de la versión TDY 1975, considerando que este Reglamento rigió en la mayoría de los edificios con daños importantes. Esto es, suponiendo que las propiedades dinámicas de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango entre 0.1 s y 1 s, es probable que la mayoría de este tipo de

estructuras, localizadas en la zona de la Provincia de Kahramanmaras, estuvieron expuestas a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 500 cm/s^2 (ver componente N-S, estaciones 4619 y 4620), seguramente superiores a los valores del diseño original; lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante nuestro recorrido al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.





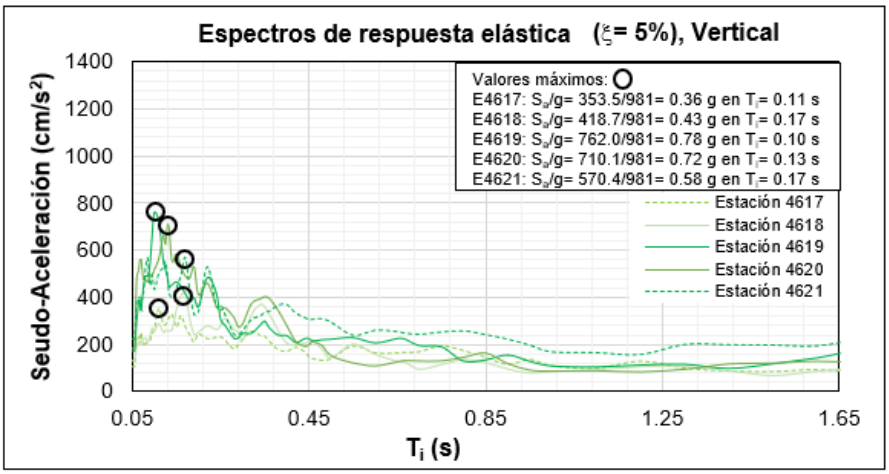
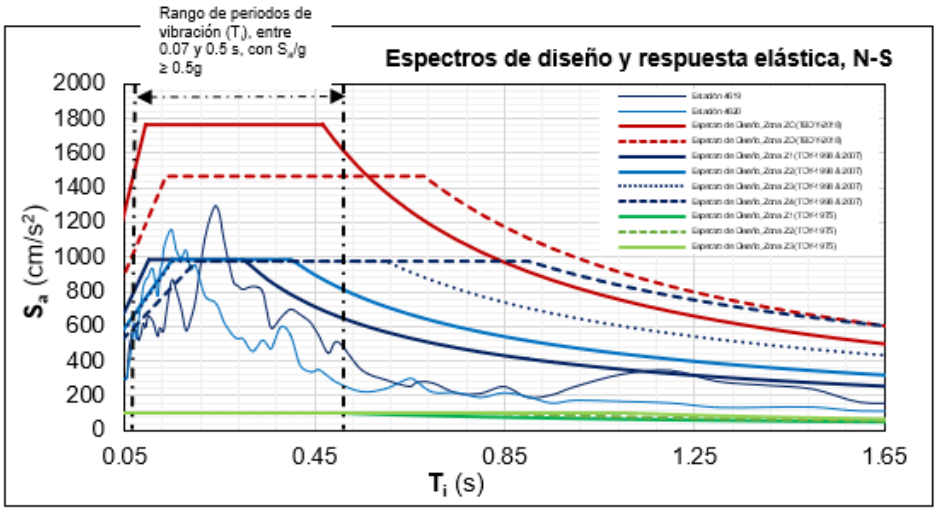


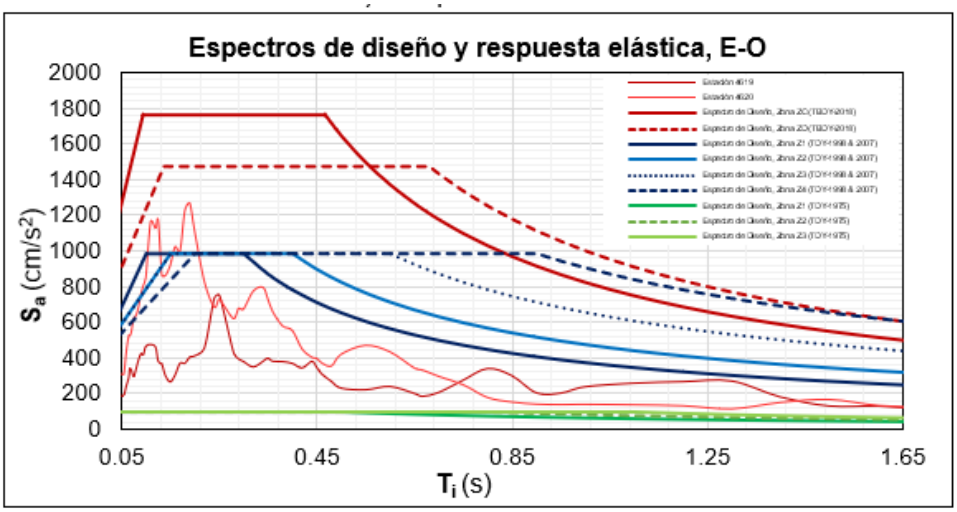
Figura 3.3.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para las estaciones sismológicas 4617 a 4621, Provincia de Kahramanmaras. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.3.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sismológicas 4617 a 4621, instaladas en la provincia de Kahramanmaras, según se muestra en la Figura 3.3.2

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
4617	0.47	0.38	0.36
4618	0.49	0.52	0.43
4619	1.31	0.77	0.78
4620	1.18	1.29	0.72
4621	0.96	0.81	0.58



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.3.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998, 2007 y 2018, contra los espectros de respuesta elástica para las estaciones sismológicas 4619 y 4620 con mayor excitación dentro de la zona de la Provincia de Kahramanmaras, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.3.4. Daños estructurales

3.3.4.1. Edificio nuevo

En la Figura 3.3.6 se muestran fotografías del daño en un edificio nuevo, con estructuración principal a base de marcos de concreto reforzado (altos y esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), muros interiores y exteriores de mampostería sin reforzamiento, y muros de concreto reforzado en los cubos de escaleras y elevadores ubicado en la ciudad de Kahramanmaras.

Nótese la aparente excesiva flexibilidad lateral con agrietamiento diagonal en muros de los entrepisos inferiores (cubos de elevadores y escaleras) de mampostería sin reforzar (interiores y exteriores) y concreto reforzado; sin holguras con construcciones colindantes; mal diseño del refuerzo transversal (escasez de estribos o grapas interiores) en los extremos de columnas de planta baja, entre otros defectos. Se observa que las barras longitudinales y los estribos son corrugados, como lo exigen los reglamentos más recientes en Turquía.

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

c)

Extremo inferior de columna de esquina, entrepiso PB-N1, con problemas de diseño por mal confinamiento por falta de estribos interiores.

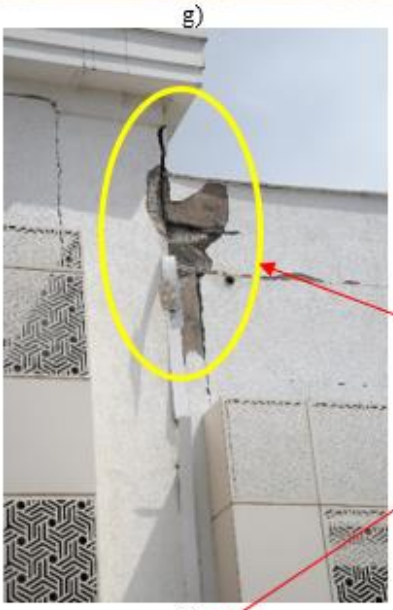
d)

Detalles del daño y armado observados en el extremo inferior de columna de esquina, entrepiso PB-N1, con pandeo del acero longitudinal, sin suficiente refuerzo transversal (falta de estribos interiores).

e)

f)

g)



h)

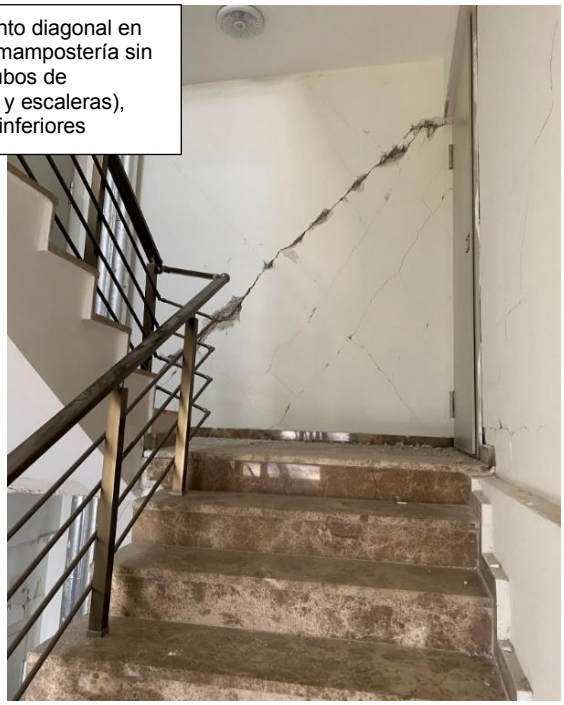
Daños observados por falta de holguras adecuadas en construcciones colindantes

i)

Agrietamiento diagonal en muros de mampostería sin reforzar (cubos de elevadores y escaleras), entrepisos inferiores

j)

k)



l)

Figura 3.3.6 Varias vistas de un edificio nuevo de 14 niveles. *Fuente: a): Google Maps (2023f); b) – l): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.2. Varios edificios con daños importantes y colapsos

En la Figura 3.3.7 se muestran fotografías de edificios con falla parcial o total.

ANTES

a)

b)

DESPUÉS

c)

d)

e)

f)

g) h)

Figura 3.3.7 Varias vistas del antes y después de edificios totalmente fallados y demolidos, con estructuración principal a base de marcos de concreto reforzado (altos y esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), ubicados en la zona de Kahramanmaras [Notas: aparente excesiva flexibilidad lateral; sin holguras adecuadas; diseño y detallado inadecuados del refuerzo transversal en las columnas de planta baja, en especial en sus extremos]. *Fuente: a) y b): Google Maps (2023g); c) – h): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.3. Edificio con daños estructurales importantes por impacto de construcción colindante (colapsada)

En la Figura 3.3.8 se muestran fotografías de edificios dañados debido al impacto de una estructura vecina.

ANTES

a) b)

DESPUÉS

Daños principales originados por impacto del edificio colindante (lado derecho), colapsado por efectos del sismo.
Edificio demolido.

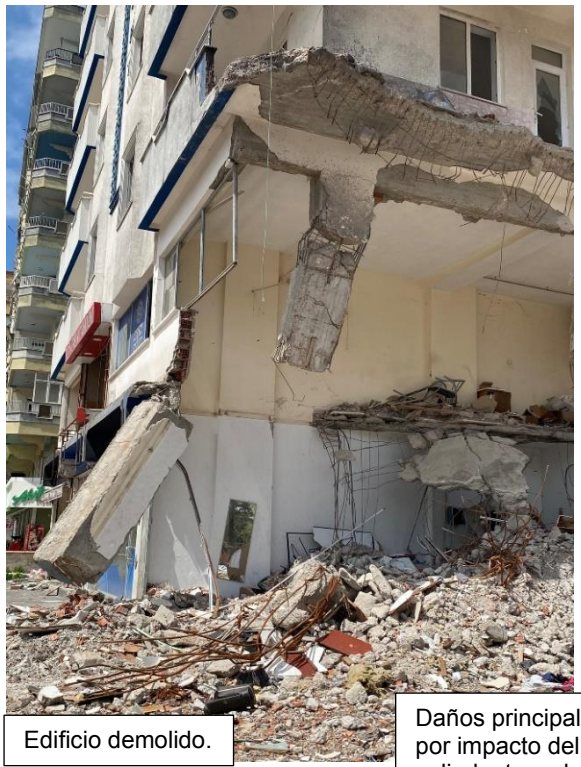
c)

Daños principales originados por impacto del edificio colindante, colapsado por efectos del sismo.

d) e)

Daños principales originados por impacto del edificio colindante, colapsado por efectos del sismo.
Edificio demolido.

f)


Edificio demolido.
Daños principales originados por impacto del edificio colindante, colapsado por efectos del sismo.

g)

Columna con diseño estructural muy deficiente [barras del refuerzo longitudinal y transversal (estribos) de calibre pequeño, con acero liso; sin estribos interiores]

h)

i) j)

Figura 3.3.8 Vistas del antes y después de un edificio de 9 niveles con daños importantes, aparentemente por el impacto del edificio colindante que colapsó por efectos del sismo, con estructuración principal a base de marcos de concreto reforzado (altos y esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), ubicado en la zona de Kahramanmaras [Notas: efectos importantes por impacto, con interacción importante con edificios colindantes colapsados (demolidos); malos diseños estructurales de las dimensiones y refuerzos longitudinal y transversal (sin estribos o grapas interiores, acero liso de alta resistencia) de las columnas inferiores, entre otros]. *Fuente: a) y b): Google Maps (2023h); c) – j): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.4. Estructura uso mueblería, con daños considerables

En la Figura 3.3.9 y subcapítulo 4.2.3.1 se muestran fotografías de un edificio comercial dañado.

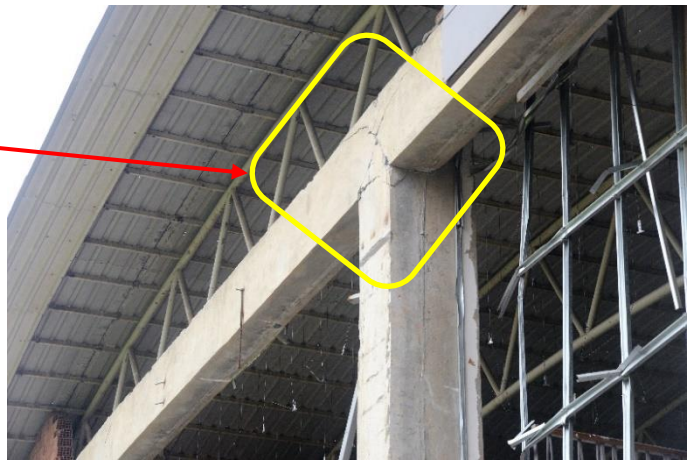
ANTES

a) b)

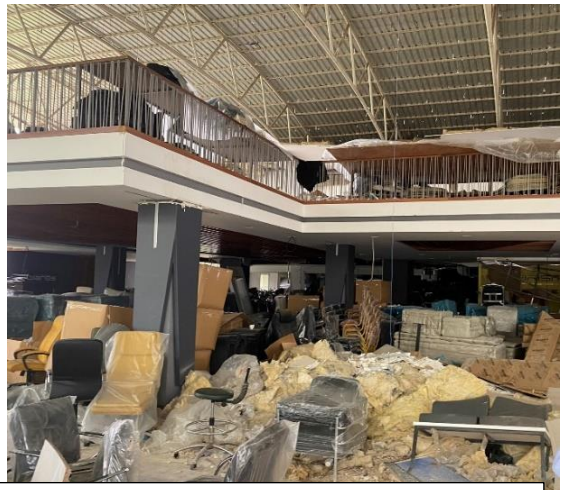
DESPUÉS

c)

d)



e)



Distribución de las cargas tipo mueblería en Planta Baja y en Mezanine, después de los sismos de febrero-2023.

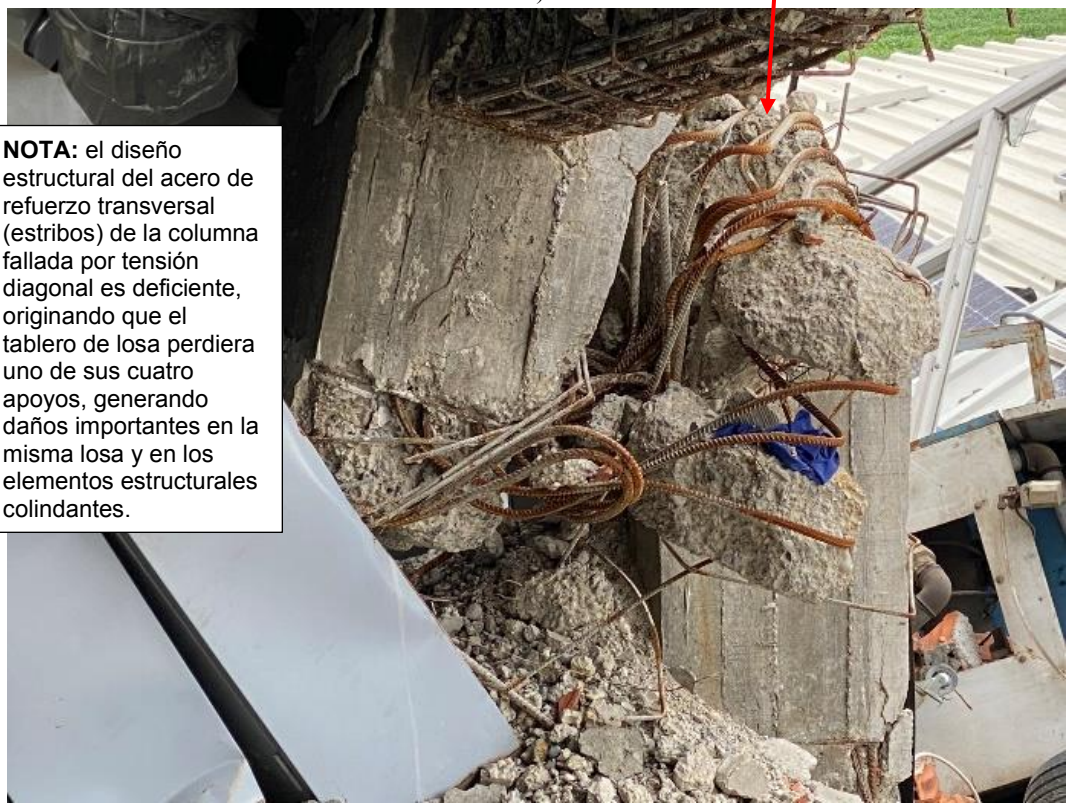
f)

g)

h)

Detalles de la columna fallada, en el segundo entrepiso, que originó que el tablero de losa perdiera su apoyo, presentándose daños importantes en la misma losa y en elementos estructurales colindantes.

i)



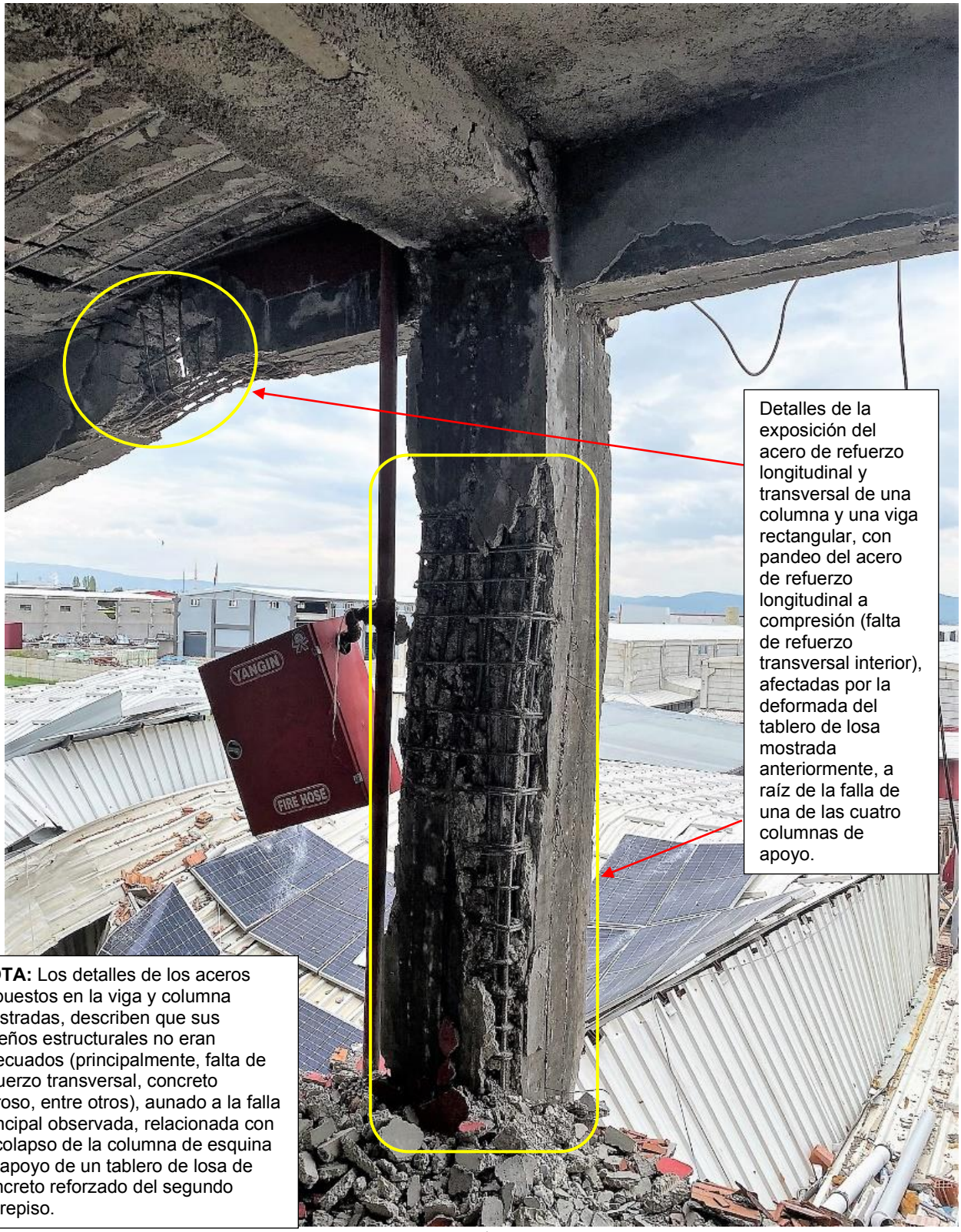
NOTA: el diseño estructural del acero de refuerzo transversal (estribos) de la columna fallada por tensión diagonal es deficiente, originando que el tablero de losa perdiera uno de sus cuatro apoyos, generando daños importantes en la misma losa y en los elementos estructurales colindantes.

j)

NOTA: Los detalles de la falla principal observada, relacionada con el colapso de la columna de esquina de apoyo de un tablero de losa de concreto reforzado del segundo entrepiso, muestran una deformada considerable y acero expuesto en la losa respectiva.

k)

l)



Detalles de la exposición del acero de refuerzo longitudinal y transversal de una columna y una viga rectangular, con pandeo del acero de refuerzo longitudinal a compresión (falta de refuerzo transversal interior), afectadas por la deformada del tablero de losa mostrada anteriormente, a raíz de la falla de una de las cuatro columnas de apoyo.

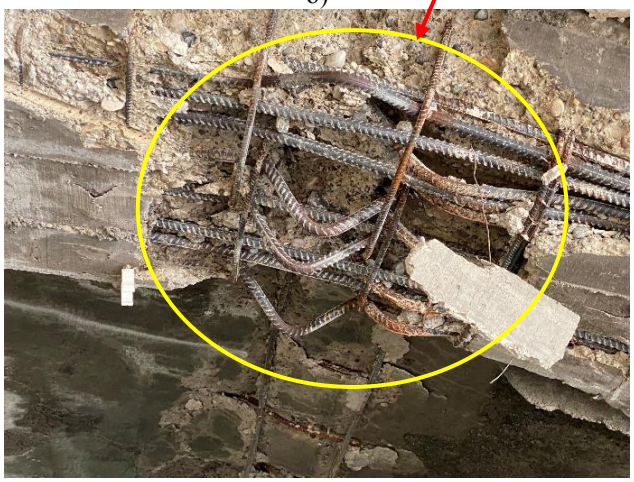
NOTA: Los detalles de los aceros expuestos en la viga y columna mostradas, describen que sus diseños estructurales no eran adecuados (principalmente, falta de refuerzo transversal, concreto poroso, entre otros), aunado a la falla principal observada, relacionada con el colapso de la columna de esquina de apoyo de un tablero de losa de concreto reforzado del segundo entrepiso.

m)

Falla tipo de extremos inferiores de columnas y tramos de vigas rectangulares con exposición y pandeo del acero de refuerzo longitudinal a compresión (falta de refuerzo transversal interior), en extremos y hacia la parte central de los momentos flexionantes actuantes máximos positivos.

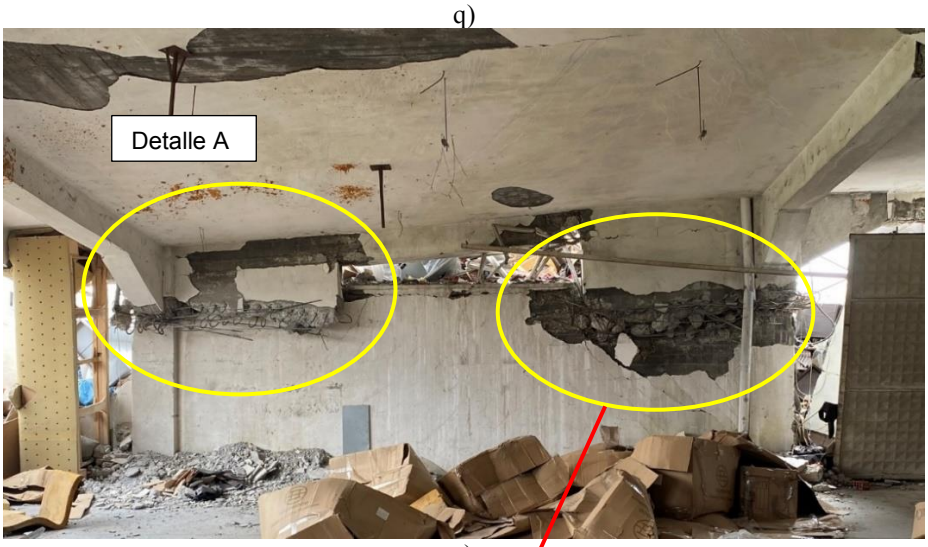
n)

o)



p)

q)



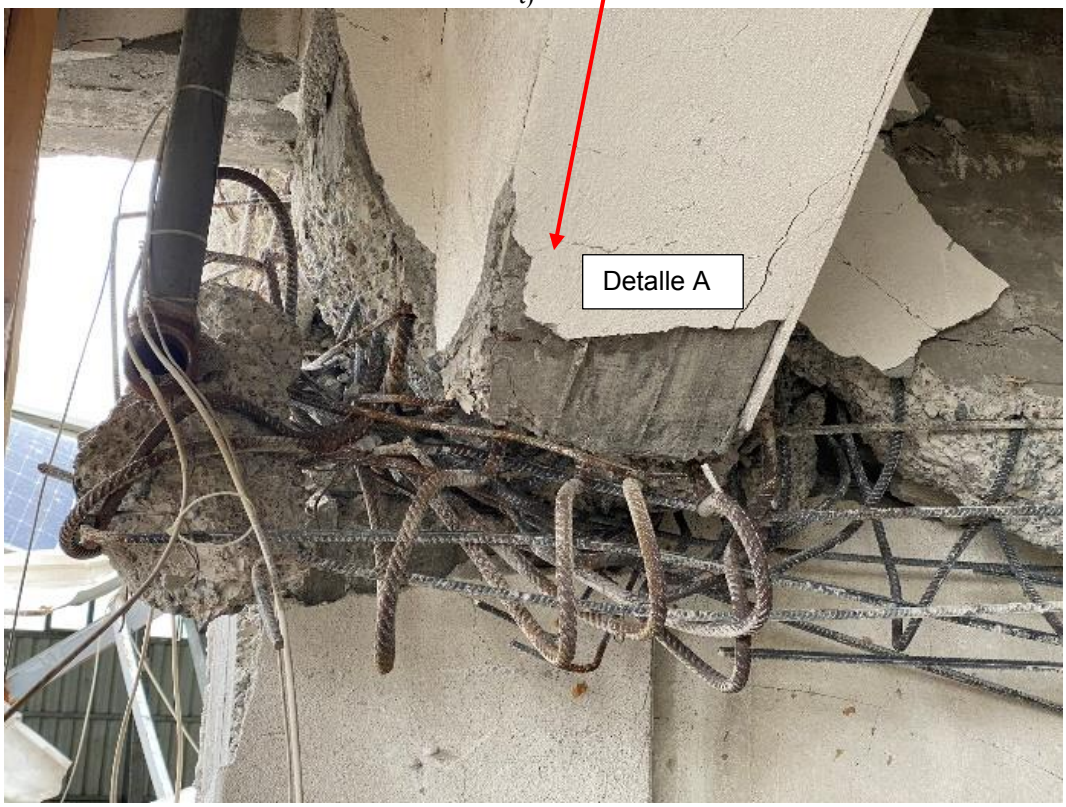
r)

s)

Nota: Falla observada del armado vertical y horizontal disponible a lo ancho de la unión del extremo superior de un muro existente de concreto reforzado, aparentemente en la zona del tablero de la losa fallada, a raíz del colapso total de uno de sus cuatro apoyos.

Viga acartelada.
Detalle A: vista de la falla en la unión del armado vertical y horizontal disponible en el extremo superior de un muro existente de concreto reforzado, en la unión con el extremo de la viga acartelada, aparentemente en la zona de la losa fallada (mostrada previamente).

t)

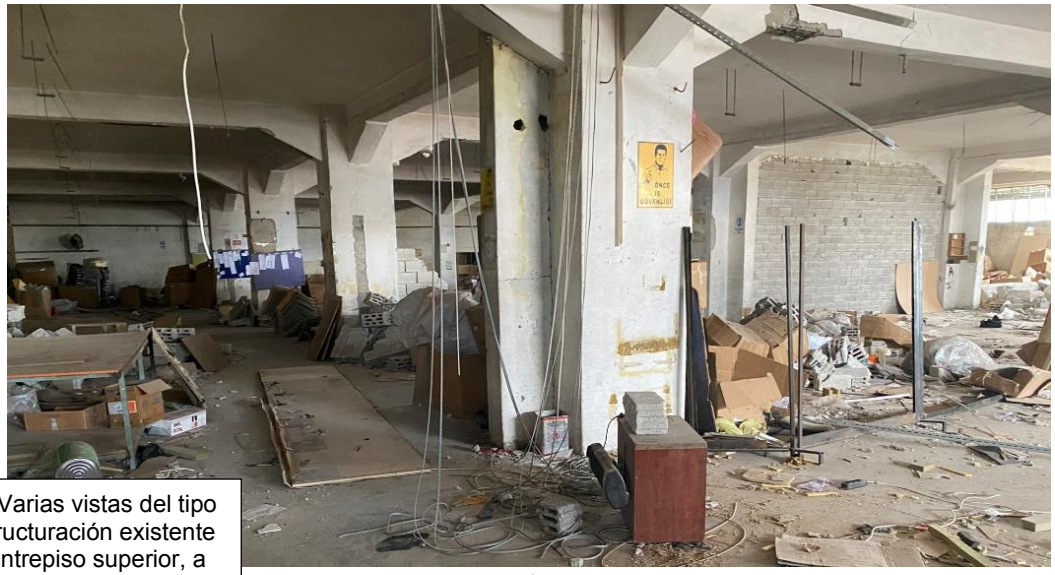

Detalle A

u)

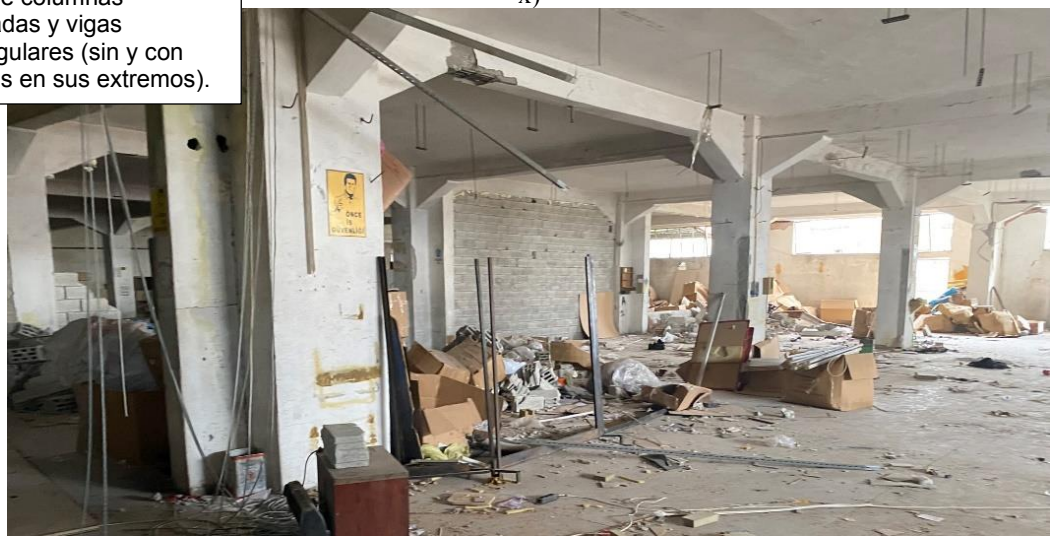
Falla tipo de extremos inferiores de columnas cuadradas, con exposición y pandeo del acero de refuerzo longitudinal a compresión, así como problemas de mal confinamiento del núcleo correspondiente, por falta de estribos interiores.

v)

w)



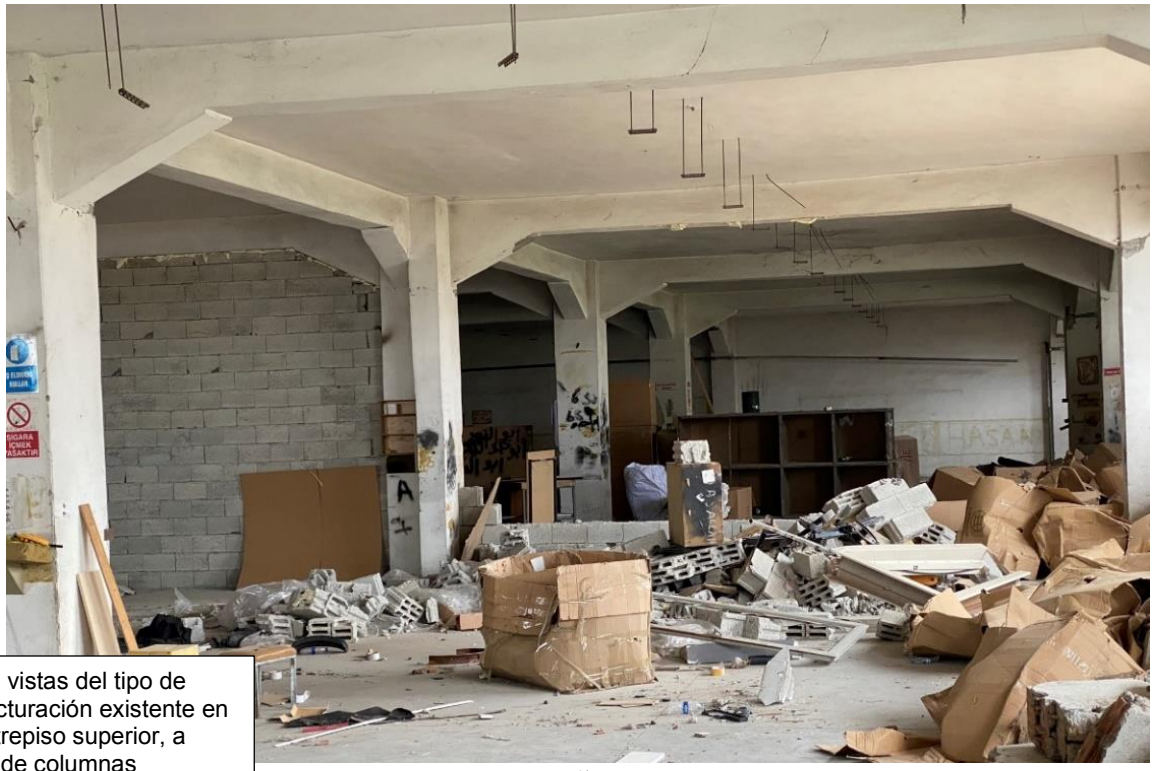
x)



y)

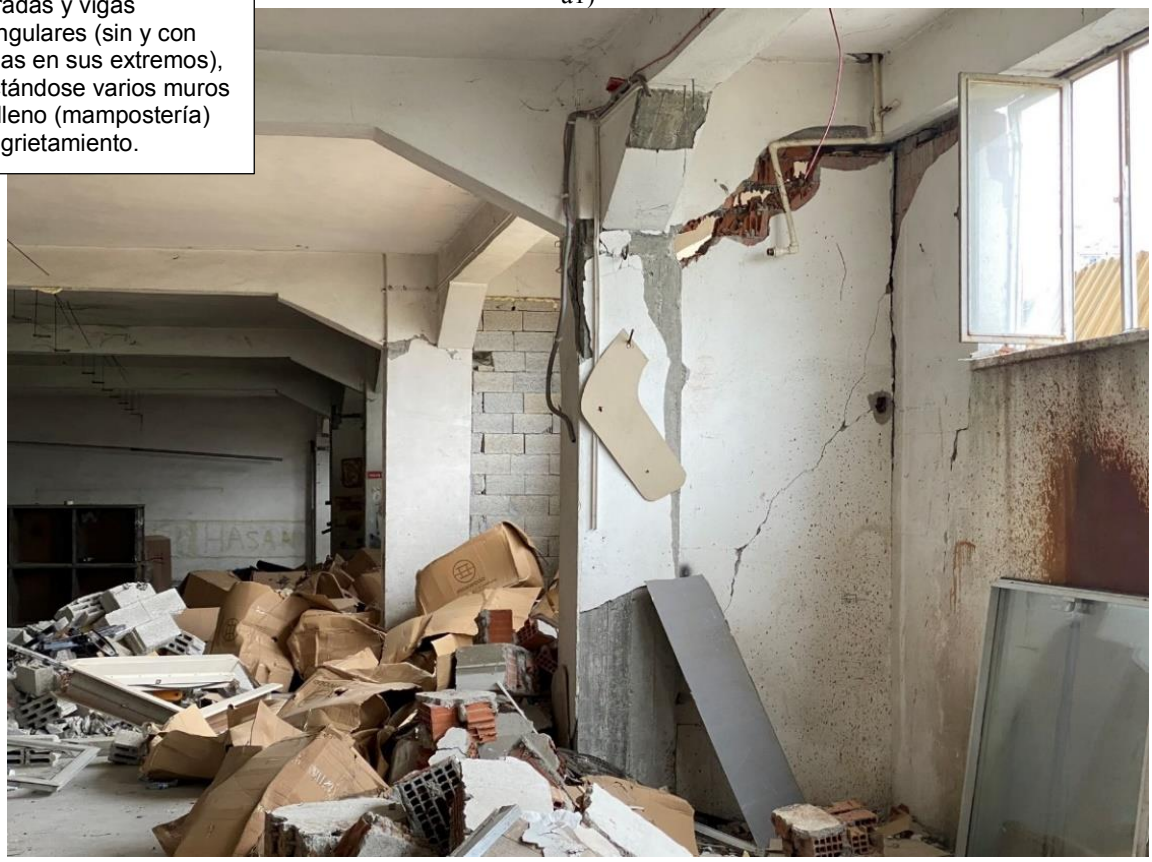
z)

Nota: Varias vistas del tipo de estructuración existente en el entrepiso superior, a base de columnas cuadradas y vigas rectangulares (sin y con cartelas en sus extremos).



a1)

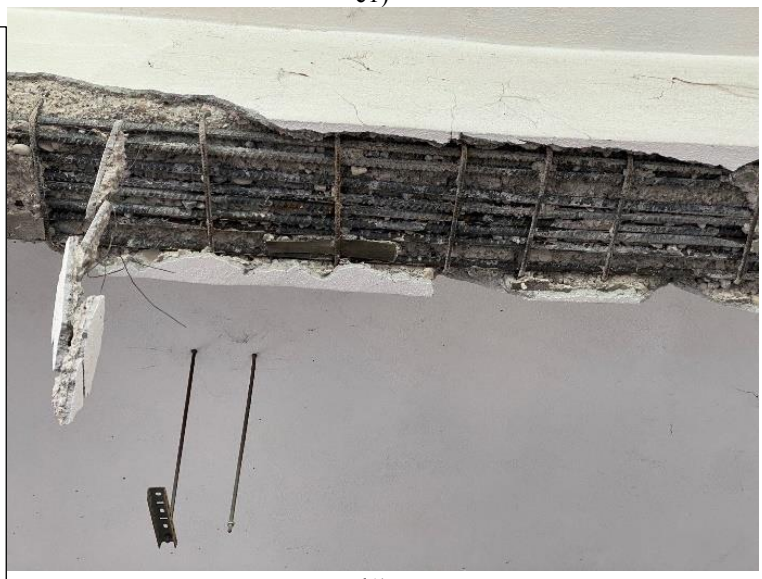
Otras vistas del tipo de estructuración existente en el entrepiso superior, a base de columnas cuadradas y vigas rectangulares (sin y con cartelas en sus extremos), detectándose varios muros de relleno (mampostería) con agrietamiento.



b1)

c1)

Falla tipo de vigas rectangulares acarteladas con exposición y pandeo del acero de refuerzo a compresión (falta de refuerzo transversal), en los extremos de las zonas de los cambios del tipo de sección transversal y hacia la parte central de los momentos flexionantes actuantes máximos positivos ante cargas verticales.



d1)

e1)

f1)

Falla tipo de muros de mampostería no reforzada y mal ligada a la estructura principal, zona de escaleras y divisiones interiores.

g1)

h1)

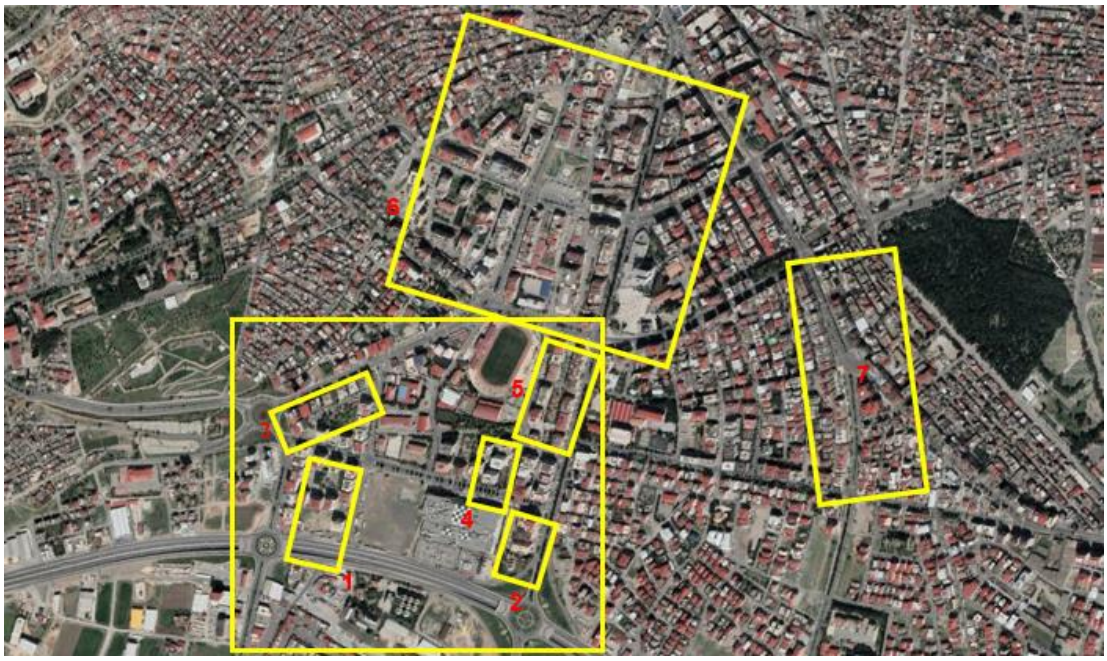
i1)

Figura 3.3.9 Daños importantes en una construcción tipo mueblería con planta baja, dos niveles y techumbre metálica, con cargas verticales apreciables, a base de una estructuración híbrida irregular en planta y elevación, con columnas y vigas rectangulares acarteladas, así como varios muros de concreto reforzado, ubicado en la zona de Kahramanmaras [*Notas: aparente concentración de cargas verticales en algunas zonas de las losas existentes de concreto reforzado, presentándose el colapso en una de las columnas de apoyo de uno de sus tableros, con un diseño muy deficiente del refuerzo transversal de este tipo de elementos estructurales verticales, aunado a los malos diseños de los refuerzos de otras columnas existentes (sin estribos interiores, acero liso de alta resistencia, entre otras), así como de las vigas existentes, incluyendo las zonas de sus extremos, donde termina el acartelamiento; malos diseños de los refuerzos longitudinal y transversal de los muros disponibles de concreto reforzado; agrietamiento importante en los muros divisorios y de escaleras, con mampostería sin reforzar y mal ligada a la estructura principal; empleo de piezas de mampostería hueca con perforaciones orientadas horizontalmente, entre otros*]. *Fuente: a) y b): Google Maps (2023i); c) – i1): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.5. Edificios dañados en zona de un conjunto importante de colapsos

En la Figura 3.3.10 se muestran fotografías de edificios colapsados en la ciudad de Kahramanmaras.

ANTES



a)

DESPUÉS

b)

ANTES

c)

d)

DESPUÉS

Caseta de Referencia
Edificios demolidos. 1

e)

Edificios demolidos. 1

f)

ANTES

g)

DESPUÉS

h)

i)

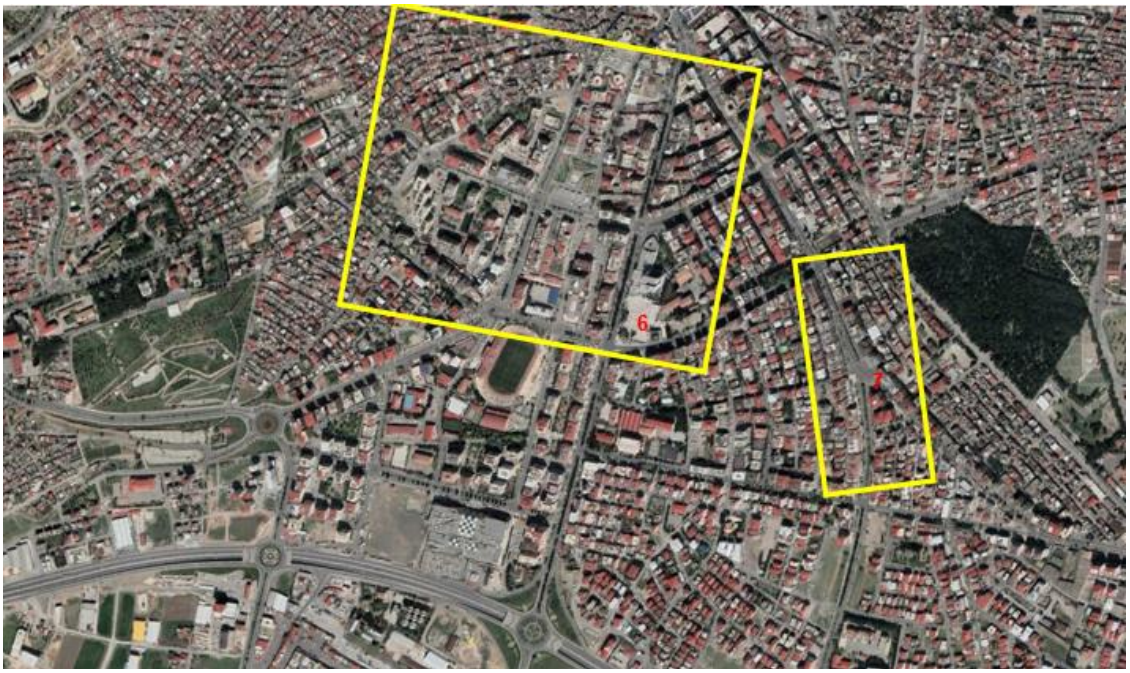
j)

Figura 3.3.10 Varias vistas del antes y después de edificios altos (hasta 12 niveles) dañados en la zona de un conjunto habitacional con muchos colapsos. *Fuente: a), b), c), d) y g): Google Maps (2023j); e) – j): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.6. Zona de otros colapsos

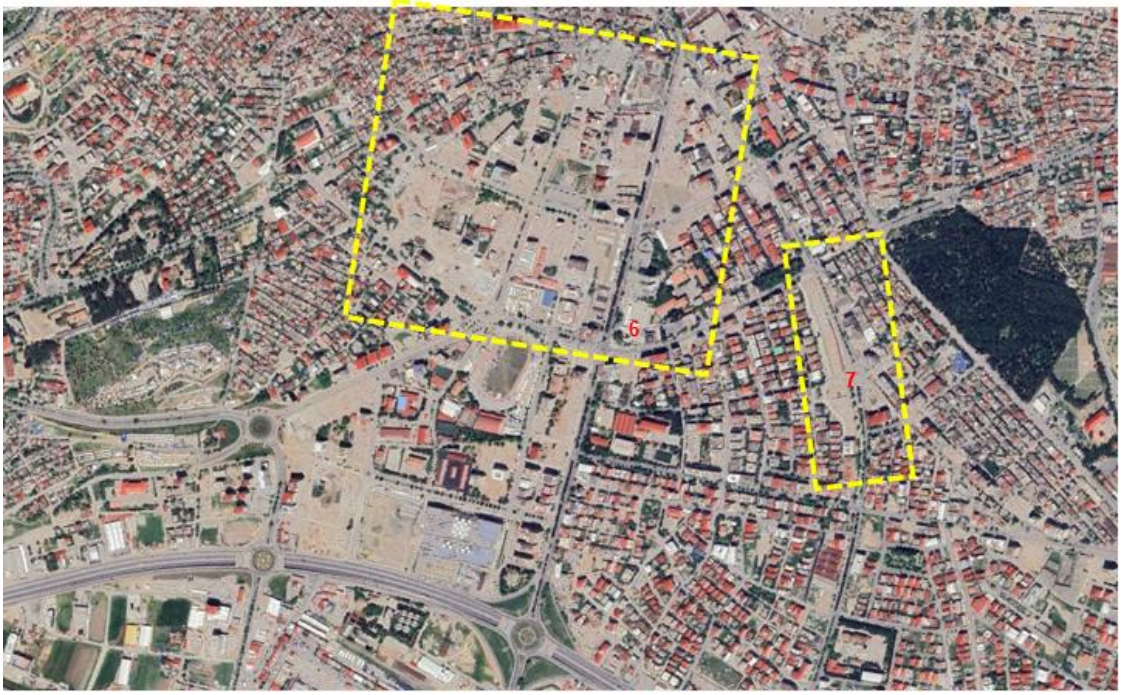
En la Figura 3.3.11 se muestran fotografías de otros edificios colapsados en la ciudad de Kahramanmaras.

ANTES



a)

DESPUÉS



b)

ANTES

c)

d)

DESPUÉS

Colapso de varios edificios
Referencia 1
Referencia 2
Edificios demolidos.

e)

Referencia 1
Colapso de varios edificios

f)

Colapso de varios edificios

g)

Colapso de varios edificios

h)

Detalles de diseños estructurales de columnas con refuerzos longitudinal y transversal muy deficientes, entre otros.

i)

j)

k)

Figura 3.3.11 Vistas del antes y después de zona de varios edificios demolidos y otros muy dañados. *Fuente: a), b), c), d): Google Maps (2023k); e) – k): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.7. Otros daños y colapso de un edificio interior

En la Figura 3.3.12 se muestran fotografías de edificios colapsados en la ciudad de Kahramanmaras.

a)

b)

ANTES

c)

d)

DESPUÉS

e)

Detalles del edificio colapsado, localizado a mitad de la cuadra.

f)

Nota: Aparentemente, a reserva de tener mayor información, el colapso observado solamente se presentó en la mitad del edificio de interés (lado derecho, según foto), a lo largo de una probable junta de construcción, independientemente que la fachada (color amarillo) era continúa para ambas partes; nótese, también, que la rasante del primer nivel de las dos partes, no coincide; asimismo, durante el recorrido, no se detectó que el edificio en pie (lado derecho) haya tenido efectos importantes por golpeteo de la parte colapsada del edificio de interés, pero el edificio siguiente sí muestra agrietamiento diagonal en sus muros de mampostería de fachada (ver recuadro amarillo). El edificio colapsado contaba con losas prefabricadas.

Detalles del edificio colapsado, localizado a mitad de la cuadra.

g)

h)

Figura 3.3.12 Vistas del antes y después de un edificio fallado a la mitad de cuadra y otros con daños importantes. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.3.4.8. Varios edificios dañados con agrietamientos importantes en los muros de mampostería

En la Figura 3.3.13 se muestran daños en muros de mampostería en la ciudad de Kahramanmaras.

a)

b) c)

Figura 3.3.13 Varios edificios con agrietamientos importantes en sus muros de mampostería (ver recuadros amarillos). Fuente: Archivo personal de los autores.

3.3.4.9. Daños en varias construcciones antiguas y nuevas de mampostería con poco o nulo reforzamiento, casas-habitación

Durante los recorridos realizados por la misión del Instituto de Ingeniería en las regiones afectadas por los sismos de Kahramanmaraş y Hatay de febrero de 2023, se encontraron daños en edificios antiguos con elementos de mampostería no reforzada, algunos de ellos con más de 2,000 años de antigüedad. En este apartado se presenta una recopilación de los daños observados.

Algunos edificios de gran valor histórico como la Gran Mezquita Adiyaman, la Nueva Mezquita Malatya, la Mezquita Hatay Habibi Neccar y la mezquita y el anexo recién construidos del Santuario Nurdağı Ökkeşiye, fueron completamente destruidos. La mayoría de las mezquitas históricas en Adiyaman, Hatay, Kahramanmaraş, Gaziantep y Malatya sufrieron daños que van de moderados a severos que, aunque no fueron completamente destruidas, no se encuentran en condiciones de servicio.

La mayoría de las mezquitas, tanto las catalogadas como patrimoniales, así como las de reciente construcción, sufrió daños en sus minaretes que ocasionaron su destrucción. En el edificio principal los daños fueron nulos o mínimos.

3.3.4.9.1. Distrito de Dulkadiroğlu

Este es un asentamiento muy representativo de Kahramanmaras que tiene más de 2,500 años de antigüedad. En él se ubican edificios y mezquitas históricas que son un gran atractivo turístico de esta provincia. Recientemente había sido sometida a un programa de restauración y renovación de fachadas.

Durante la visita realizada no se apreció la presencia de algún tipo de reforzamiento estructural, ni se encontró información al respecto. A continuación, se hace un recuento de los principales daños observados.

Mezquita Divanli Cami

La mezquita está ubicada en el distrito de Dulkadiroğlu, distrito de Divanli, calle Tevfik Fikret. Fue construido por Gani Yusuf Zâde Ahmet Pasha en 1689-90, según la inscripción de construcción colocada en la parte superior de la puerta que da entrada al harén en la fachada Este. Se la conoce como "Mezquita Divanlı". La mezquita cuenta con una forma casi rectangular con techos de madera. El minarete, la puerta, el pilar, el arco y el mihrab están hechos de piedra amarillenta labrada ligada con mortero y sin la presencia aparente de algún tipo de refuerzo (ver Figuras 3.3.14a) a c)). El sismo ocasionó el colapso de los muros de al menos tres esquinas de la mezquita dejando al edificio en una seria condición de inestabilidad. De fotos satelitales se aprecia un posible colapso del minarete, pero esta información no ha podido corroborarse. Durante la visita no fue posible rodear el edificio para conocer más detalles de sus daños debido a la colocación de cercas de protección para evitar el acceso al edificio.

Este tipo de fallas son comunes en edificios con muros esbeltos y la presencia de cubiertas de madera que no favorecen a que se presente un comportamiento tipo caja, permitiendo grandes deformaciones laterales de los muros que pueden provocar el colapso parcial o total de los muros.

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

c)

Figura 3.3.14 Vistas del antes y después de la "Mezquita Divanli", donde el sismo ocasionó el colapso de los muros de al menos tres esquinas, sin la presencia aparente de algún tipo de refuerzo. *Fuente: a): Google Maps (2023l); b) y c): Archivo personal de los autores.*

Daños en otros edificios contiguos

En los alrededores de este barrio se observaron daños en viviendas, la mayoría construidas con mampostería de piedra labrada en bloques ligada con algún tipo de mortero. En esta parte se presentan dos casos de viviendas en las que en la planta baja se presentó el derrumbe parcial de los muros (ver Figuras 3.3.15a) a s)). Las Figuras 3.3.15a) y b) corresponden a una vivienda que al parecer estaba construida empleando castillos de concreto reforzado que contribuyeron a que los daños fueran mínimos salvo en la fachada de la planta baja, utilizando bloques de piedra, aparentemente sin algún tipo de refuerzo, provocando el colapso del muro ubicado en el acceso principal de la vivienda. En las Figuras 3.3.15c) y d) se muestra otra vivienda en donde la planta baja está construida con mampostería de bloque de piedra labrada y la planta alta con elementos de madera. Los daños se presentaron en la planta baja con el colapso parcial de los muros de mampostería. En ambos casos se aprecia que los muros no tuvieron la suficiente capacidad de resistir las fuerzas cortantes ocasionadas por el sismo. También se resalta que los daños se presentaron en donde no se apreciaba una adecuada trabazón de los bloques, ocasionando un plano de falla (ver Figura 3.3.15s)). Otro edificio de 2 niveles presentó el colapso total. Estaba construido por mampostería hecha con bloques labrados de piedra unidos por mortero y con cubiertas de madera sin la presencia aparente de elementos de refuerzo (Figuras 3.3.15e) a g)). Otros daños en la misma zona en estudio pueden observarse en la Figura 3.3.15 h) a s).

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

ANTES

c)

DESPUÉS

d)

ANTES

e)

DESPUÉS

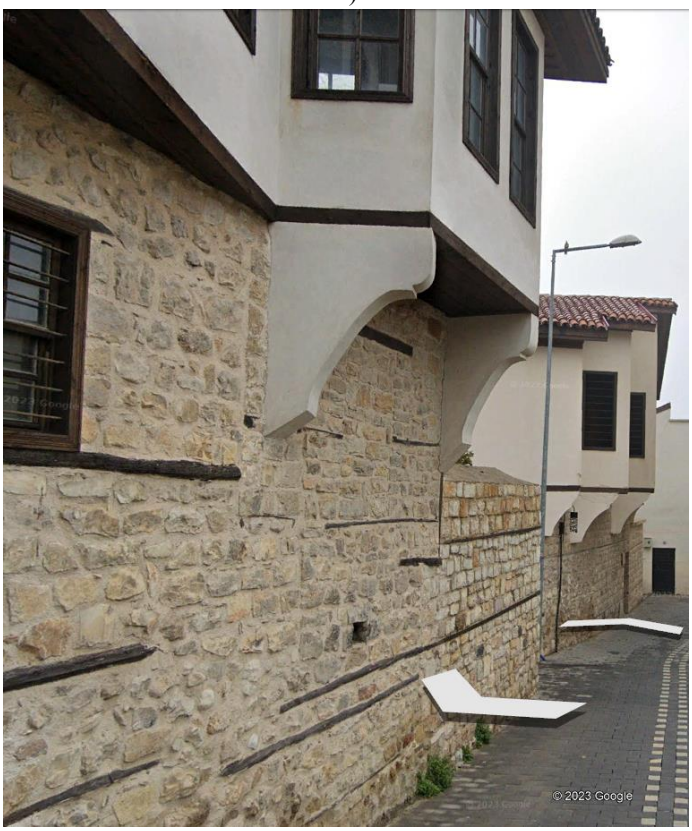
f)

g)

ANTES

Google
Captura de imágenes: nov 2022 © 2023 Google México Condiciones Privacidad Informar un problema

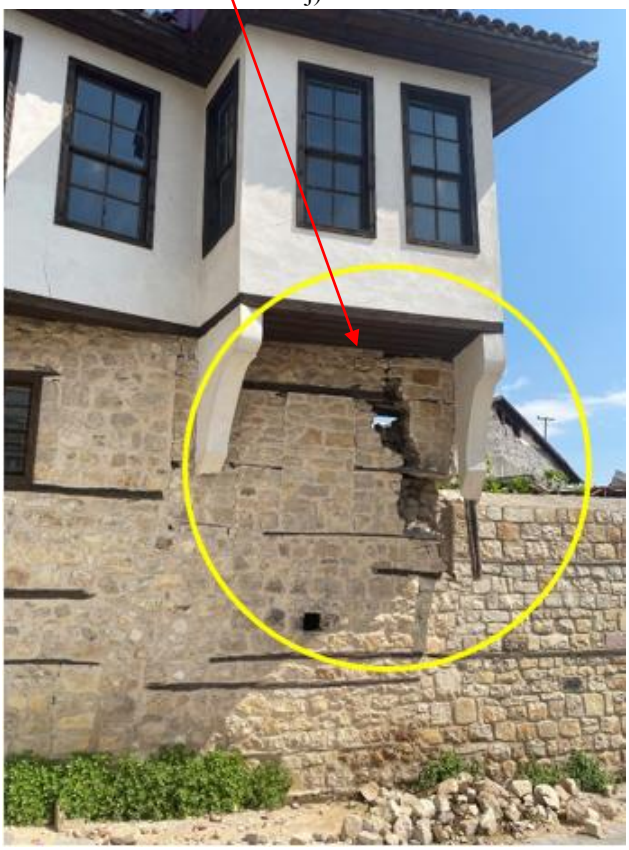
h)


© 2023 Google

i)

DESPUÉS

j)



k)

ANTES

l)

DESPÚES

m)

n)

ANTES

o)

DESPUÉS

p)

ANTES

q)

DESPÚES

r)

s)

Figura 3.3.15 Vistas del antes y después, mostrando los detalles de fallas observadas en construcciones antiguas y nuevas de poca altura tipo casa-habitacional, a base de muros de mampostería con poco o nulo refuerzo (Nota: en recuadros amarillos se muestran los daños). *Fuente: a), c), e), h), i), l), o) y q): Google Maps (2023m); b), d), f), g), j), k), m), n), p), r) y s): Archivo personal de los autores.*

En la contra esquina de la vivienda mostrada en la Figura 3.3.15e) a g) se encontró un edificio completamente colapsado (Figura 3.3.16a) y b)). De fotos previas, aparentemente se trataba de un edificio de tres niveles de construcción más reciente que el resto de los edificios y que contaba con losas de concreto reforzado. Se desconoce cómo estaba resuelta la planta baja, pero se aprecia una falta de mantenimiento en todo el edificio.

En la Figura 3.3.16c) a e) se muestran fotografías de antes y después de los sismos de febrero de 2023 de una vivienda ubicada en una esquina bordeada con un muro de mampostería de piedra; como se aprecia, el muro presentó colapso, donde su altura se veía reducida por la presencia de aberturas como puertas. Además, la presencia de dinteles de madera cuya función era continuar con el muro sobre la abertura favoreció la falla del muro.

La vivienda de dos niveles que se encontraba en el interior de este predio colapsó. No se encontraron fotos de cómo se encontraba inicialmente esta vivienda, antes del sismo, pero de los escombros se pudo apreciar que la planta baja estaba construida con mampostería de piedra y elementos de madera y la planta alta con elementos de concreto reforzado. Al parecer la planta baja falló, quizás por el cambio drástico de rigideces y la falta de elementos que pudieran resistir las tensiones ocasionadas por la acción del sismo.

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

ANTES

c)

DESPUÉS

d)

e)

Figura 3.3.16 Otras vistas de antes y después, mostrando los detalles de fallas observadas en construcciones antiguas y nuevas de poca altura tipo casa-habitacional, a base de muros de mampostería con poco o nulo refuerzo. *Fuente: a) y c): Google Maps (2023n); b), d) y e): Archivo personal de los autores.*

Hamidiye Yesilyurt

En este poblado se observaron viviendas de mampostería de bloque con cubiertas de madera y teja a dos aguas, algunas sin ningún recubrimiento lo que permitía apreciar el sistema constructivo utilizado, evidenciando la falta de elementos confinantes como castillos y dalas de concreto reforzado (ver Figura 3.3.17a) a d)). Para resolver las aberturas de las ventanas se utilizaron dinteles de madera. Este tipo de viviendas son altamente vulnerables a la acción de un sismo ya que la falta de elementos confinantes, más la escasa restricción que ofrece el sistema de cubierta, ocasiona la falla por volteo de hastial (muro triangular en cubiertas de dos aguas) del muro lateral y agrietamientos diagonales en las esquinas de las aberturas para ventanas.

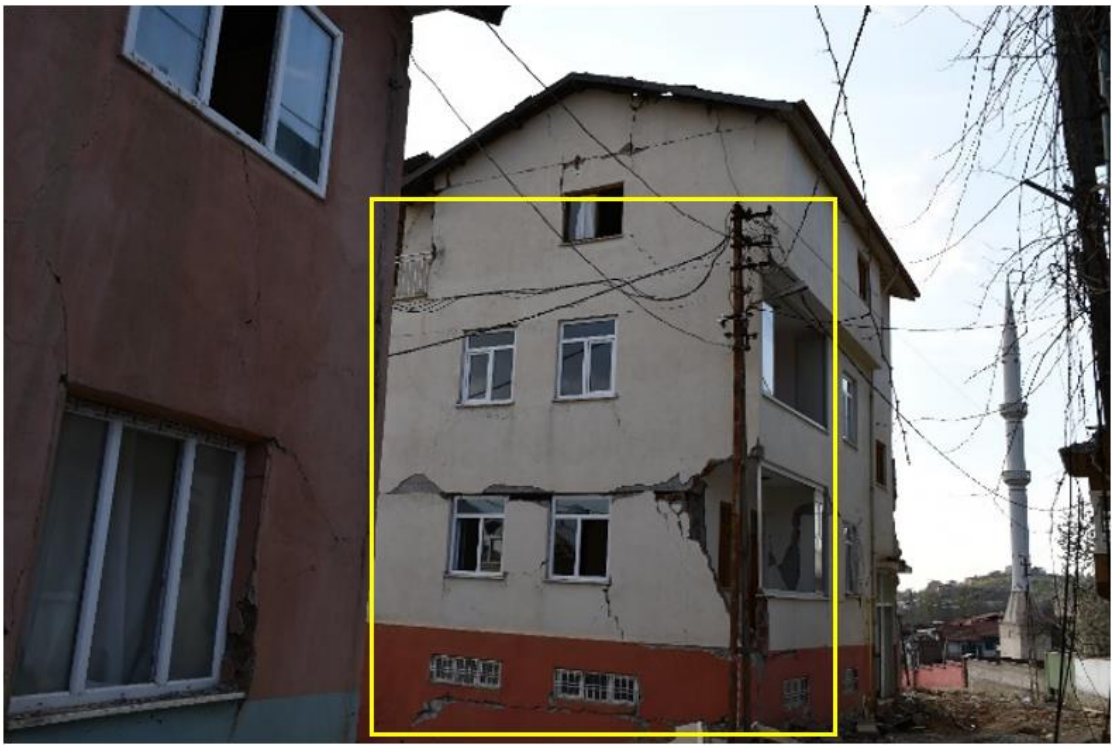
a)

b)

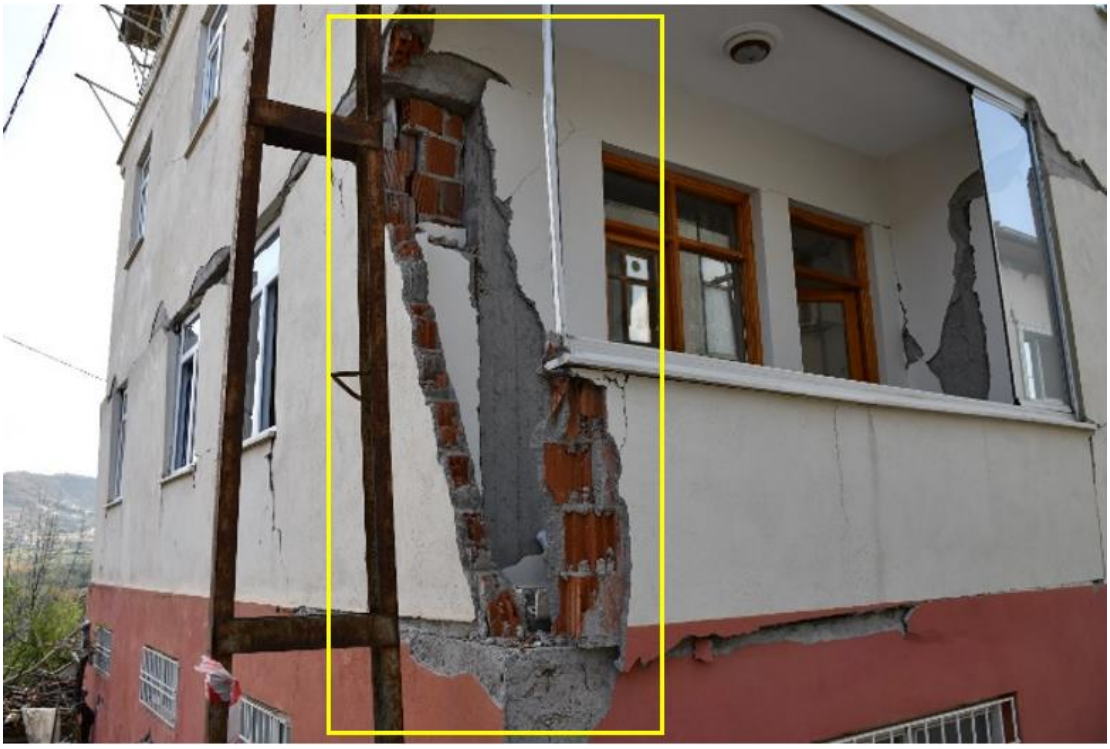
c)

Figura 3.3.17 Viviendas de mampostería de bloque con cubiertas de madera y teja a dos aguas, con daños importantes a raíz de los sismos de febrero de 2023. [*Nota: los daños principales se muestran en recuadros amarillos*] *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En este poblado se encontraron edificios construidos con bloques de arcilla recocido multiperforados bordeados por castillos y dalas de concreto, aunque no siempre se encontraban ligados a estos elementos ocasionando agrietamientos verticales u horizontales en los planos de contacto (Figura 3.3.18a) y b)). También, cabe destacar que se encontraron muchos casos en que las perforaciones de los ladrillos se encontraban orientados en la dirección horizontal, reduciendo drásticamente la resistencia a compresión y a cortante de los muros, aunado a que los bloques se apreciaban de baja calidad. La falla del hastial del muro transversal en este tipo de edificios fue recurrente.



a)



b)

Figura 3.3.18 Edificios construidos con bloques de arcilla recocido multiperforados rodeados por castillos y dalas de concreto, con daños aparentes a raíz del sismo de febrero de 2023. [*Nota: los daños principales se muestran en recuadros amarillos*]. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Finalmente, en este poblado se encontraron viviendas vernáculas de mampostería de piedra labrada e irregular, así como viviendas con entramados de madera. La mayoría de este tipo de viviendas presentó colapsos parciales o totales en la región debido a la gran vulnerabilidad ante la acción de fuertes sismos (Figura 3.3.19a) y b)). Los modos de falla más recurrentes fueron la separación de los muros por una inadecuada conexión en las esquinas de los edificios, así como la falla fuera del plano de los muros ocasionada por la escasa conexión entre los muros y el sistema de cubierta.

a)

b)

Figura 3.3.19 Viviendas vernáculas de mampostería de piedra labrada e irregular, así como viviendas con entramados de madera, con daños aparentes a raíz del sismo de febrero de 2023. [*Nota: los daños principales se muestran en recuadros amarillos*]. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Çelikhan

En este poblado se encontraron viviendas construidas con mejores técnicas constructivas y materiales más modernos. A pesar de ello, se observaron colapsos en los hastiales de los muros transversales, tal y como se observa en la Figura 3.3.20a) y b), donde se presenta el antes y después de los sismos. Esto fue ocasionado por la falta de elementos que confinaran adecuadamente este muro, así como también que evitaran grandes deformaciones fuera del plano. El resto de los edificios se observaron en buenas condiciones.

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

Figura 3.3.20 Viviendas construidas con mejores técnicas constructivas y materiales más modernos, pero que, a pesar de ello, se observaron colapsos en los hastiales de los muros transversales. *Fuente: a): Google Maps (2023ñ); b): Archivo personal de los autores.*

En otro edificio de construcción reciente se observó el colapso de los muros de mampostería ocasionado por la falta de conexión con los elementos estructurales que bordean este tipo de muros (Figura 3.3.21).

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

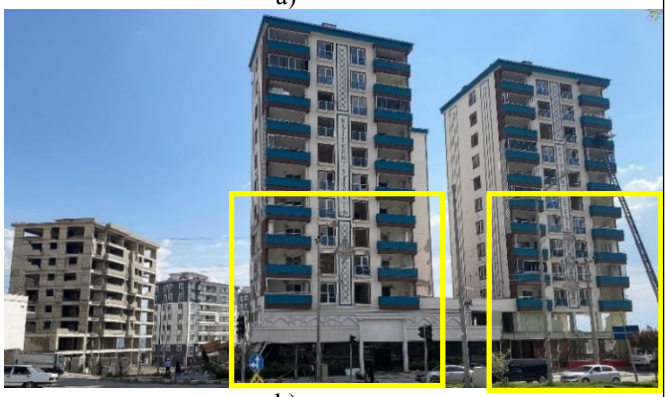
Figura 3.3.21 Colapso de los muros de mampostería (ver recuadro amarillo), ocasionado por la falta de conexión con los elementos estructurales que bordean este tipo de muros, a raíz de los sismos de febrero de 2023, poblado de Çelikhan. *Fuente: a): Google Maps (2023o); b): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.10. Daños tipo en varios edificios altos, una mezquita y un edificio en construcción

3.3.4.10.1. Zona de mezquita Doğukent

En la Figura 3.3.22 se muestran daños en edificios altos, en la mezquita Doğukent y un edificio en construcción.

a)



b)

c)

Varios edificios altos (10 y 12 niveles) de concreto reforzado, estructurados a base de marcos de concreto reforzado (esbeltos, sin suficiente rigidez lateral) con muros de mampostería simple, agrietados de manera diagonal.

ANTES

d)

DESPUÉS

Estado actual de una mezquita con todos los muros (mampostería simple), de fachadas demolidos, aparentemente fallados con agrietamiento diagonal.

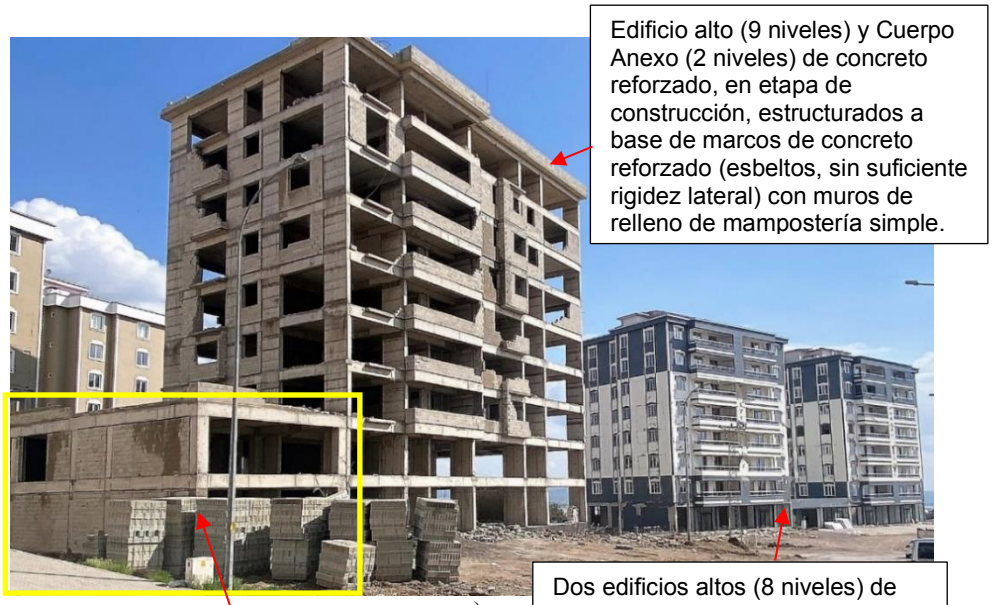
e)

f)

g)

Figura 3.3.22 Vistas de daños de muros de mampostería frágil ligados inadecuadamente en edificios estructurados a base de marcos de concreto reforzado (altos y esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), así como en las colindancias de una mezquita. [*Nota: los daños principales se muestran en recuadros amarillos*]. *Fuente: d): Google Maps (2023p); a), b), c), e), f) y g): Archivo personal de los autores.*

3.3.4.10.2. Edificio en construcción y dos existentes



a)

b)

Notas: Vista de tres edificios de concreto reforzado [vecinos entre sí, uno de 9 niveles en construcción con un pequeño anexo de 2 niveles, y dos terminados (habitados) de 8 niveles completos: 1) los dos edificios terminados presentan agrietamiento visible considerable en los muros de relleno de los ejes exteriores (fachadas) de los primeros entrepisos, a base de mampostería (simple)(ver recuadros amarillos); 2) el edificio en etapa de construcción muestra deficiencias importantes de estructuración, en relación con el diseño sismorresistente de su resistencia y rigidez lateral, entre otras, según se observa en las siguientes fotos].

c) d)

e) f)

Notas: Vistas exteriores del edificio principal de 9 niveles en construcción, incluyendo un cuerpo anexo de 2 niveles, con problemas de estructuración y diseño sismorresistente: a raíz de los efectos de los sismos de febrero de 2023, el edificio en etapa de construcción, muestra daños importantes en los principales elementos estructurales (vigas y columnas), aunado a sus problemas de estructuración, en relación con su resistencia y rigidez lateral; muchos de los muros de mampostería simple que estaban en etapa de colocación, cayeron al suelo].

g)

h)

i)

Varias vistas que describen el tipo de estructuración con escasa capacidad dúctil ante los efectos sísmicos, con la existencia de columnas rectangulares (tipo muros) orientadas de forma asimétrica, uno o dos ejes de vigas principales excéntricos con respecto del ancho de las columnas, vigas secundarias sin continuidad, mala calidad del concreto, detalles inadecuados para desarrollar ductilidad, entre otros.

j)

k)

l)

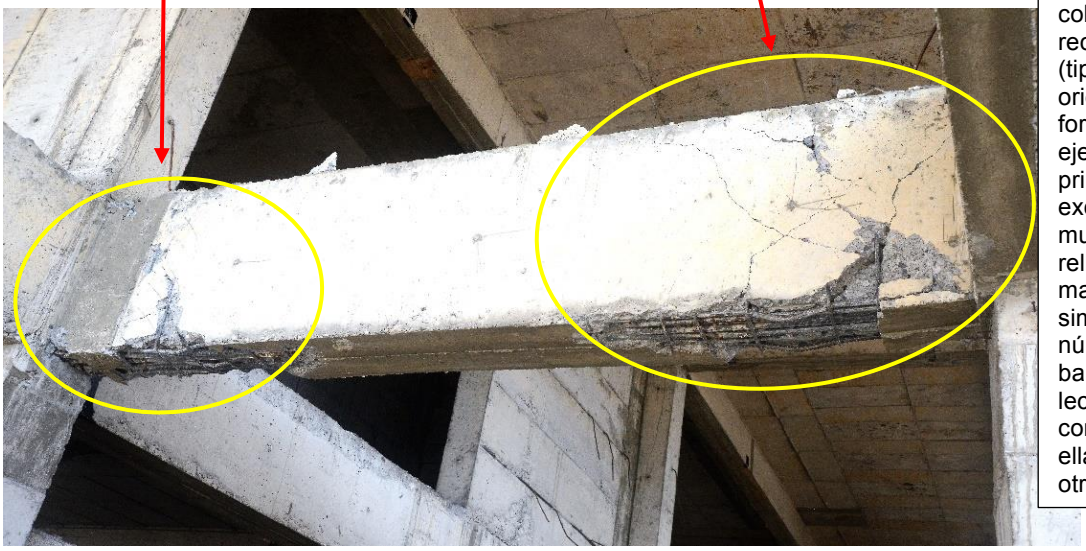
m)

n)

o)

Otras vistas que describen el tipo de estructuración existente con escasa capacidad dúctil ante los efectos sísmicos, con la existencia de columnas rectangulares (tipo muros) orientadas de forma asimétrica, ejes de vigas principales excéntricos con respecto del ancho de las columnas, muros frágiles de relleno con mampostería simple, entre otros.

p)

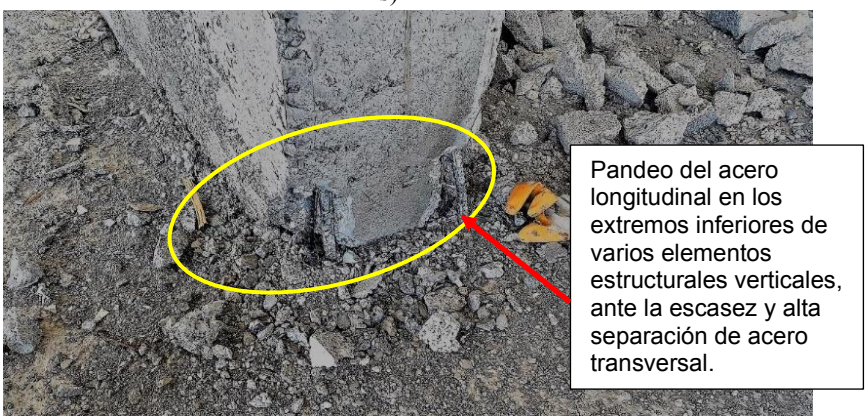


q)

Agrietamiento inclinado y pandeo del acero longitudinal inferior en vigas cortas existentes entre dos columnas tipo muros rigidos, a raíz de un diseño estructural inadecuado del refuerzo transversal para evitar fallas frágiles en este tipo de elementos estructurales, a raíz del tipo de estructuración existente con escasa capacidad de ductilidad ante los efectos sísmicos, con la existencia de columnas rectangulares (tipo muros) orientadas de forma asimétrica, ejes de vigas principales excéntricos, muros frágiles de relleno con mampostería simple, alto número de barras en un lecho sin concreto entre ellas, entre otros.

r)

s)

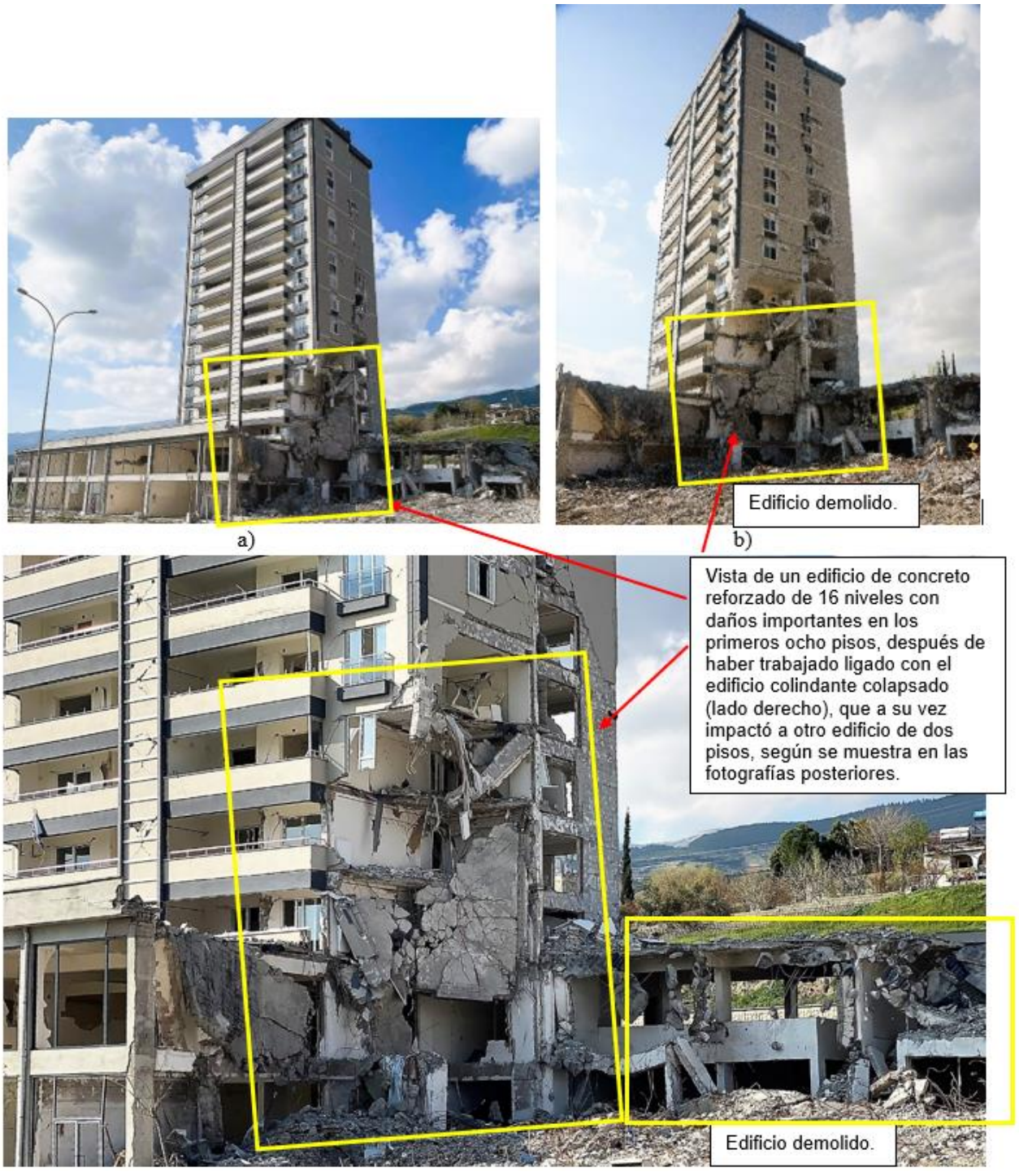


t)

Figura 3.3.23 Varias fotos que describen el comportamiento sismorresistente observado en un edificio de 9 niveles en construcción y su cuerpo anexo de 2 niveles, y en dos edificios vecinos existentes, todos a base de marcos de concreto reforzado (esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), donde el edificio en etapa de construcción presenta: daños importantes en los principales elementos estructurales (vigas y columnas), aunado a sus problemas de mala estructuración, en relación con su resistencia y rigidez lateral; muchos de los muros de mampostería (sin reforzar) que estaban en etapa de colocación, cayeron al suelo; grietas inclinadas y pandeo del acero longitudinal inferior en vigas cortas existentes; escasez de acero transversal en extremos inferiores de elementos estructurales verticales, zona de Kahramanmaras. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.3.4.11. Colapsos y daños en un edificio alto y otro de 2 niveles, mal ligados (sin holguras)

En la Figura 3.3.24 se muestran daños en edificios altos y otro de dos niveles



d)

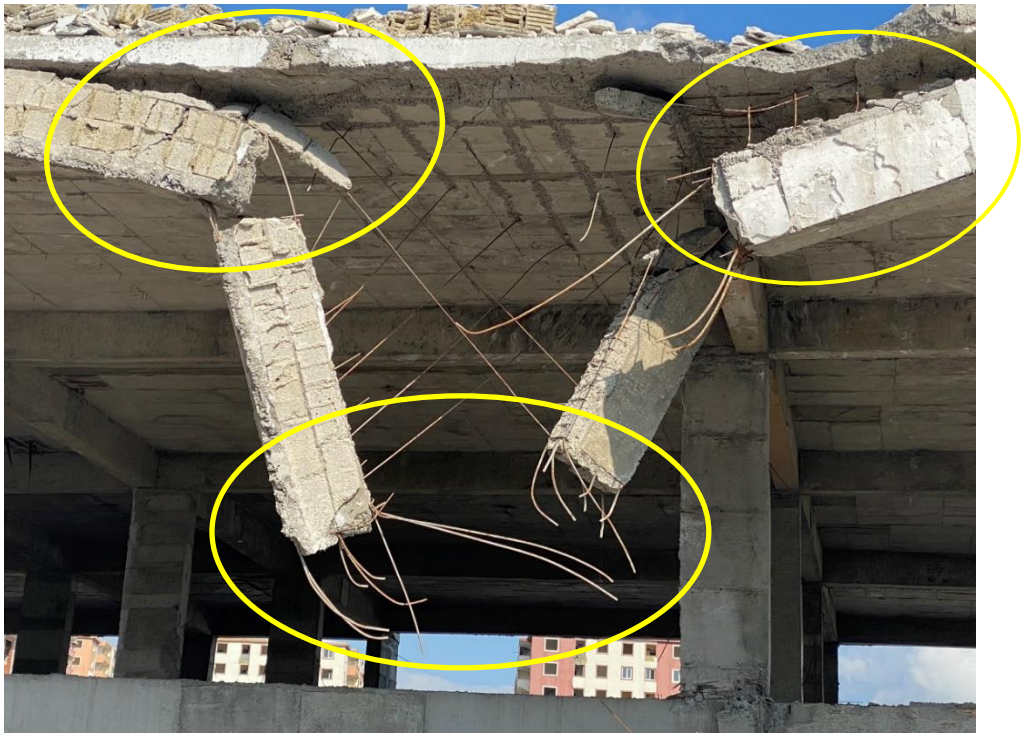
Zona de daños importantes en un edificio de 2 niveles, debido al impacto del edificio colindante.
Restos del edificio colapsado que se impactó contra la estructura de dos niveles.

e)

f)

g)

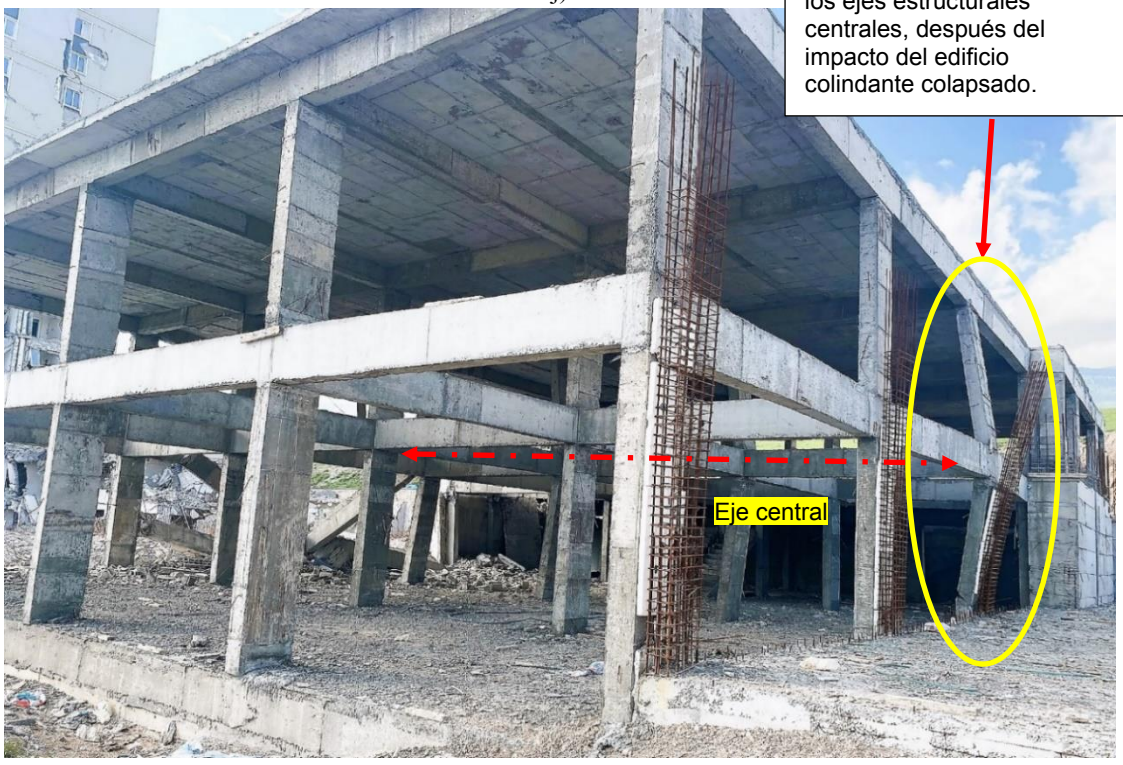
h)



i)

Notas: Los detalles de daños de las columnas y vigas del edificio de concreto reforzado de dos niveles afectados por el colapso e impacto del edificio colindante, ubicado al lado izquierdo, muestran que el diseño y detallado de los armados longitudinal y transversal presenta deficiencias importantes, sin refuerzo transversal en los extremos y zonas de los nudos de columnas, incluyendo el trabajo poco monolítico (mala unión entre los armados) entre la viga respectiva y la losa del segundo nivel, así como también un concreto de mala calidad, varillas lisas de alta resistencia, etc.

j)



k)

Figura 3.3.24 Detalles de daños importantes en columnas y vigas de los primeros ocho pisos de un edificio de concreto reforzado de 16 niveles y de otro edificio de dos niveles (ver recuadros amarillos), ambas estructuras afectadas por el colapso e impacto del edificio colindante, zona de Kahramanmaras. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.3.4.12. Agrietamiento tipo de muros de fachada, a base de mampostería mal confinada y mal ligada, edificios de varios entrepisos

En la Figura 3.3.25 se muestran daños en muros de mampostería de un edificio de varios niveles.

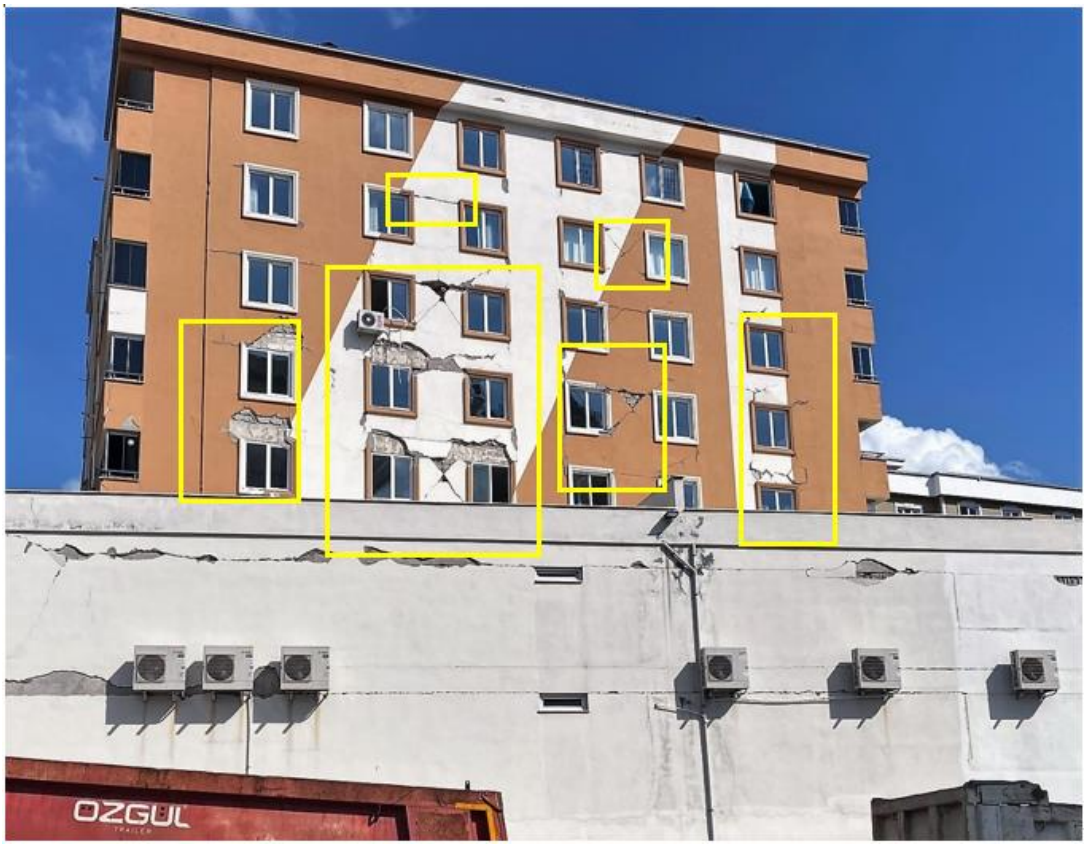


Figura 3.3.25 Tipo de agrietamiento inclinado en los muros de mampostería de varios entrepisos (ver recuadros amarillos), pertenecientes a un edificio alto estructurado con marcos de concreto reforzado, aparentemente muy flexibles ante los efectos laterales del sismo, zona de Kahramanmaras. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.4. Pazarcik

3.4.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

La ciudad de Pazarcik se encuentra en la parte sur de la provincia de Kahramanmaras (ver Figura 3.4.1). Por su importancia para atender las emergencias inmediatamente tras la ocurrencia de un sismo, en este trabajo se discute, de manera especial, el comportamiento de hospitales. Se comenta lo observado en diversos hospitales que se visitaron durante el recorrido.

De acuerdo con un testimonio de la persona encargada de un hospital, el gobierno turco decidió que todo hospital de más de 100 camas estuviera aislado sísmicamente. Esta es una decisión reciente, sin que los autores tengan conocimiento de su fecha de instrumentación. Es por ello que todo hospital reciente (o "nuevo") se espera que esté diseñado con aisladores de base.

Figura 3.4.1 Posición geográfica de la ciudad de Pazarcik. *Fuente: Google Maps (2023q).*

3.4.1.1. Hospital

Durante la visita a la ciudad de Pazarcik se hizo un recorrido por el Hospital Estatal de Pazarcik; en la Figura 3.4.2a) a e) se muestran varias vistas de la fachada principal y del conjunto. En la Figura 3.4.3 se pueden apreciar los aspectos más importantes de la fachada posterior. En la Figura 3.4.4 se muestra en planta una imagen de la distribución de los diversos cuerpos del mismo hospital.

a)

b) c)

d) e)

Figura 3.4.2 Vistas del conjunto y de la fachada principal del Hospital Estatal de Pazarcik. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

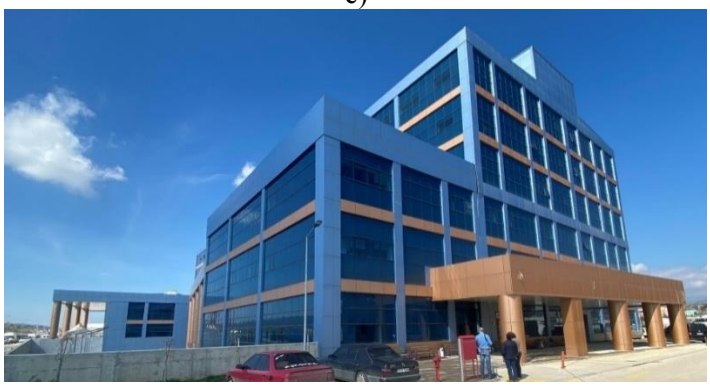
a)

b)

c)

d)

e)



f)

Figura 3.4.3 Vistas de la fachada posterior. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.4.4 Plano general de la distribución en planta de los diversos cuerpos del mismo hospital. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.4.2. Aceleraciones máximas registradas

En la Figura 3.4.5 se describe esquemáticamente la ubicación de las estaciones sismológicas 4614, 4615 y NAR (NAR es el nombre de la estación sismológica tal cual y como se presenta en la base de datos), así como la posición del edificio hospitalario visitado, correspondientes a la ciudad de Pazarcik, al sur de la provincia de Kahramanmaras.

Posteriormente, en la Tabla 3.4.1 se tienen los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA), donde se indica que en la estación 4614 se registraron las máximas aceleraciones del suelo durante el temblor principal del 06 de febrero de 2023. Es importante mencionar que la misma estación 4614 es la más cercana al edificio de interés, por lo que los registros obtenidos en dicha estación pueden ser representativos de lo ocurrido en el sitio del hospital.

Como referencia, en la Figura 3.4.6 se muestran los registros de los acelerogramas obtenidos en la misma estación 4614, haciendo ver que el temblor tuvo una duración total aproximada de 70 segundos, con una fase intensa de casi 15 segundos con PGA por arriba de 2,000 cm/s^2; solamente se presentan los registros de la estación 4614, la más cercana al edificio hospitalario y con las mayores aceleraciones registradas.

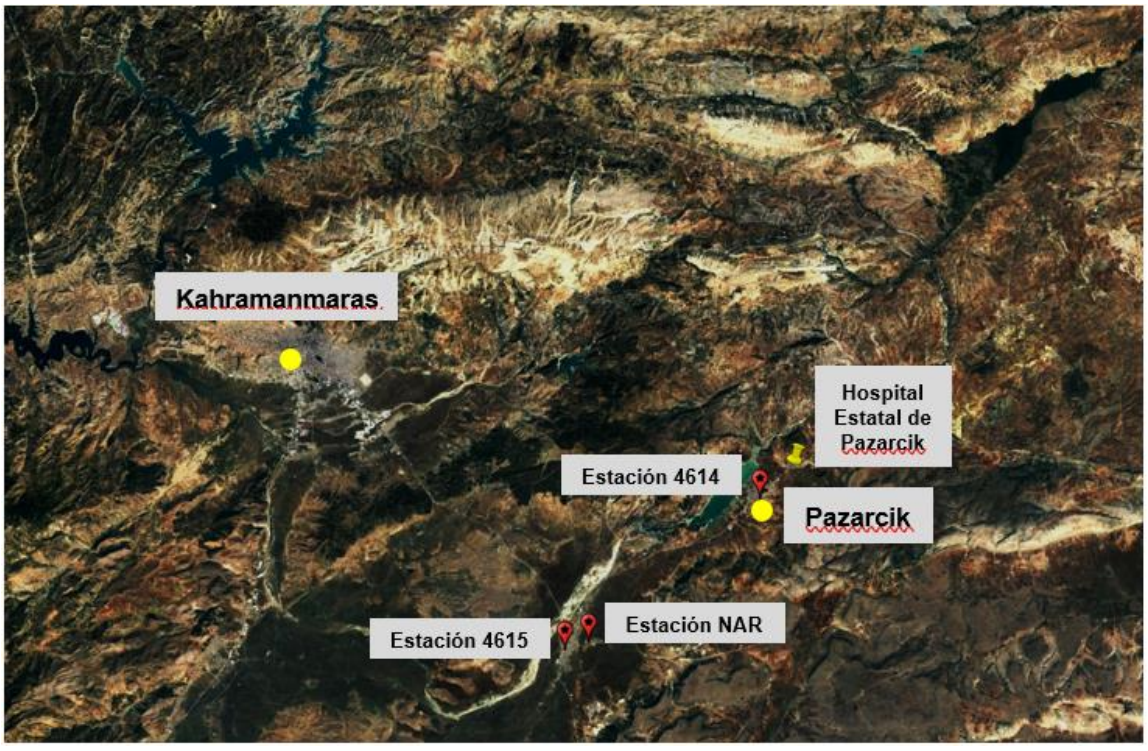


Figura 3.4.5 Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 4614 y 4615 localizadas en la ciudad de Pazarcik, dentro de la provincia de Kahramanmaras, así como del edificio hospitalario visitado en la zona. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023r).*

Tabla 3.4.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, donde se indica que en la estación 4614 se registraron las máximas aceleraciones del suelo, según el temblor principal del 06 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
4614	2017.0	2039.2	1582.6
4615	584.7	556.7	656.7
NAR	784.6	619.7	477.9

Nota: El sismo principal ocurrió el 06 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT). NAR: Nombre asignado a la estación en la base de datos. *Fuente: TADAS (s. f.).*

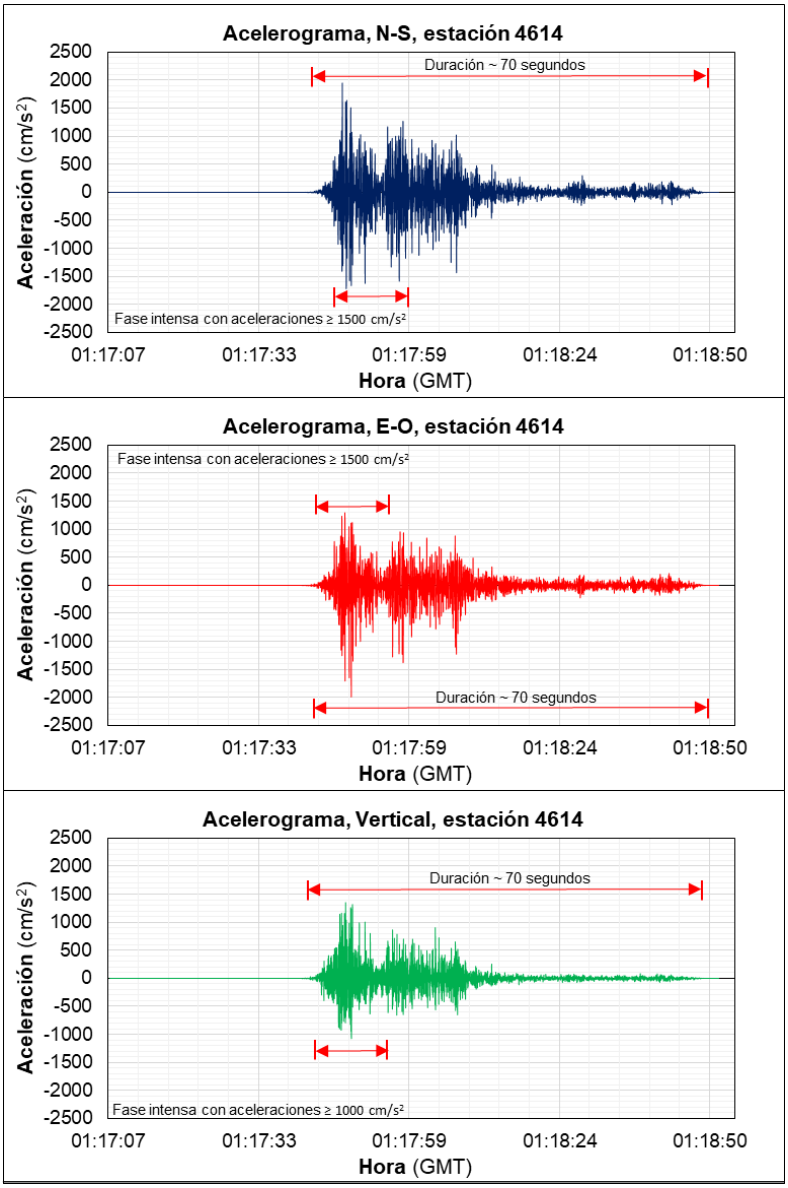


Figura 3.4.6 Registros de aceleraciones de la estación 4614, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.4.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

Después, la Tabla 3.4.2 presenta el resultado reportado del periodo dominante del movimiento del suelo (T_s), correspondientes al sitio de la estación sismológica 4614; la información no se encuentra disponible para las estaciones 4615 y NAR. Con base en estos datos y los valores reportados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30} (m/s), se concluye que las condiciones de los sitios de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas); lo anterior se pudo corroborar durante nuestros recorridos respectivos.

Tabla 3.4.2 Periodos dominantes del movimiento del suelo, donde se concluye que las condiciones del suelo es tipo duro (equivalente a tipo Lomas en la Ciudad de México), según la ubicación de las estaciones sísmicas instaladas en las zonas de interés*

Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
4614	37.29775	37.48513	0.32	541	DURO^{+} [ZC]
4615	37.38676	37.13803	(-)	484	DURO^{+} [ZC]
NAR	37.3919°	37.15740	(-)	(-)	(-)

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017. *Fuente: TADAS (s. f.).*

La Figura 3.4.7 compara los espectros de seudo-aceleraciones de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas 4614, 4615 y NAR, respectivamente, instaladas en la ciudad de Pazarcik, según su ubicación de la Figura 3.4.5; en estas figuras se tabulan los periodos de vibración asociados a los valores máximos de las aceleraciones espectrales de las componentes N-S, E-O y Vertical, para fines ilustrativos. La Tabla 3.4.3 describe un resumen de las máximas seudo-aceleraciones espectrales, donde se corrobora que en el sitio de la estación 4614 se presentan los resultados más críticos; como se comentó previamente, esta estación se encuentra muy cercana al hospital en estudio. Cabe comentar que, según los valores reportados máximos, los resultados de la estación 4614 son extraordinariamente altos, prácticamente para cualquiera de las tres componentes.

Posteriormente, como referencia, la Figura 3.4.8 presenta la comparación de los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones para amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas 4614, 4620 y NAR (componentes horizontales) con mayores niveles de excitación, a raíz de los efectos del sismo principal del 6 de febrero contra los espectros elásticos de diseño para diferentes zonas sísmicas que contemplan los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, y TBDY 2018, de acuerdo con las zonas de interés de la ciudad de Pazarcik. Las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés quedan bastante por arriba de los niveles de diseño, sin importar la versión TDY o TBDY del Reglamento.

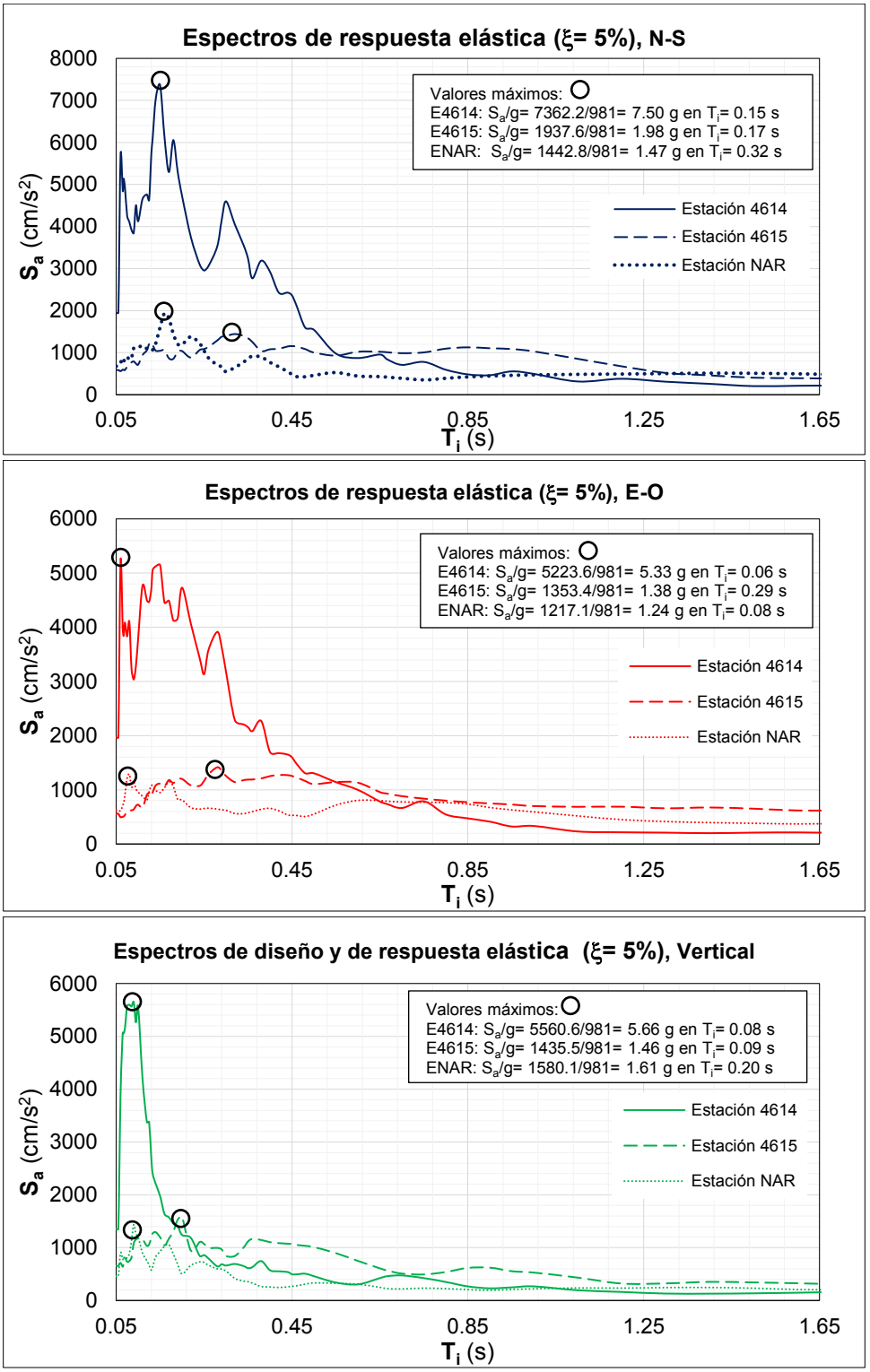
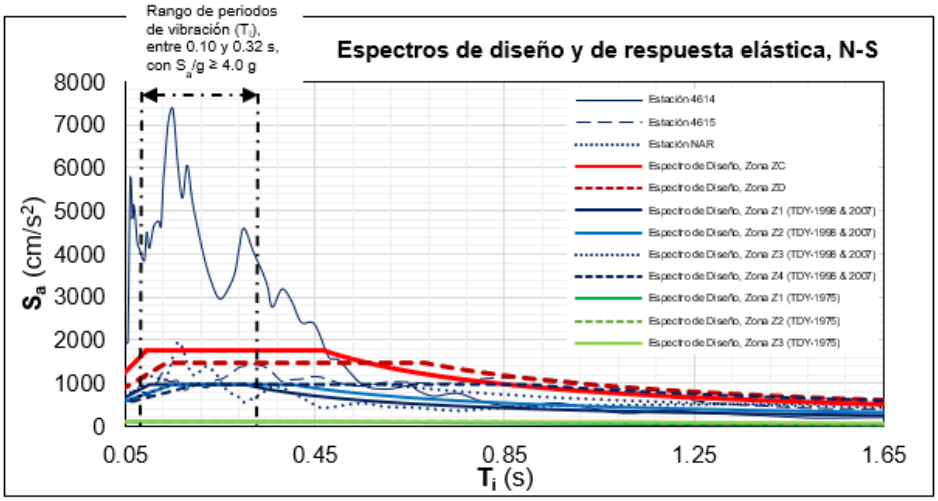


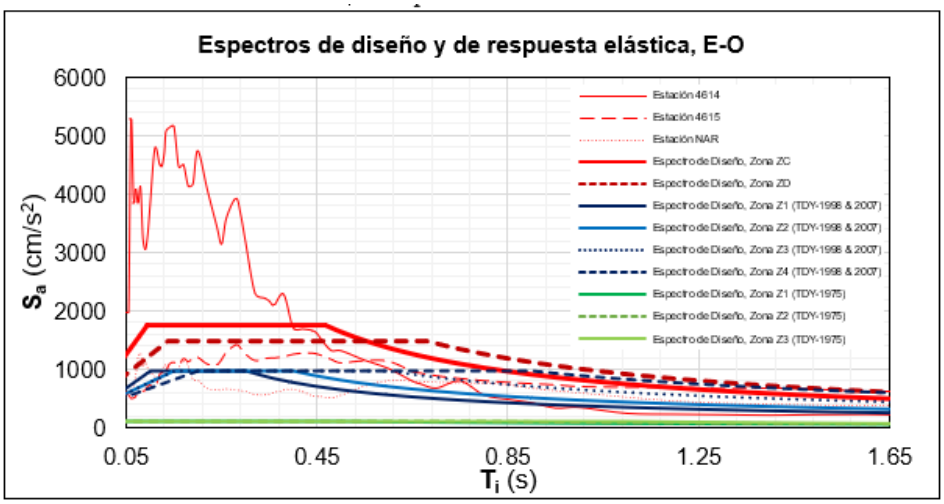
Figura 3.4.7 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para las estaciones sismológicas 4614, 4615 y NAR, ciudad de Pazarcik. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.4.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sismológicas 4614, 4615 y NAR, instaladas en la ciudad de Pazarcik, según se muestra en la Figura 3.4.5

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
4614	7.50	5.33	5.66
4615	1.98	1.38	1.46
NAR	1.47	1.24	1.61



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.4.8 Comparación de espectros elásticos de diseño para la zona de interés, según las versiones de los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, y TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para las estaciones sismológicas 4614, 4615 y NAR, sismo principal del 6 de febrero de 2023**.** *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Así, suponiendo que las propiedades dinámicas de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango entre 0.1 s y 1 s, es probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona de la ciudad de Pazarcik, estuvo expuesta a seudo-aceleraciones espectrales cercanas a los 7,000 cm/s^2 (ver componente N-S, estación 4614), muy superiores a los valores de diseño, previstos por el reglamento vigente a la ocurrencia del temblor; lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante nuestro recorrido al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.

Aclaración importante: surge la duda sobre la veracidad de los registros y espectros de respuesta para la estación 4614, según el TADAS; por ejemplo, para la dirección E-O reportan aceleraciones máximas del suelo (PGA) del orden de 2,039 cm/s^2, y ordenadas espectrales correspondientes de hasta 7.5 g. Los daños observados en el sitio, durante nuestra visita, no corresponden a la magnitud señalada de efectos sísmicos.

3.4.4. Daños estructurales e indicios de licuación de arenas

Se apreciaron daños tipo no estructural en los paneles de fachada (ver Figura 3.4.9), así como daños ligeros en muros divisorios y acabados (Figura 3.4.10a) a e)). De acuerdo con personal de mantenimiento del hospital, el edificio no se encuentra aislado sísmicamente.

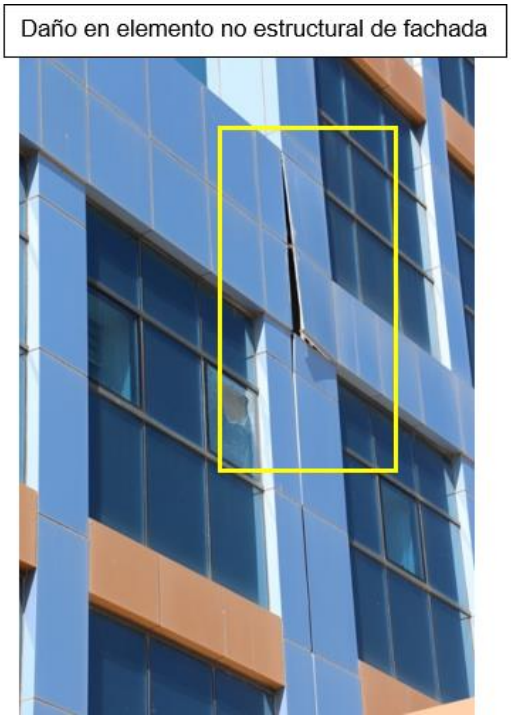


Figura 3.4.9 Tipos de daños en elementos no estructurales de fachada. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

Figura 3.4.10 Daños ligeros en elementos no estructurales. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

La Figura 3.4.11 describe los daños (agrietamiento inclinado) en muros de carga de mampostería sin dalas y castillos en ventanas y puertas, observados en un pequeño cuerpo de un nivel, anexo al edificio principal del hospital; nótese que la reparación en proceso solamente incluía resanar las grietas, sin colocar algún refuerzo adicional.

Se observaron rastros de licuación de arenas, en especial en los corredores perimetrales externos del edificio. En la zona adyacente al hospital se observó un relleno granular en proceso de construcción, lo que refuerza la idea de presencia de arenas en la zona. La Figura 3.4.12a) a o) describen los problemas relacionados con los efectos de licuación de arenas detectados en el Hospital Estatal de Pazarcik.

En las inmediaciones del hospital se tiene un asentamiento provisional hecho con casas de campaña y prefabricadas para los damnificados de los sismos (ver Figura 3.4.13). Este edificio también se trata en el subcapítulo 4.2.3.1.

Figura 3.4.11 Reparación de daños (agrietamiento inclinado) en muros de carga de mampostería sin dalas y castillos en ventanas y puertas, solamente resanando las grietas, sin colocar algún refuerzo adicional, pequeño cuerpo de 1 nivel anexo al edificio principal del hospital. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a) b)

c)

d)

e)

f)

g)

h)

i)

j)

k)

Material granular (arenas) en frente del hospital

l)

m)

Material granular (arenas) en frente del hospital

n)

o)

Figura 3.4.12 Diversas vistas de los rastros observados de los efectos de licuación de arenas en la zona del hospital de Pazarcik. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

Figura 3.4.13 Casas de campaña de damnificados adyacentes al hospital. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.5. Gölbaşi

3.5.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

La población de Gölbaşi se encuentra en la provincia de Adiyaman, entre las ciudades de Malatya y Gaziantep (ver Figura 3.5.1). De acuerdo con datos de 2021, tiene una población de poco más de 33 mil personas.

Figura 3.5.1 Ubicación geográfica de la ciudad de Gölbaşi. *Fuente: Google Maps (2023s).*

3.5.2. Aceleraciones máximas registradas

En la Figura 3.5.2 se muestra de manera esquemática la ubicación de la estación sismológica 0208 que cuenta con información de importancia; se tiene, también, la zona de los edificios visitados correspondientes a la ciudad de Gölbaşi, según se presentan posteriormente (ver Figuras 3.5.6a) a e)).

La Tabla 3.5.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas (PGA) registradas en la estación 0208, según el temblor principal del 6 de febrero. En relación con la información reportada en la estación 0208, tomando en cuenta que las magnitudes de las aceleraciones no corresponden, en principio, con los daños que se observaron en la zona visitada, suponiendo que las estructuras dañadas siguieron lo especificado en los reglamentos que rigieron en su diseño; aunado a lo anterior, nótese que la duración de los registros tienen solamente 10 s de duración, aproximadamente, cuando se ha visto que para otras estaciones en otras zonas visitadas, se tienen valores de registros con duración de 60 o más segundos. No obstante, y a falta de corroborar dicha información, se presentan en la Figura 3.5.3 los registros de los acelerogramas obtenidos en la estación de interés, haciendo ver que el temblor tuvo una duración total aproximada de 10 s, con una fase intensa de muy pocos segundos, con PGA ligeramente por arriba de 20 cm/s^2. Asimismo, en esta zona se encuentra la estación 0203, sin embargo, muestra únicamente registros de eventos de años anteriores (1986), pero, si se cuenta con información del periodo predominante del movimiento del suelo T_s y V_{s30}, la cual se decidió plasmar en este trabajo.

Figura 3.5.2 Posición esquemática de la estación sismológica 0208 localizada en la ciudad de Gölbaşi, cercana a la zona de los edificios visitados. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023t).*

Tabla 3.5.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas del suelo (PGA)* en la estación 0208, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
0208	30.20	14.00	16.97

Nota: El sismo principal ocurrió el 6 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT).
Fuente: TADAS (s. f.).

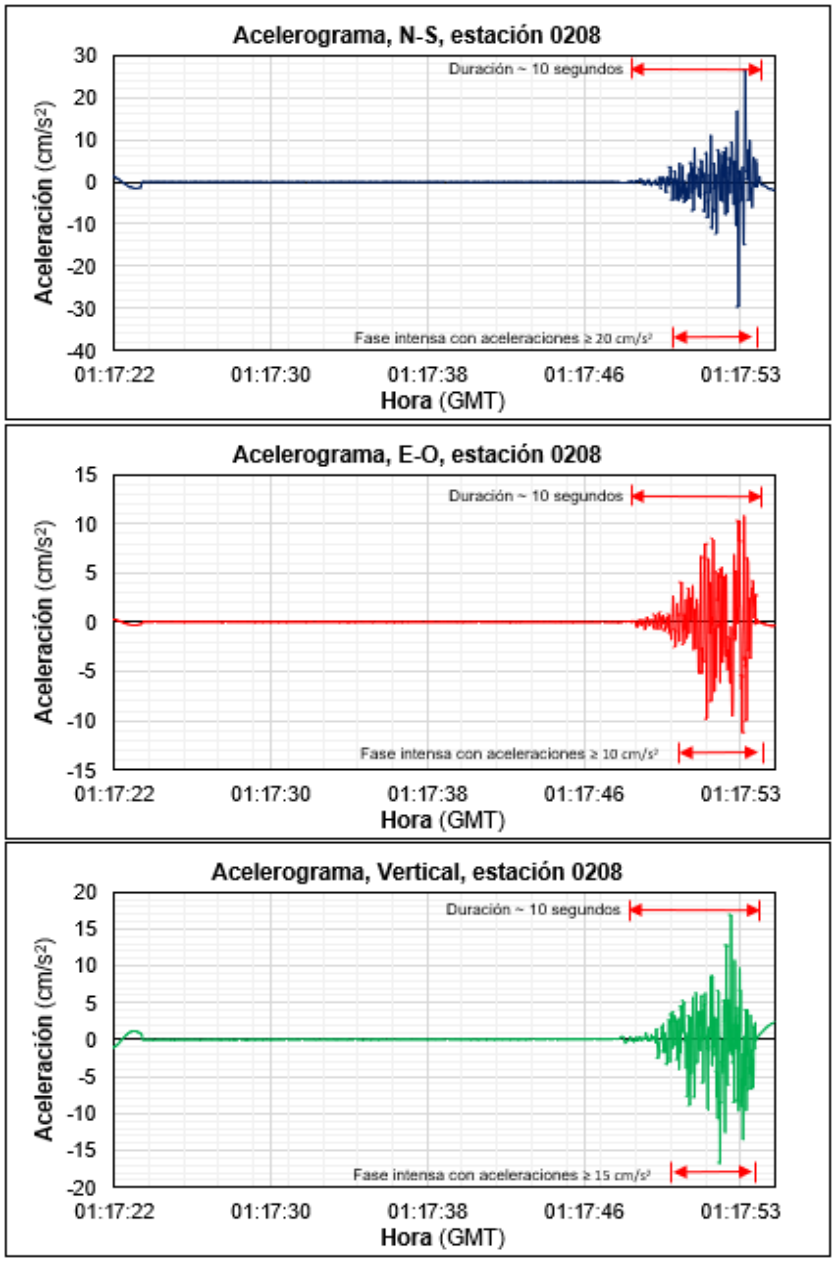


Figura 3.5.3 Registros de aceleraciones de la estación 0208, sismo principal del 6 de febrero de *2023. Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.5.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

La Tabla 3.5.2 presenta el resultado del periodo dominante del movimiento del suelo (T_s), correspondiente al sitio de la estación sismológica 0208, así como el valor promedio reportado de la velocidad de la onda de corte V_{s30}, ligeramente por debajo de los 500 m/s; con base en estos datos, podría suponerse que las condiciones de los sitios de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas de la Ciudad de México), congruente con lo observado durante el recorrido realizado.

Tabla 3.5.2 Periodo dominante del movimiento del suelo y dato reportado de la velocidad de la onda de cortante, según el perfil hasta los 30 m de profundidad, correspondiente al sitio de la estación sismológica 0208*, donde se concluye que las condiciones del suelo del sitio de interés es tipo duro (Lomas en la Ciudad de México)

Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
0208	37.78694º	37.65275º	(-)	469	DURO^{+} [ZC]
0203	37.79028º	37.66063º	0.44	384	DURO^{+} [ZC]

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); (-) Sin información en la base de datos, pero probablemente inferior a 0.5 s; $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de datos, pero probablemente inferior a 0.5 s. *Fuente: TADAS (s. f.).*

En la Figura 3.5.4 se comparan los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones, amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a la estación sismológica 0208, instalada en la ciudad de Gölbaşi, según su ubicación de la Figura 3.5.3. Estos espectros solo se muestran como información de referencia, pero que, se deberá atender lo antes mencionado, donde se dice que los resultados parecen no corresponder a un registro de aceleraciones congruente con lo observado en la zona. La Tabla 3.5.3 describe un resumen de las máximas seudo-aceleraciones espectrales de la estación 0208, haciendo ver que dichos valores son muy bajos, lo que indica que la estación tuvo una falla durante el registro de las aceleraciones máximas.

Cabe reiterar que, el registro de aceleraciones que se encuentra disponible en la base de datos del TADAS, para la estación sismológica 0208, dentro de la ciudad de Gölbaşi, no está completo y con niveles de excitación muy bajos, según la duración observada en los acelerogramas de otros sitios del evento sísmico del 6 de febrero de 2023. Por lo tanto, es muy probable que la información disponible esté incompleta. Algo similar ocurre con los espectros de respuesta elástica.

En resumen, los resultados reportados del acelerograma y sus respectivos espectros de respuesta quedan en duda.

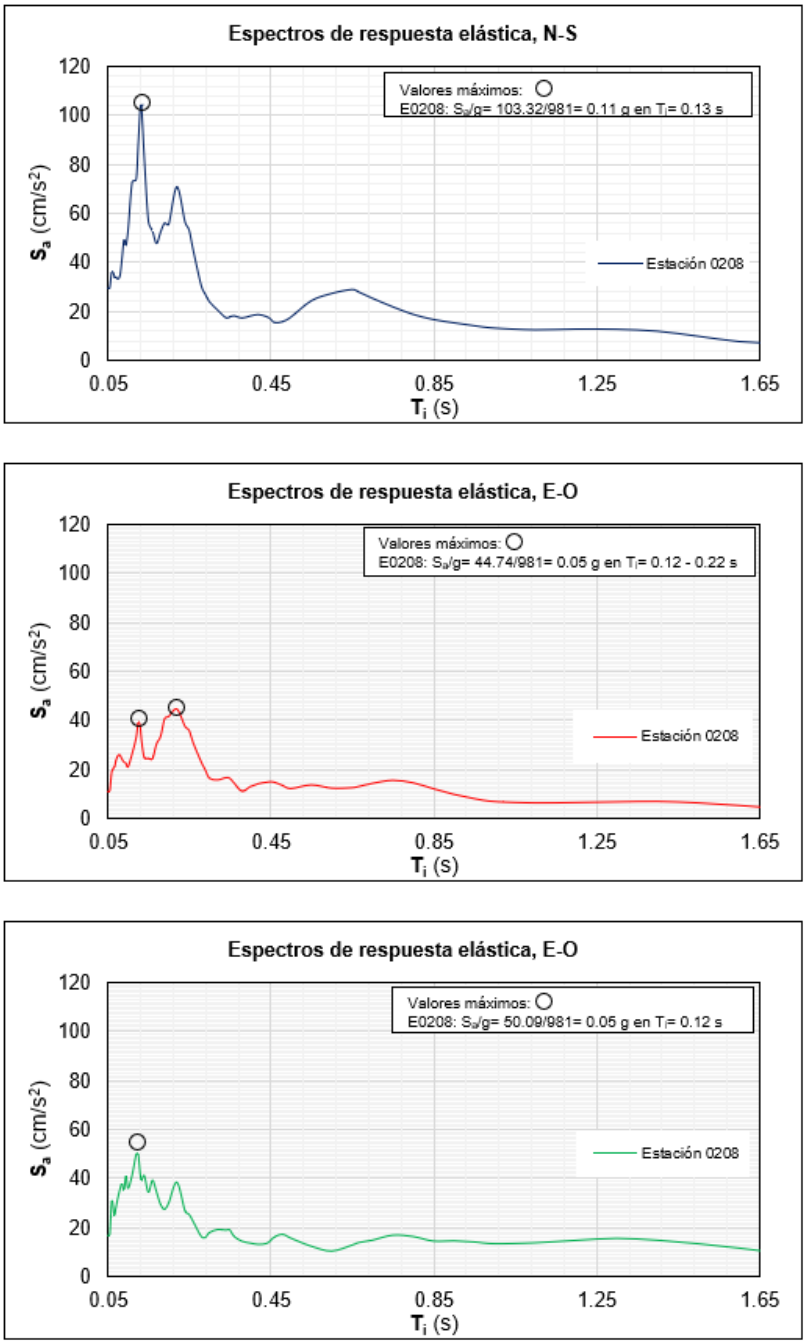
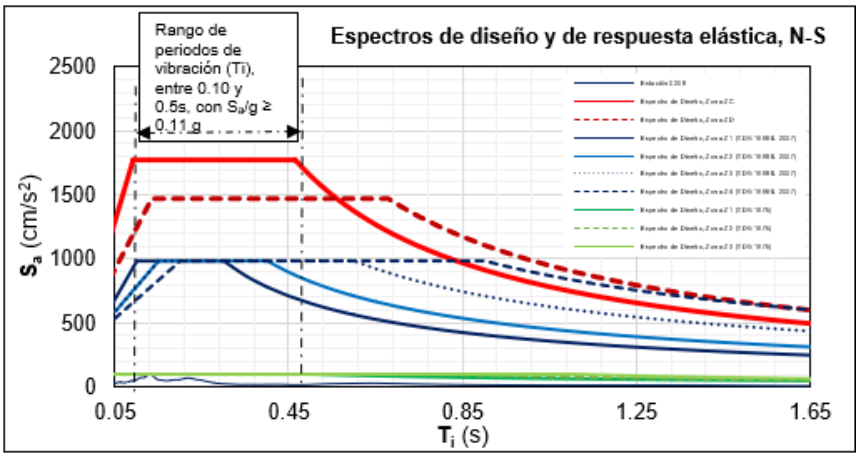


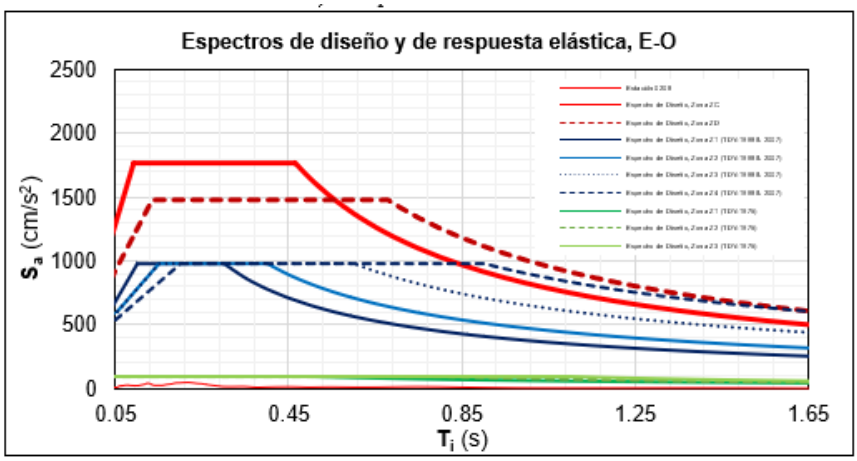
Figura 3.5.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para la estación sismológica 0208, ciudad de Gölbaşi. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.5.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a la estación sismológica 0208, instalada en la ciudad de Gölbaşi, según se muestra en la Figura 3.5.2

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
0208	0.11	0.05	0.05



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.5.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según los Reglamentos TDY 1975, TDY 1998, TDY 2007 y TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para la estación sismológica 0208 dentro de la ciudad de Gölbaşi, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.5.4. Daños estructurales e indicios de licuación de arenas

En el recorrido se observó daño muy severo en diversas construcciones y en calles, probablemente exacerbado o incluso, causado, por licuación de suelos arenosos.

3.5.4.1. Vista general del daño estructural

En la Figura 3.5.6a) a e) se muestra el tipo de daño observado en la zona. La mayoría de los edificios eran construcciones de mampostería de uno a cuatro niveles. Como en otras poblaciones turcas, los muros de mampostería, ya sean de carga o de relleno (diafragma), estaban hechos de piezas huecas de barro o de concreto, sin algún tipo de refuerzo. Usualmente los huecos de las piezas de arcilla

multiperforadas están orientadas en dirección horizontal. Esta disposición las hace especialmente vulnerables al aplastamiento de sus paredes delgadas. Su baja resistencia y capacidad de deformación incrementan la vulnerabilidad y, con ello, el riesgo de estas construcciones. Esta población también se trata en el subcapítulo 4.2.1.2.

a)

b)

c)

d)

e)

Figura 3.5.6 Vista general del daño en la población de Gölbasi. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.5.4.2. Evidencia de licuación de arenas

Una característica del daño en la población de Gölbasi fue la licuación de arenas. En la Figura 3.5.7a) a c) se muestra agrietamientos severos en la superficie de rodamiento de calles. Se observaron asentamientos totales o diferenciales en edificios adyacentes a los estratos licuados.

a)

b)

Detalle de las fotos anteriores

c)

Figura 3.5.7 Evidencia de licuación de arenas en la población de Gölbasi. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.5.4.3. Edificios de uso mixto comercial y habitacional

En la Figura 3.5.8a) y b) se presentan dos edificios de 7 pisos con daños ligeros y moderados en los primeros dos niveles. La estructura de los edificios estaba compuesta por marcos de concreto con muros diafragma. El edificio de la Figura 3.5.8b) estaba adyacente a las calles que evidenciaron licuación de arenas.

a)

b)

Figura 3.5.8 Edificios con daños ligeros y moderados de uso mixto. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.5.4.4. Detalles varios

La Figura 3.5.9 muestra tramos de barras lisas de acero de refuerzo extraídas de edificios colapsados. En Turquía era una práctica común el uso de barras lisas, hasta antes del sismo de Izmit de 1999. Tras ese sismo, se hizo especial énfasis en el uso de barras corrugadas. Se puede especular que estas barras correspondieron, entonces, a algún edificio construido anteriormente a 1999. El comportamiento de concreto reforzado con barras lisas depende de que no se alcance la resistencia a la adhesión (química) entre las barras y el concreto. Una vez que se alcanza, las barras deslizan dentro del concreto y dejan de contribuir a la resistencia y rigidez.

Figura 3.5.9 Trozos de barras lisas. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la Figura 3.5.10a) se describe el detallado de una unión viga/losa-columna. Se aprecia el uso de barras lisas, concreto de pobre calidad, poroso y seguramente de baja resistencia y rigidez (bajo módulo de elasticidad). El refuerzo longitudinal de la viga pasa por fuera del refuerzo longitudinal de la columna, y no se aprecian estribos de confinamiento.

Las columnas de los edificios frecuentemente no poseían estribos de confinamiento en cuantía suficiente. Es decir, su separación era alta y su relación volumétrica era baja (ver Figura 3.5.10b).

En la Figura 3.5.11 se muestran ejemplos tipo de daños en edificaciones de 2 a 3 niveles hechas a base de muros de carga de mampostería (las dos viviendas del lado izquierdo) y de muros de concreto con muros diafragma de mampostería (la construcción de tres niveles del lado derecho). Los muros exhibieron agrietamiento inclinado.

a)

b)

Figura 3.5.10 Ejemplos de detallados deficientes. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.5.11 Agrietamiento inclinado en muros de planta baja de edificios con muros de mampostería. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

La Figura 3.5.12a) y b) describe el tipo de estructuración común y deficiente en edificios turcos, aparentemente sin la intervención de ingenieros estructurales, donde inicialmente este inmueble era de tres niveles y posteriormente fue adicionado un nivel con muros de mampostería de bloque, sin ningún tipo de confinamiento.

a)

b)

Figura 3.5.12 Ejemplo de estructuración deficiente en edificios turcos sin la intervención de ingenieros estructurales. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

De acuerdo con información de colegas turcos, es usual que los edificios se construyan copiando los proyectos dentro de una misma población e, incluso, entre poblaciones, sin atender a condiciones especiales del suelo o del peligro sísmico de la localidad. La presencia de muros de mampostería sin elementos de confinamiento más la baja calidad de los materiales de construcción, hacen ver que los poblados visitados no estaban preparados para hacerle frente a este tipo de sismos.

La Figura 3.5.13 muestra otro caso característico de edificios turcos. Se aprecia un volado importante hacia las fachadas anterior y posterior con el claro objetivo de incrementar la superficie útil de los pisos superiores.

Figura 3.5.13 Edificio característico construido, aparentemente, sin la intervención de ingenieros estructurales. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

La Figura 3.5.14 presenta el estado de dos vehículos tras haber colapsado un edificio próximo a ellos. En la Figura 3.5.15 se ilustra un predio con escombros con una persona buscando algún objeto de valor y en la Figura 3.5.16 se observan losetas y cancelería que fueron recuperadas, aparentemente, de edificios dañados o colapsados.

a) b)

Figura 3.5.14 Vehículos dañados en zona de edificios colapsados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.5.15 Habitante en búsqueda de objetos de valor entre residuos de edificios colapsados y demolidos. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.5.16 Losetas y cancelerías recuperadas de edificios dañados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.6. Adiyaman

3.6.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

La ciudad de Adiyaman es la capital de la provincia del mismo nombre (ver Figura 3.6.1). De acuerdo con el informe de la OEP (2023), la población total de la provincia era de poco más de 635 mil personas. Del total de la población, 402 mil se encontraba entre los 15 y 64 años de edad y 213 mil entre 0 y 17 años.

Figura 3.6.1 Posición geográfica de la ciudad de Adiyaman. *Fuente: Google Maps (2023u).*

3.6.2. Aceleraciones máximas registradas

La Figura 3.6.2 ilustra esquemáticamente la ubicación de las estaciones sismológicas 0201 y 0210, así como la zona visitada al oeste de la ciudad de Adiyaman.

La Tabla 3.6.1 contiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA) para las dos estaciones sismológicas ubicadas dentro de la ciudad de Adiyaman, donde se indica que en la estación 0201 se registraron las máximas aceleraciones del suelo, según el temblor principal de 6 de febrero de 2023.

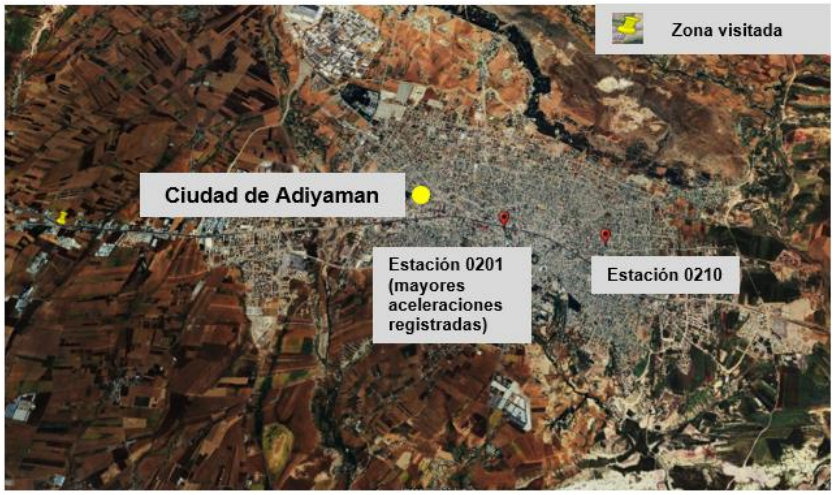


Figura 3.6.2 Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 0201 y 0210, y de una de las zonas visitadas en la ciudad de Adiyaman. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023v).*

Tabla 3.6.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, donde se indica que en la estación 0201 se registraron las máximas aceleraciones del suelo, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023, Adiyaman

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
0201	276.1	375.3	202.5
0210	53.5	45.9	33.5

Nota: El sismo principal ocurrió el 6 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT).
Fuente: TADAS (s. f.).

En la Figura 3.6.3 se presentan los registros de las tres componentes (dos horizontales y una vertical) de aceleración para la estación 0201; únicamente se muestran para esta estación, por ser la que reportó mayores aceleraciones. Los registros describen una duración total aproximada de solamente 20 segundos, con una fase intensa de pocos segundos, con PGA por arriba de 350 cm/s^2. Pero, cabe mencionar que, debido a la poca duración de estos registros es posible que esta estación hubiera tenido algún percance durante o posterior al sismo, sin embargo, las aceleraciones pueden ser representativas

del lugar; en relación con la información del sismo que ocurrió más tarde (10:24:47 GMT), no se encontró en la base correspondiente de datos. No obstante, queda la duda de este tipo de datos reportados, incluyendo la estación 0210.

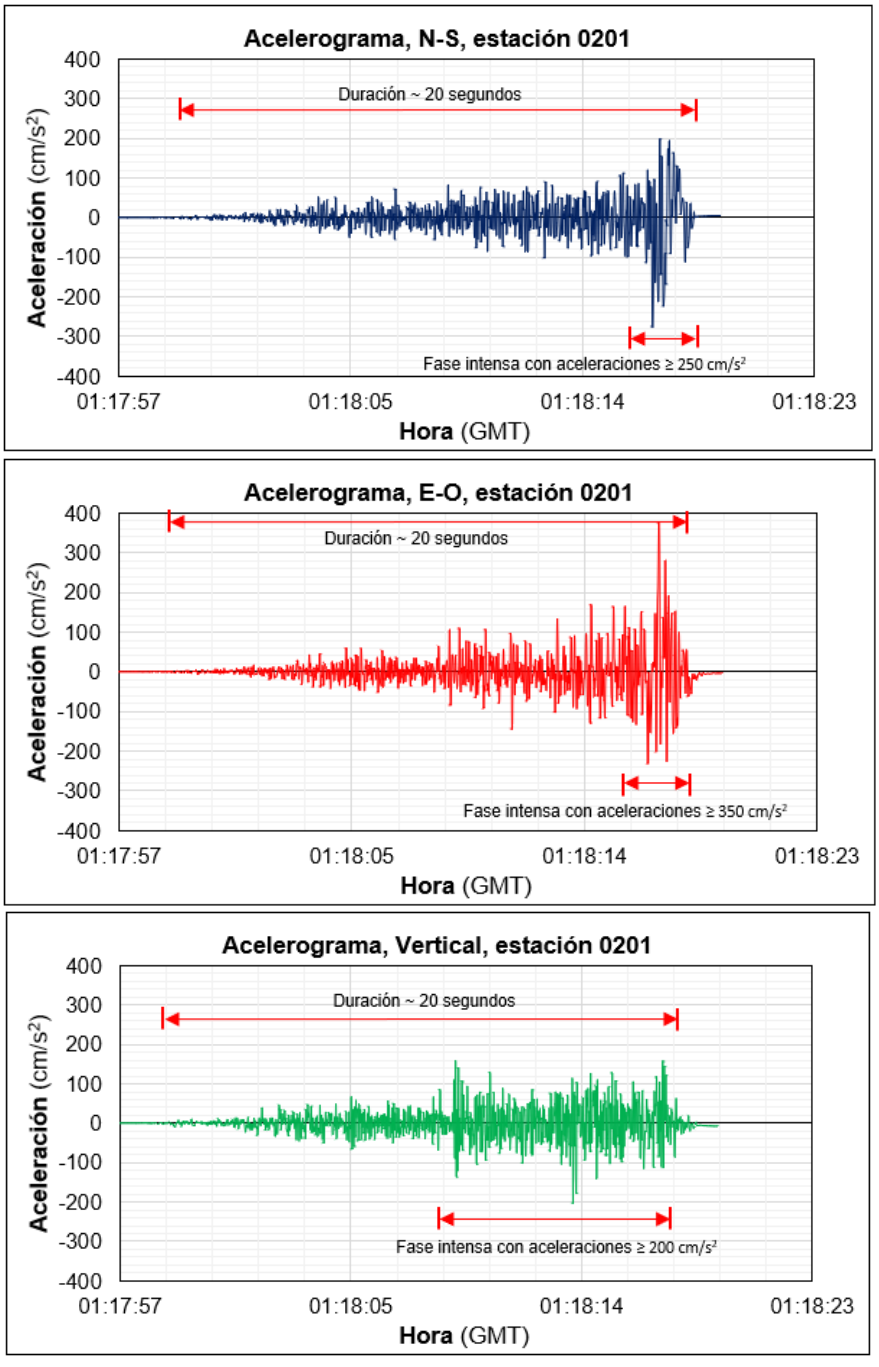


Figura 3.6.3 Registros reportados de aceleraciones de la estación 0201, sismo principal del 6 de febrero de 2023, ciudad de Adiyaman. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.6.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

La Tabla 3.6.2 presenta el resultado estimado de las velocidades de ondas de cortante V_{s30} (m/s), de acuerdo con el sitio de la estación 0201; según la clasificación del suelo en Turquía, corresponde a un suelo duro (zona de Lomas en la Ciudad de México), congruente con lo observado durante los recorridos que se realizaron. No se reportan datos de los periodos dominantes del movimiento del suelo para ambas estaciones.

Tabla 3.6.2 Resultado reportado de la velocidad de onda de cortante V_{s30} (m/s), correspondiente al sitio de la estación 0201 instalada en la zona de interés*

Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
0201	37.76121°	38.26742°	(-)	391	DURO^{+} [ZC]
0210	37.76720°	38.28660°	(-)	(-)	(-)

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de datos. *Fuente: TADAS (s. f.).*

En la Figura 3.6.4 se comparan los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones, amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas 0201 y 0210, instaladas dentro de la ciudad de Adiyaman, según su ubicación de la Figura 3.6.2, donde se tabulan los periodos de vibración asociados a los valores máximos de las aceleraciones espectrales, para fines ilustrativos; de modo similar a otras zonas visitadas, se observan este tipo de resultados para periodos cortos de vibración. En la Tabla 3.6.3 se resumen las máximas seudo-aceleraciones espectrales, haciendo ver que en el sitio de la estación 0201 se presentan los resultados más críticos; pero, queda la duda con respecto de los resultados reportados para la estación 0210, con valores bajos.

Posteriormente, la Figura 3.6.5 muestra la comparación de los espectros de seudo-aceleraciones de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, ξ= 5%) correspondientes a las dos estaciones sismológicas 0201 y 0210, a raíz de los efectos del sismo principal del 6 de febrero de 2023, contra los espectros elásticos de diseño que contemplan los Reglamentos TDY y TBDY, según las versiones: 1975, 1998, 2007 y 2018, de acuerdo con las zonas de interés. Las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés para la estación 0201 quedan bastante por arriba de los niveles de diseño de la versión TDY 1975, y ligeramente por arriba de la versión TDY 1998, suponiendo que esta última versión del Reglamento rigió para el diseño en la mayoría de los edificios con daños importantes, según el sismo de interés. No obstante, la duda que se tiene de los datos reportados para la estación 0210, las ordenadas de los espectros de respuesta respectivos apenas y son mayores al Reglamento de la versión TDY 1975. Además, cabe reiterar que, según la variación entre ordenadas de los espectros

de respuesta de ambas estaciones, queda la duda de las condiciones diferentes del terreno a lo largo de la ciudad, propiciando que se tengan mayores demandas en algunos sitios que en otros.

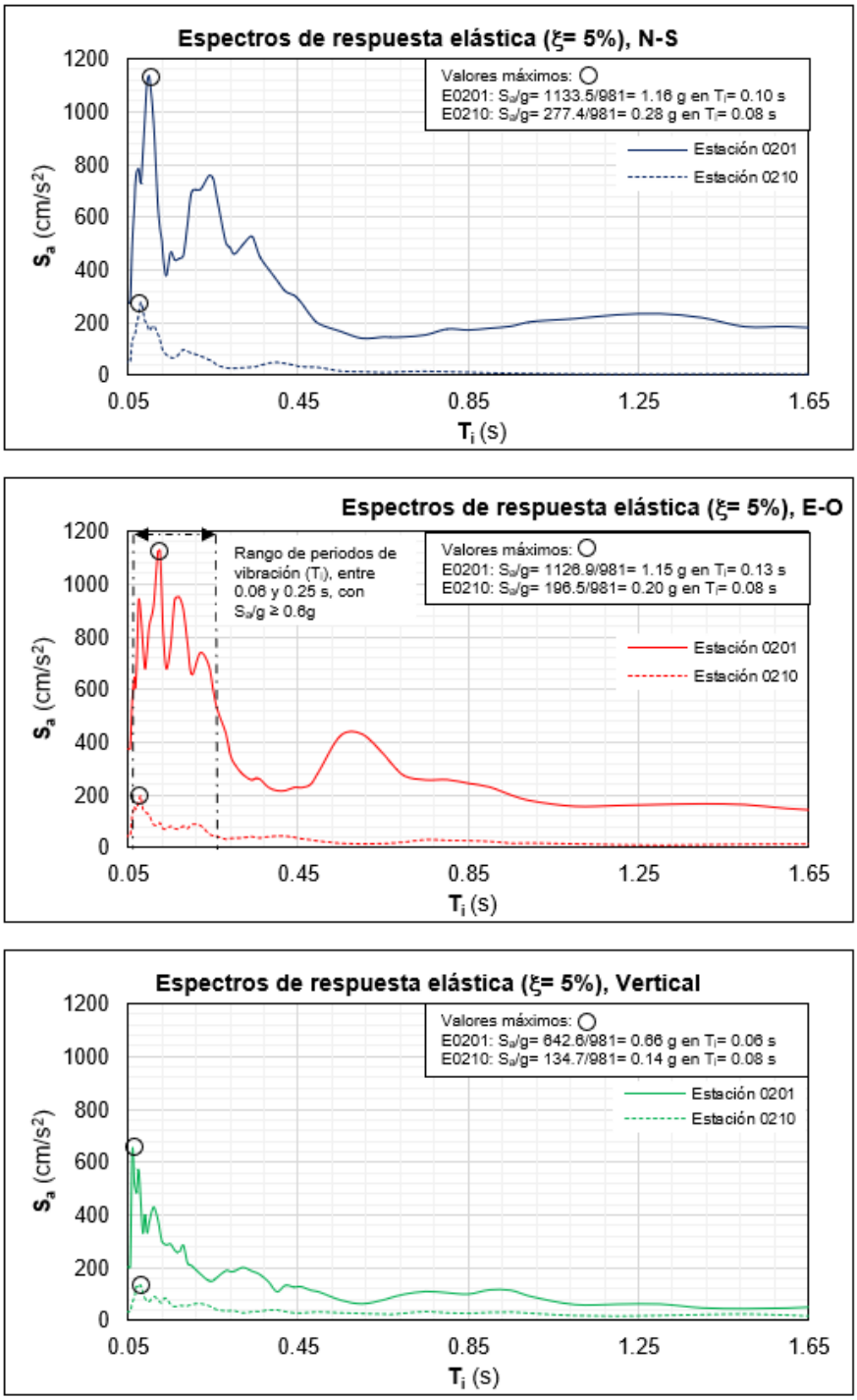
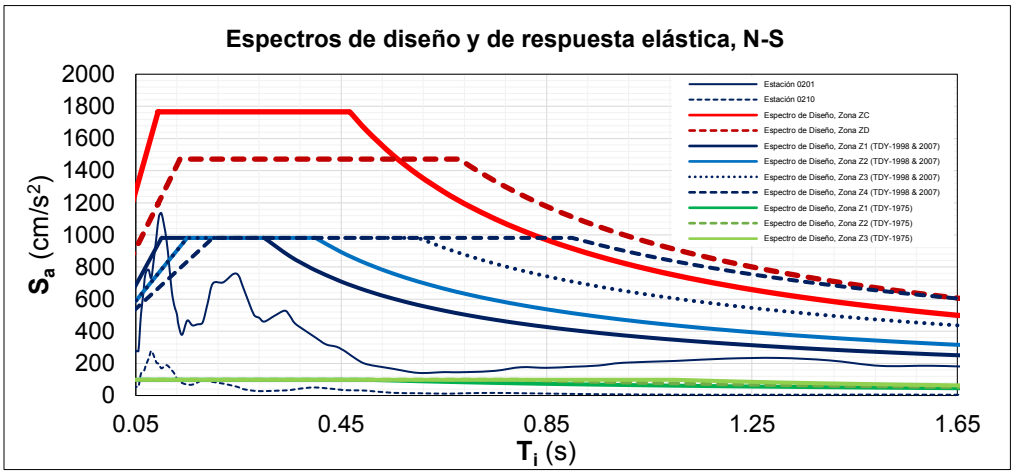


Figura 3.6.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para las estaciones sismológicas 0201 y 0210, ciudad de Adiyaman. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

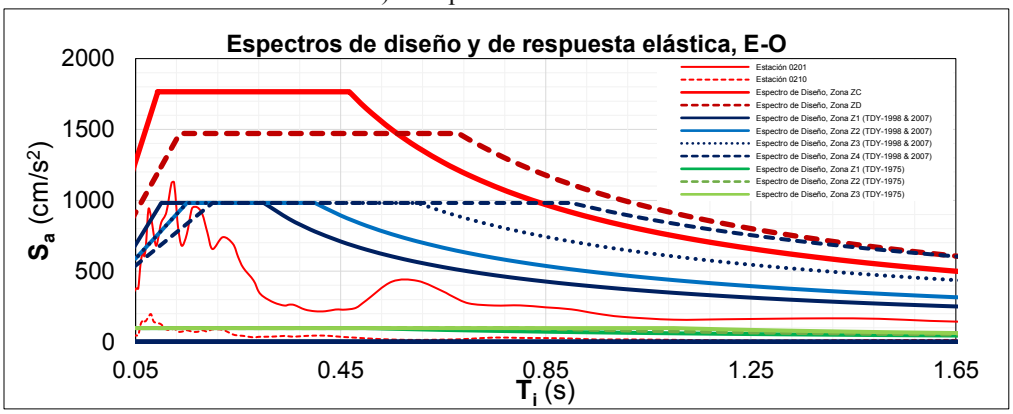
A reserva de corroborar las dudas anteriores de resultados reportados para ambas estaciones sismológicas de interés, después de observar los espectros de respuesta en las tres componentes de la Figura 3.6.4, se puede ver que aquellas estructuras en las que sus periodos fundamentales de vibración (T_1) se encuentren en el rango entre 0.1 s y 0.25 s, es probable que estuvieron expuestas a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 600 cm/s^2 (ver componente E-O, estación 0201).

Tabla 3.6.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sismológicas 0201 y 0210, instaladas en la ciudad de Adiyaman, según se muestra en la Figura 3.6.2

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
0201	1.16	1.15	0.66
0210	0.28	0.20	0.14



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.6.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, y TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica reportados para las estaciones sismológicas 0201 y 0210, dentro de la zona de la ciudad de Adiyaman, según el sismo del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.6.4. Daños estructurales

En las afueras de Adiyaman se visitó una harinera de la empresa SAFUN. La planta comprendía edificios administrativos de dos pisos (véase lado izquierdo de la Figura 3.6.6), un molino de harina, ubicado en la parte central de la fotografía, y una bodega/taller (lado derecho). El daño más severo se observó en el edificio del molino (Figuras 3.6.7a) a c)). Como se aprecia estaba construido con columnas, vigas y muros de concreto. El primer nivel estaba resuelto a base de columnas, vigas y muros de concreto reforzado. Las columnas experimentaron una falla generalizada por desplazamiento lateral (planta baja flexible/débil), lo que provocó que el edificio cayera sobre ese nivel, hacia la parte posterior. Las Figuras 3.6.8a) y b) muestran el daño total y los armados de refuerzo deficientes en varias de las columnas de planta baja. En las Figuras 3.6.9a) a d) se presenta el daño severo en el muro de concreto reforzado de fachada posterior y en columnas del piso superior en el molino de harina. En las Figuras 3.6.10a) a e) se muestran detalles del daño en la unión viga-columna de la planta baja (primer nivel) y en muros, así como detallado deficiente en la unión de muros.

Figura 3.6.6 Empresa harinera, cerca de Adiyaman. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

Figura 3.6.7 Daño severo en el molino de harina, cerca de Adiyaman. *Fuente: Archivo personal de los autores*.

a)

Extremos de columnas de planta baja con barras de diámetro pequeño y baja cuantía de refuerzo transversal, sin estribos o grapas interiores.

b)

Figura 3.6.8 Daño y detalles de armados en los extremos inferiores de las columnas del primero nivel (planta baja) del molino de harina. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

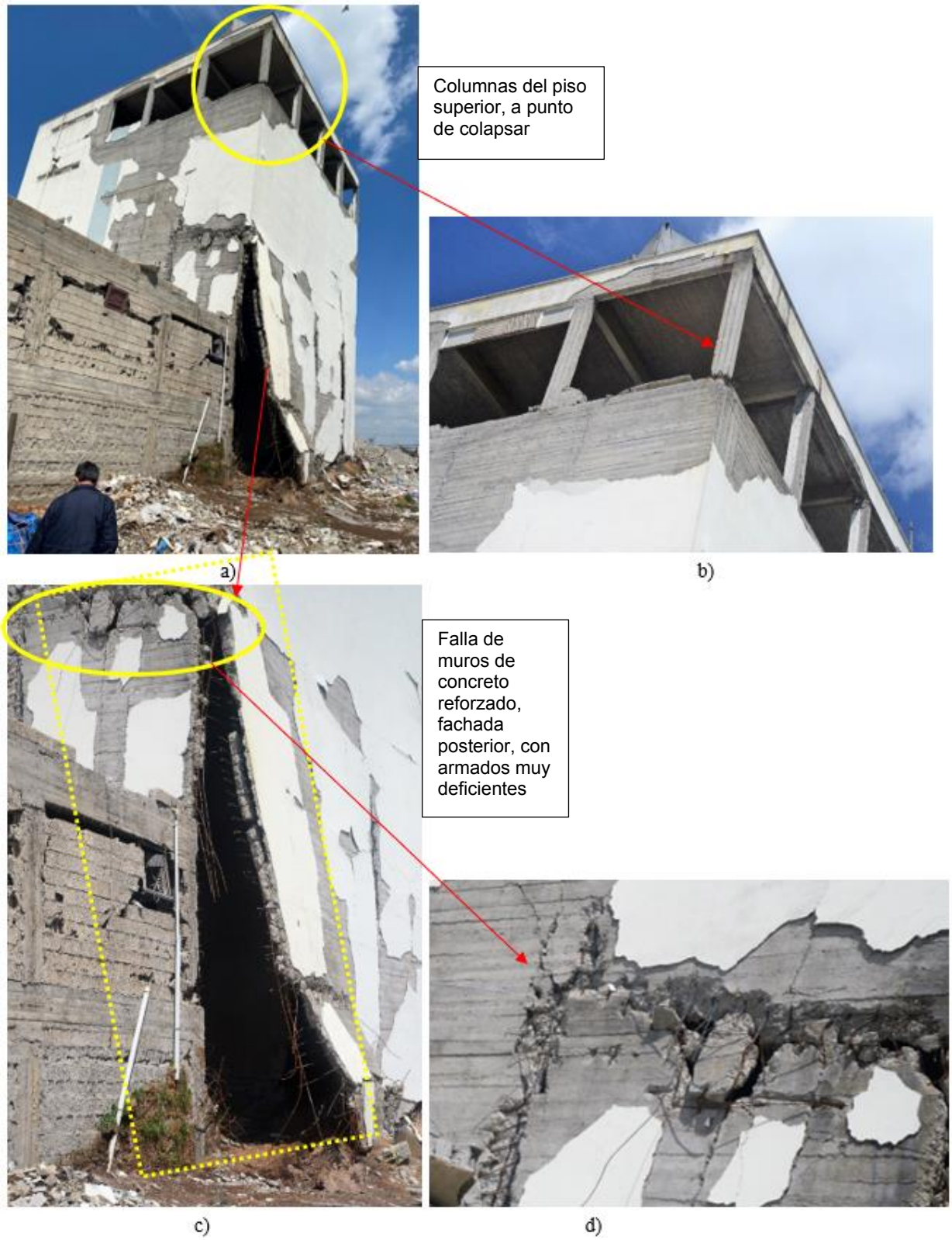


Figura 3.6.9 Daño severo en el muro de concreto reforzado de fachada posterior y en columnas del piso superior en el molino de harina. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Unión viga-columna sin refuerzo transversal

a)

Daño en muro de concreto del segundo nivel, posiblemente debido al impacto al fallar el primer piso

b)

c)

d)

e)

Figura 3.6.10 Detalles del daño en la unión viga-columna de la planta baja (primer nivel), en muros y detallado deficiente en la unión de muros. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Al igual que en otros edificios, las estructuras se construyeron con barras lisas (Figura 3.6.11). De acuerdo con testimonios del personal de la harinera, la instalación tiene del orden de 20 años, lo que coincide con las fechas en que se usaba profusamente barras lisas en Turquía. Igualmente, según esas personas: el primer sismo del 6 de febrero causó daños en los edificios; el segundo, dañó diversos tanques (Figura 3.6.12).

Figura 3.6.11 Barras lisas de refuerzo en el molino de harina, cerca de Adiyaman. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.6.12 Daños en tanques metálicos en el molino de harina, cerca de Adiyaman. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la ciudad de Adiyaman se observaron camiones que transportaban barras de acero de escombros de edificios colapsados (Figura 3.6.13).

Figura 3.6.13 Camiones que transportaban barras de refuerzo rescatadas de edificios colapsados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

La Figura 3.6.14 muestra un habitante rescatando sus muebles en un edificio con daño menor. Nótese que las cancelerías ya han sido recuperadas. Se observaron edificios de distinto tamaño y edad sin daño; posiblemente estos fueron diseñados y construidos con la participación de ingenieros (Figura 3.6.15).

Figura 3.6.14 Habitante rescatando sus muebles. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.6.15 Edificio público sin daño aparente. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Varios de los edificios en construcción evidenciaron las mismas características de los inmuebles dañados, como son columnas con relación de aspecto alta (de sección rectangular), reforzadas longitudinalmente con barras de refuerzo delgadas y deficiente acero de refuerzo transversal (Figura 3.6.16).

Figura 3.6.16 Edificio en construcción. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.7. Malatya

3.7.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

Malatya es una ciudad y distrito ubicado al sureste de Turquía, siendo, además, la capital de la provincia de Malatya, situada en la región de Anatolia Oriental de Turquía con extensión territorial de 922.16 km^2 (ver Figura 3.7.1); de acuerdo con el último reporte, la población estimada para el año de 2021 se encontraba próxima a 806,156 habitantes.

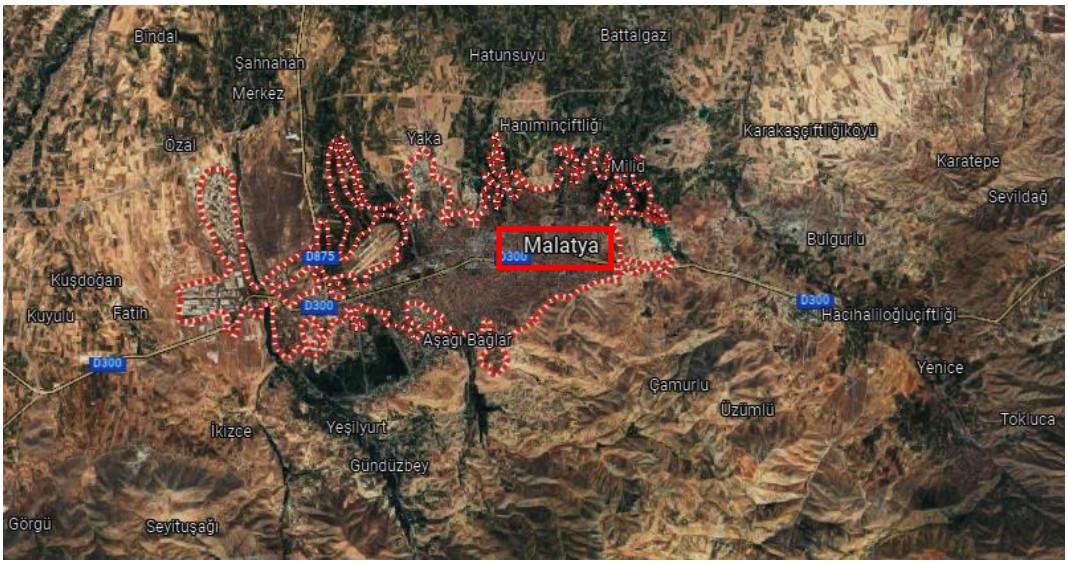


Figura 3.7.1 Ubicación geográfica de la provincia de Malatya. *Fuente: Google Maps (2023w).*

3.7.2. Aceleraciones máximas registradas

La Figura 3.7.2 describe esquemáticamente la ubicación de las estaciones sismológicas 4404, 4406, 4408, 4409, 4412, 4413 y 4414, así como la posición de los edificios visitados, correspondientes a la provincia de Malatya. Posteriormente, la Tabla 3.7.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA), donde se indica que en la estación 4404 se presentaron las intensidades superiores del movimiento del suelo, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023.

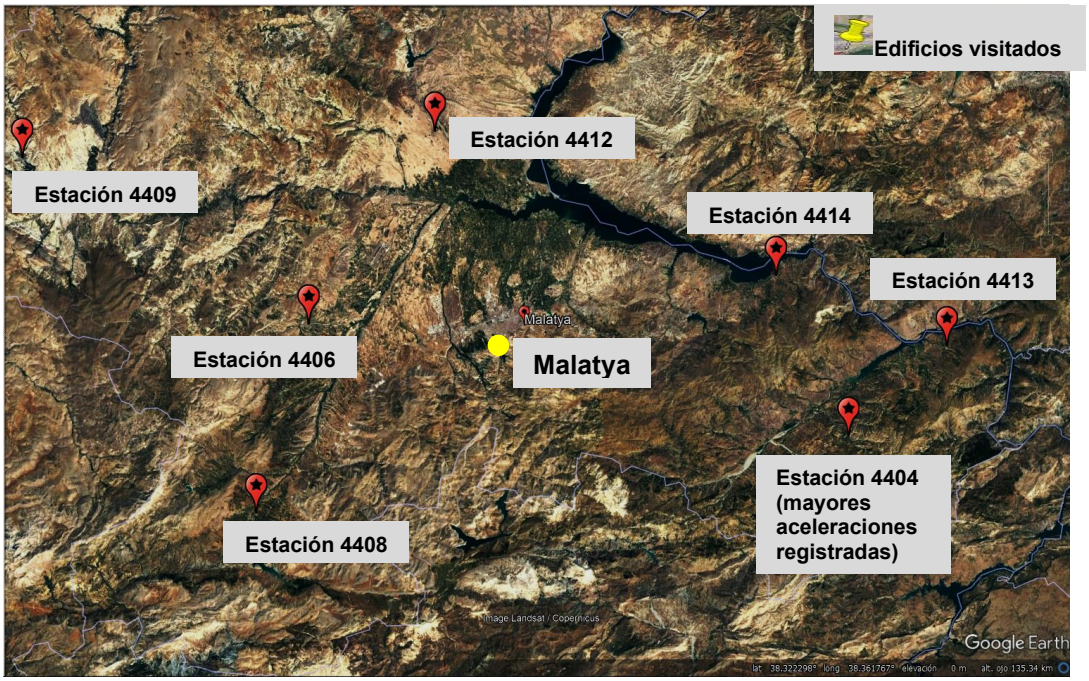


Figura 3.7.2 Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 4404, 4406, 4408, 4409, 4412, 4413 y 4414 y edificios visitados en Malatya. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023x).*

Tabla 3.7.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)* en las estaciones de interés, donde se indica que en la estación sismológica 4404 se presentaron las aceleraciones máximas del suelo, según el temblor principal del 06 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
4404	136.2	137.4	96.9
4406	108.7	131.3	50.0
4408	100.1	137.2	96.7
4409	38.0	28.5	28.0
4412	63.6	68.9	55.6
4413	13.2	10.2	17.6
4414	106.6	163.8	50.9

Nota: El sismo principal ocurrió el 6 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT)
Fuente: TADAS (s. f.).

Como referencia, solamente se muestran los acelerogramas obtenidos en la estación 4404, haciendo ver que el temblor registrado tuvo una duración total aproximada de 90 segundos, con una fase intensa de casi 15 segundos con PGA por arriba de 60 cm/s^2 (ver Figura 3.7.3), donde se presentaron las aceleraciones máximas del suelo del total de las estaciones localizadas en la provincia de Malatya.

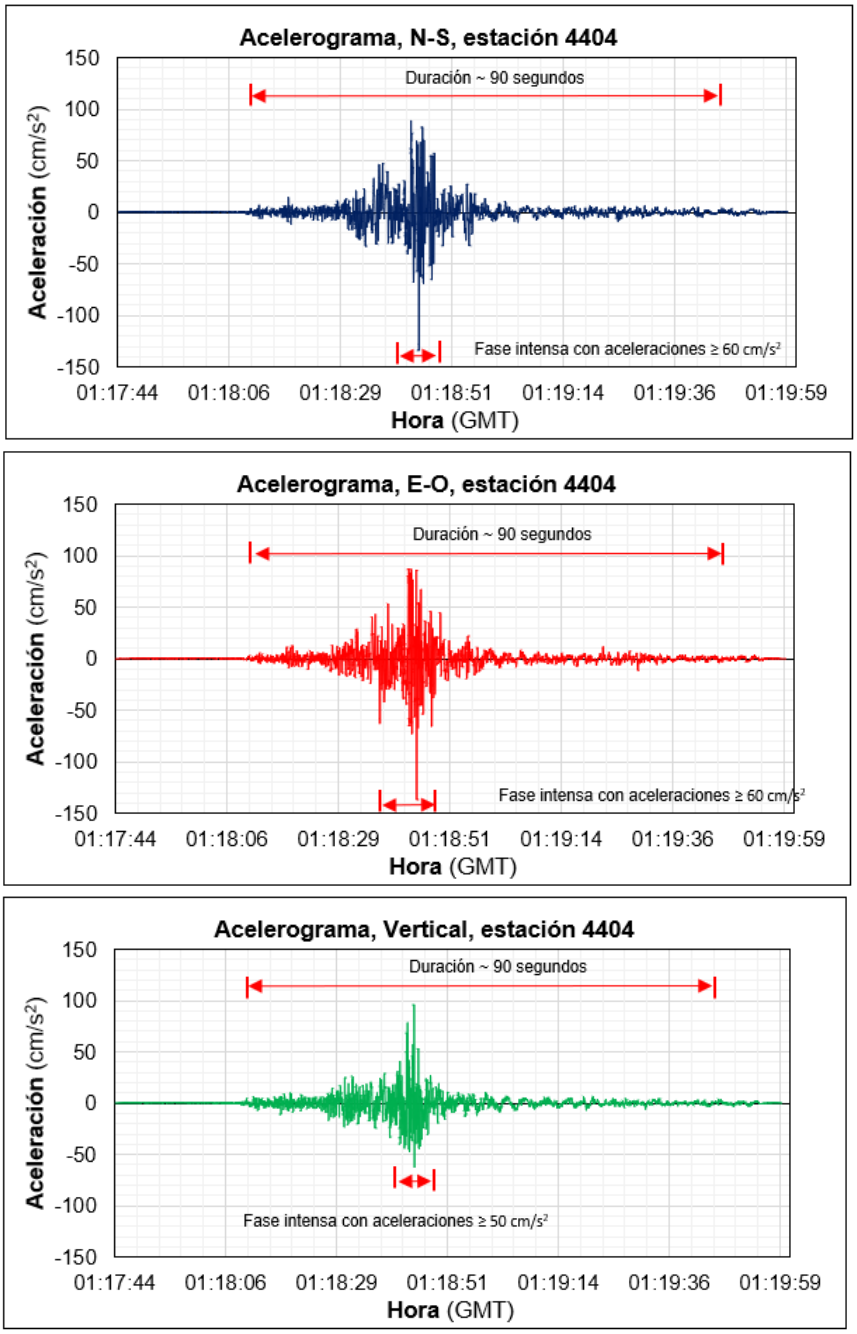


Figura 3.7.3 Registros de aceleraciones de la estación 4404 (con mayores intensidades), provincia de Malatya, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.7.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

En la Tabla 3.7.2 se presentan los resultados de los periodos dominantes del movimiento del suelo (T_s) y los valores reportados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30} (m/s), correspondientes al sitio de las estaciones sismológicas 4404 a 4414; de acuerdo con la información reportada en la base de datos del TADAS, se concluye que las condiciones de los sitios de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas de la Ciudad de México) y suelo medio para sólo uno de los casos estudiados, congruente con lo detectado durante nuestros recorridos respectivos.

En la Figura 3.7.4 se comparan los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones, amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas 4404 a 4414, respectivamente, instaladas en la provincia de Malatya, según su ubicación de la Figura 3.7.2; se tabulan para las tres componentes los periodos de vibración asociados a los valores máximos de las aceleraciones espectrales, para fines ilustrativos. La Tabla 3.7.3 describe un resumen de las máximas seudo-aceleraciones espectrales, haciendo ver que en los sitios de las estaciones 4404 y 4408 se presentan los resultados más críticos; como referencia, estas estaciones están ubicadas próximas al centro de la misma Provincia de Malatya, para fines prácticos.

Posteriormente, como referencia, la Figura 3.7.5 muestra la comparación de los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones de componentes horizontales, amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las dos estaciones sismológicas 4404 y 4408 con mayores niveles de excitación, a raíz de los efectos del sismo del 6 de febrero de 2023, contra los espectros elásticos de diseño que contemplan los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, de acuerdo con las zonas de interés de la provincia de Malatya. Cabe señalar que, las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés quedan muy por arriba de los niveles de diseño de la versión TDY 1975, pero por debajo de los Reglamentos TDY 2007 y 2018, considerando que estas versiones de Reglamento rigieron en el diseño sismorresistente de la mayoría de los edificios con daños; la consideración anterior está apoyada en el estado actual que se pudo observar durante el recorrido respectivo.

Así, suponiendo que los periodos fundamentales de vibración (T1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados), cayeran en el rango entre 0.1 s y 1 s, es probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona de la provincia de Malatya, estuvo expuesta a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 300 cm/s2 (ver componente N-S, estaciones 4404 y 4408), seguramente superiores a los valores del diseño original; lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante el recorrido al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.

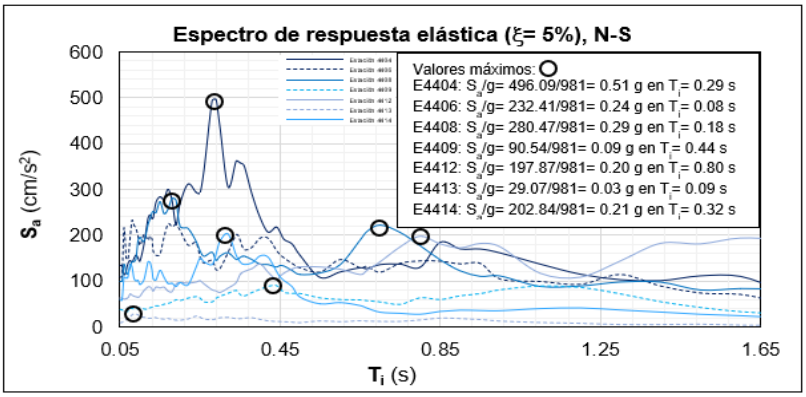
Tabla 3.7.2 Datos reportados de periodos dominantes del movimiento del suelo y de velocidades de ondas de cortante V_{s30}, de acuerdo con la ubicación de las estaciones sismológicas localizadas en la zona de Malatya*, haciendo ver que las condiciones del suelo corresponden al tipo duro (Lomas de la Ciudad de México) y suelo medio

Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
4404	38.19588°	38.87385°	(-)	1380	DURO^{+} [ZB]
4406	38.34388°	37.97378°	0.22	815	DURO^{+} [ZB]
4408	38.09616°	37.88732°	(-)	654	DURO^{+} [ZC]
4409	38.56063°	37.49076°	(-)	373**	
4412	38.59685°	38.18385°	(-)	311**	DURO^{+} [ZD]
4413	38.313533°	39.039342°	(-)	508**	DURO^{+} [ZC]
4414	38.406947°	38.754133°	(-)	418**	

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de datos, pero probablemente inferior a 0.5 s. *Fuente: TADAS (s. f.).*

Tabla 3.7.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sismológicas 4404 a 4414 (ver Figura 3.7.2), provincia de Malatya

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
4404	0.51	0.37	0.28
4406	0.24	0.32	0.16
4408	0.29	0.40	0.25
4409	0.09	0.08	0.08
4412	0.20	0.23	0.16
4413	0.03	0.03	0.04
4414	0.21	0.32	0.17



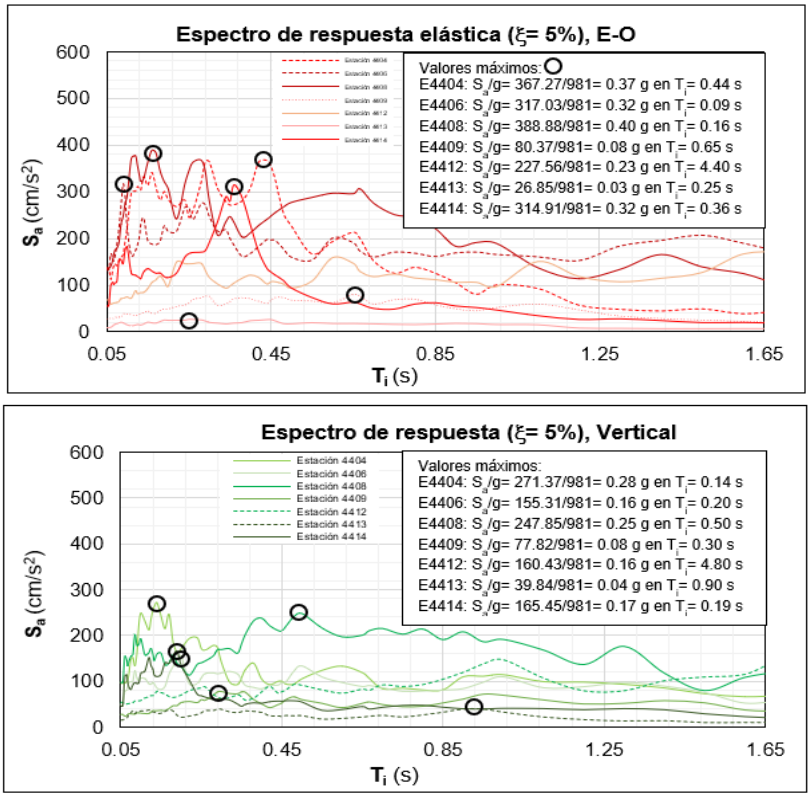
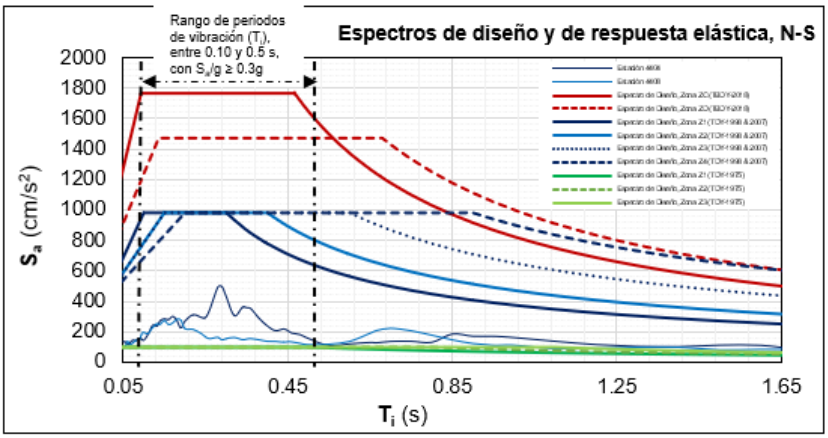


Figura 3.7.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) relacionados con las estaciones sismológicas 4404 a 4414, provincia de Malatya. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*



a) Componente Norte-Sur

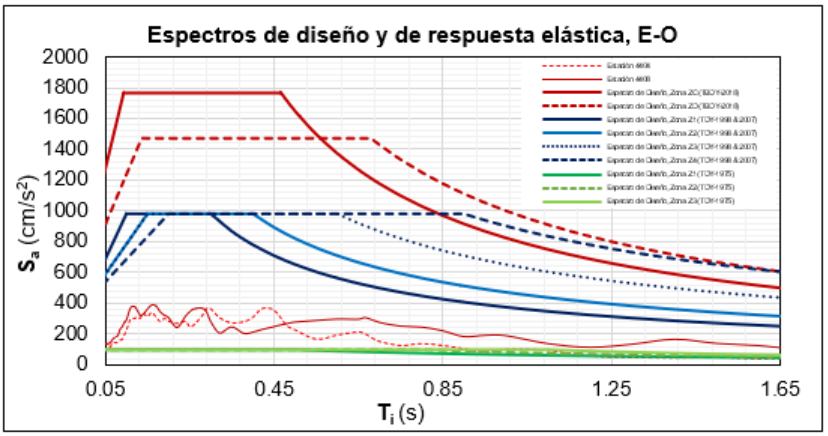


Figura 3.7.5 Comparación de espectros elásticos de diseño, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, y el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica de las estaciones sismológicas 4404 y 4408 con mayor excitación dentro de la zona de la provincia de Malatya, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.)*.

3.7.4. Daños estructurales

En las Figuras 3.7.6 a 3.7.12 se muestran fotografías de edificios dañados.

a)

b)

c)

d)

Figura 3.7.6 Vistas de la entrada a la ciudad y de edificios de 8 niveles tipo habitación, estructurados a base de marcos esbeltos de concreto reforzado con muros agrietados frágiles de mampostería simple (ver recuadros amarillos) de fachada e interiores de los entrepisos inferiores, provincia de Malatya. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figuras 3.7.7 Estado actual de dos edificios de 8 niveles tipo habitación, uno terminado y otro en etapa de construcción, estructurados a base de marcos esbeltos de concreto reforzado, donde se observan muros agrietados de los primeros entrepisos (ver recuadro amarillo) de la fachada de la construcción terminada, y sin aparentes daños estructurales en el esqueleto del edificio en proceso. En el edificio en construcción se observa desplomo de la cimbra del piso superior. Provincia de Malatya. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figuras 3.7.8 Edificio de 9 niveles resuelto con marcos de concreto reforzado y muros de mampostería que se muestran agrietados en los primeros cuatro niveles. En la azotea se aprecia el colapso parcial de muros. Provincia de Malatya. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.7.9 Edificios de 12 y 8 niveles, donde se observan muros agrietados en los primeros entrepisos (ver recuadros amarillos), sin aparentes daños estructurales en trabes y columnas, provincia de Malatya. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.7.10 Edificios de 9, 12 y 9 niveles (de izquierda a derecha) con muros de mampostería agrietados en los primeros entrepisos (ver recuadros amarillos), sin aparentes daños estructurales en trabes y columnas, provincia de Malatya. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.7.11 Vivienda de autoconstrucción de dos niveles construida con mampostería combinada de bloque y piedra, trabes y columnas de concreto reforzado. La planta alta colapsó probablemente por la falla de las columnas que al parecer se colaron por partes y sin colocar el acero de refuerzo necesario (ver recuadro amarillo), ciudad de la provincia de Malatya. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.7.12 Edificio de 5 niveles tipo habitación, donde se observa el colapso de los muros del último entrepiso dejando al descubierto la presencia de columnas esbeltas (ver recuadro amarillo), al parecer con una estructuración completamente diferente al resto de los entrepisos, ciudad de la provincia de Malatya. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.8. Antakya

3.8.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

El distrito de Antakya localizado dentro de la provincia de Hatay, siendo su capital, se encuentra situada en la región central y sur de Turquía, que comparte frontera con el país de Siria (ver Figura 3.8.1); tiene una extensión territorial de 858 km^2 y población estimada para el año de 2015 de 360,652 habitantes (la provincia de Hatay cuenta con una población de 1´670,712 habitantes, según el censo del año 2021).

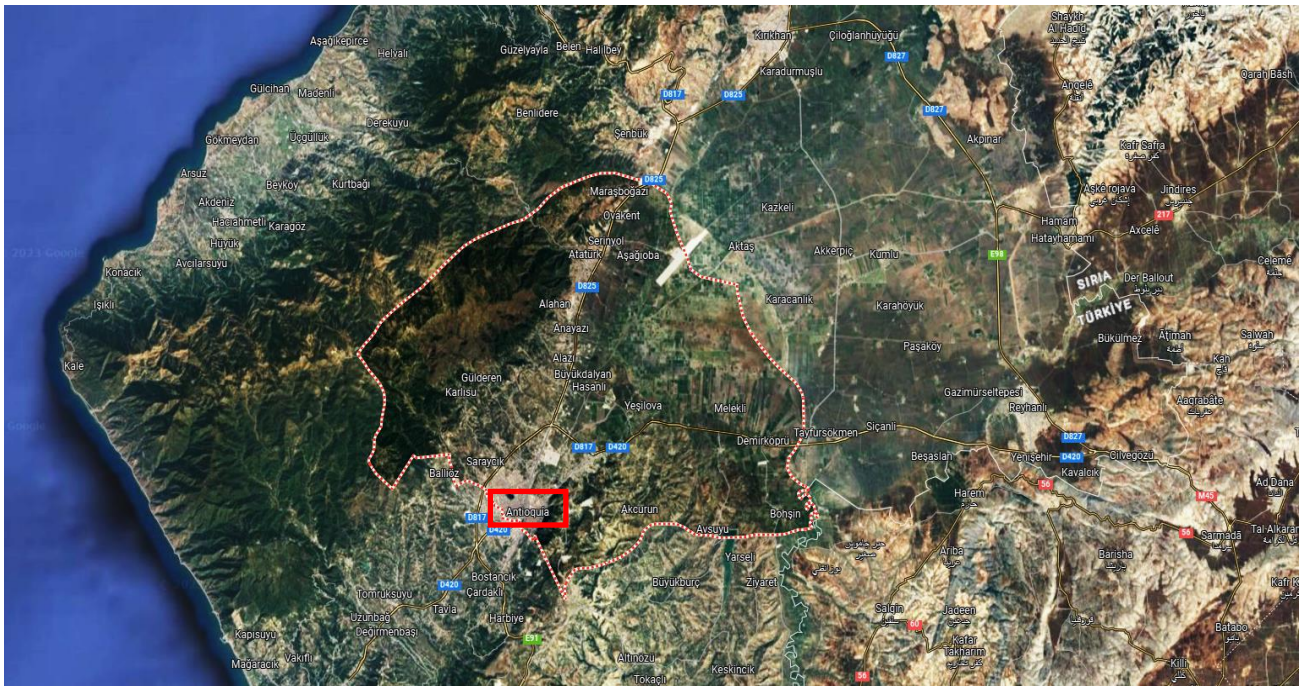


Figura 3.8.1 Vista de la ubicación del distrito de Antakya, localizado en la provincia de Hatay, en la región central y sur de Turquía, compartiendo frontera con Siria. *Fuente: Google Maps (2023y).*

3.8.2. Aceleraciones máximas registradas

La Figura 3.8.2 muestra la ubicación de las estaciones sísmicas 3124 y 3132 disponibles en la zona de interés, con reportes de interés, a raíz del sismo principal del 6 de febrero de 2023 (01:17:32, GMT); se tiene en esta imagen, también, la posición esquemática de los edificios revisados durante nuestros recorridos, cerca de la estación 3124.

La Tabla 3.8.1 tiene los resultados de las aceleraciones máximas (tres componentes) registradas en ambas estaciones sísmicas; nótese que en las dos estaciones se presentaron aceleraciones horizontales

considerables, por arriba de los 500 cm/s^2, sin descartar las aceleraciones verticales entre 354 y 578 cm/s^2, respectivamente; si acaso, para la estación 3124, componente E-O, se reportan los mayores movimientos del suelo. La Figura 3.8.3 describe los acelerogramas correspondientes de la misma estación 3124.

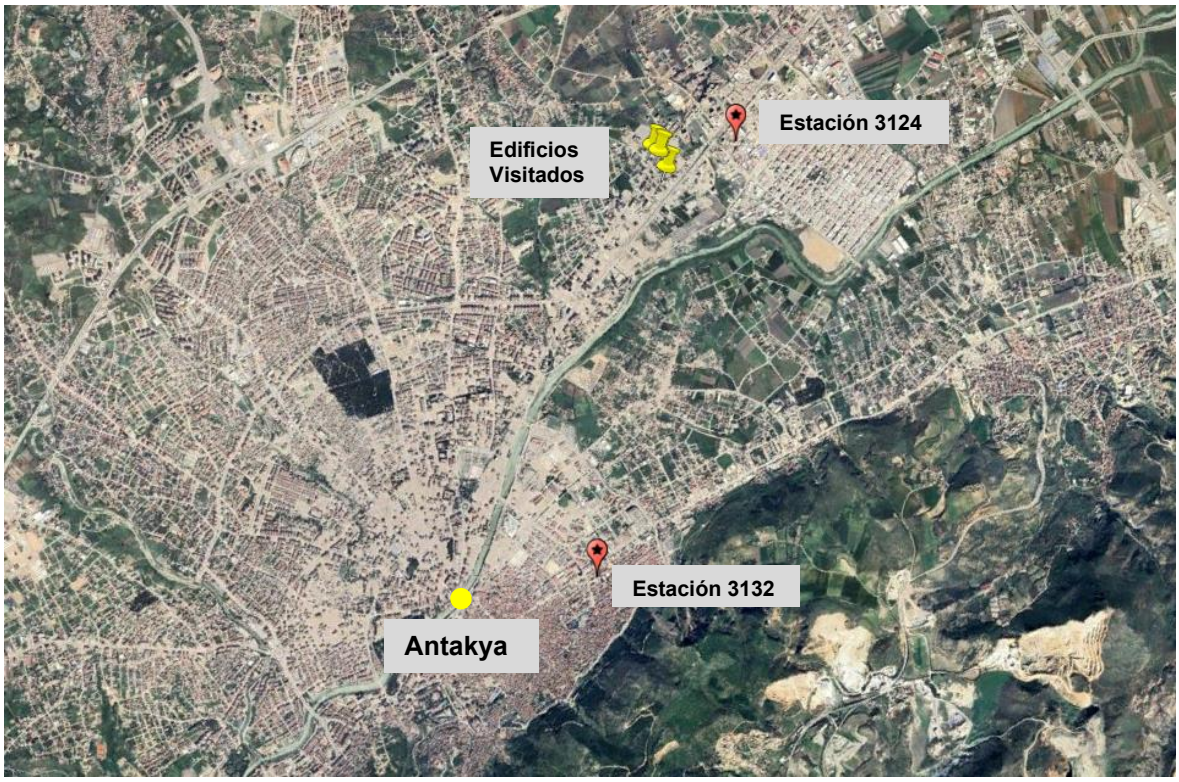


Figura 3.8.2 Ubicación de las estaciones sísmicas 3124 y 3132, así como la posición esquemática de los edificios revisados, distrito de Antakya, sismo del 6-febrero de 2023**.** *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023z).*

Tabla 3.8.1 Valores de las aceleraciones máximas (PGA) registradas en el suelo de las estaciones 3124 y 3132, distrito de Antakya, sismo principal del 6 de febrero de 2023*

Estación	Aceleraciones máximas (PGA) (cm/s^2)		
	N-S	E-O	Vertical
3124	572.6	638.3	578.1
3132	515.3	514.6	354.2

Nota: sismo principal ocurrido el 6 de febrero de 2023, 01:17:32 (GMT).
Fuente: TADAS (s. f.).

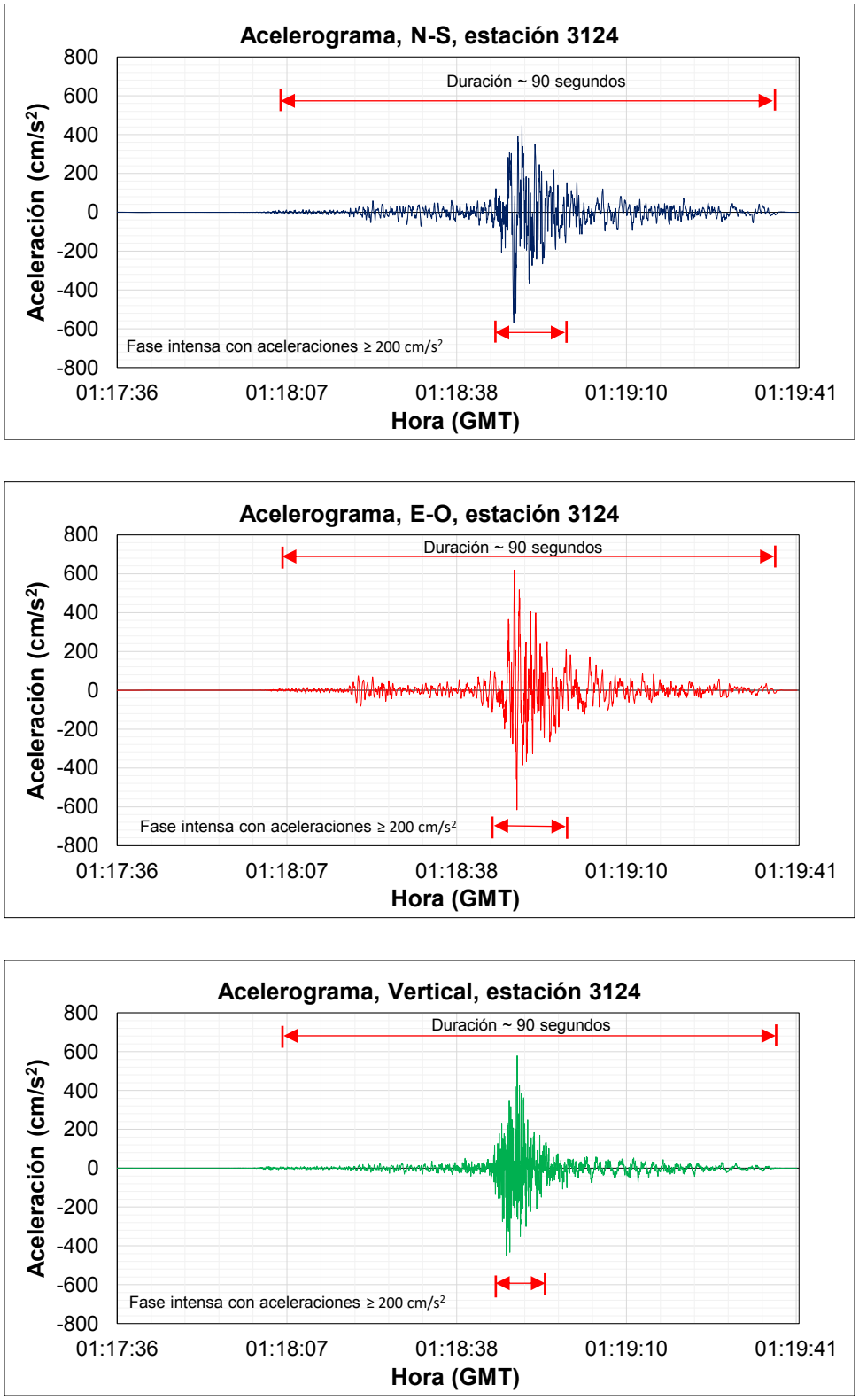


Figura 3.8.3 Acelerogramas registrados en la estación 3124, distrito de Antakya, durante el sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.8.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

En la Tabla 3.8.2 se muestran los resultados de los periodos dominantes del movimiento del suelo (T_s) de los sitios de las dos estaciones sísmicas instaladas en la zona del distrito de Antakya, incluyendo los datos reportados de las mediciones de onda de cortante V_{s30} (m/s). Se detecta que el suelo de ambas estaciones tiende a ser diferente, ligeramente más duro en el sitio de la estación 3132, sin olvidar que los edificios revisados durante los recorridos están cerca de la estación 3124.

Tabla 3.8.2 Periodos dominantes del movimiento del suelo (T_s) y datos reportados de las mediciones de onda de cortante Vs_{30} de los sitios de las dos estaciones sísmicas instaladas en la zona del distrito de Antakya*

Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	Vs_{30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
3124	36.238700	36.172200	0.813	283	TRANSICIÓN$^+$ [ZD]
3132	36.206730	36.171590	0.300	377	DURO$^+$ [ZC]

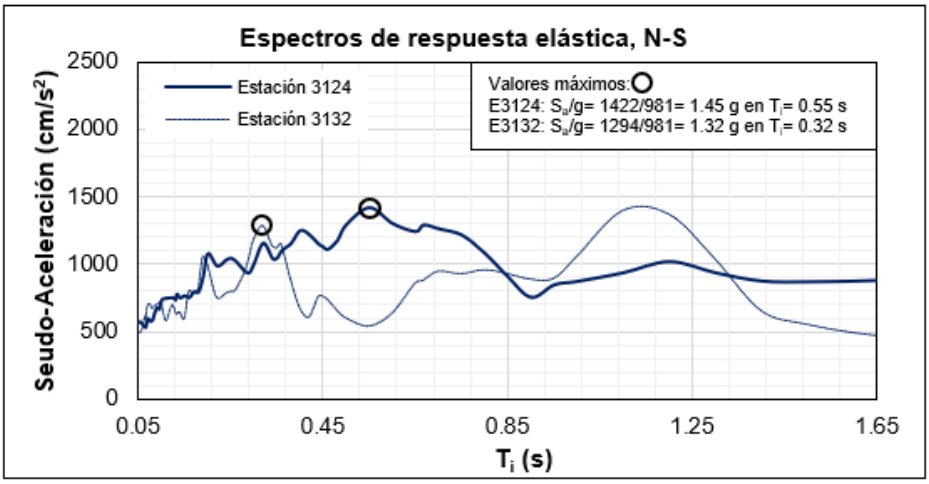
Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^+$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de datos, pero probablemente inferior a 0.5 s.
Fuente: TADAS (s. f.).

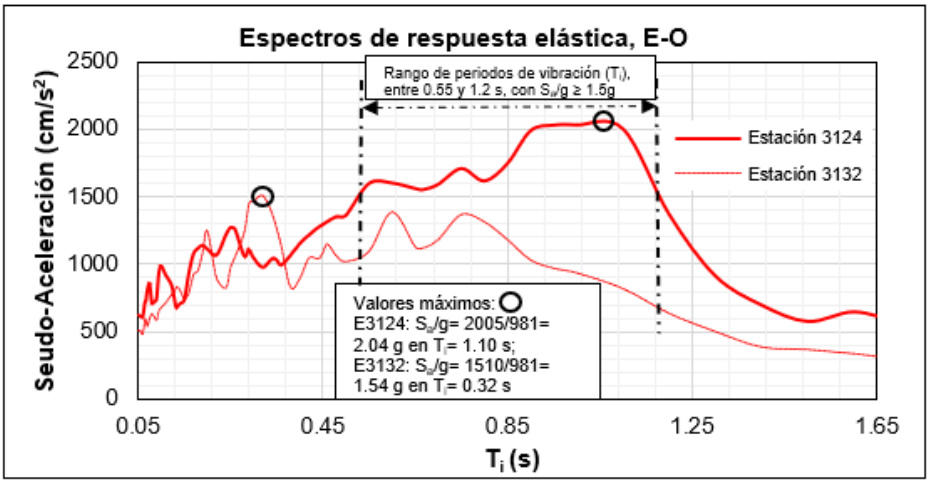
Posteriormente, en la Figura 3.8.4 se comparan los espectros de respuesta elástica correspondientes de las dos estaciones de interés, suponiendo que son para un amortiguamiento viscoso de 5%; nótese la diferencia en la ubicación de las ordenadas espectrales máximas, de acuerdo con el tipo de suelo existente en ambas estaciones 3124 y 3132. La Tabla 3.8.3 resume estos resultados, haciendo ver que las ordenadas espectrales (seudo-aceleraciones) de la estación 3124, componente E-O, tienden a ser extraordinariamente grandes, por arriba de 2,000 cm/s^2 ($\approx$ 2.04 g), sin descartar los otros máximos reportados, del orden de 1.5 g, así como los efectos verticales indicados.

Después, como referencia, en la Figura 3.8.5 se comparan los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones de componentes horizontales, amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las dos estaciones sismológicas 3124 y 3132, a raíz de los efectos del sismo principal del 6 de febrero, 2023, contra los espectros elásticos de diseño que contemplan las diferentes versiones de Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, de acuerdo con las zonas de interés de la zona del distrito de Antakya. Cabe señalar que, las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés quedan muy por arriba de los niveles de diseño de la versión TDY 1975, considerando que la versión de este Reglamento rigió en el diseño sismorresistente de la mayoría de los edificios con daños importantes. Asimismo, las ordenadas espectrales máximas, según los registros reportados, para

periodos de vibración relativamente altos ($T_1 \leq 1.2$ s), tienden a ser superiores a los valores propuestos de diseño de la última versión de Reglamento (TBDY 2018).

Finalmente, suponiendo que los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango entre 0.55 s y 1.2 s, es muy probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona del distrito de Antakya, estuvo expuesta a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 1,500 cm/s^2 (por ejemplo, ver componente E-O, estación 3124), seguramente muy superiores a los valores de diseño; por la forma de los espectros parecería que hay depósitos aluviales de algún tipo. Lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante el recorrido al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.





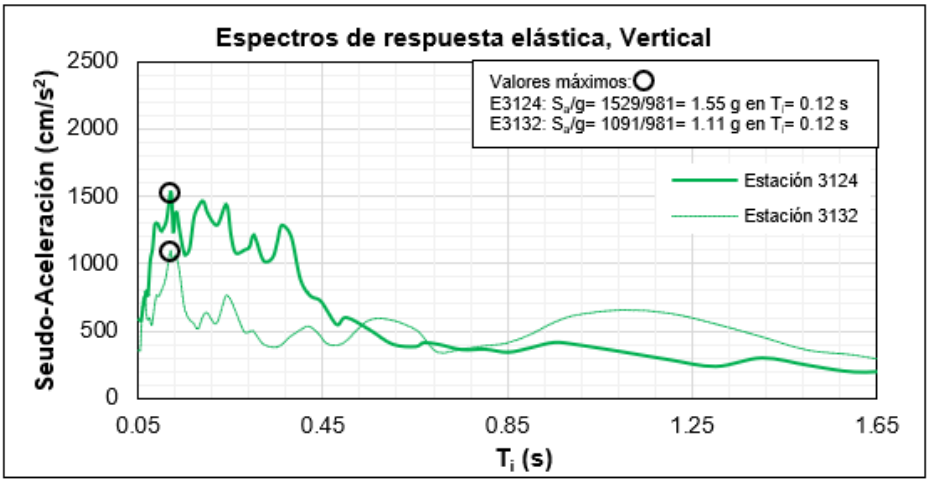
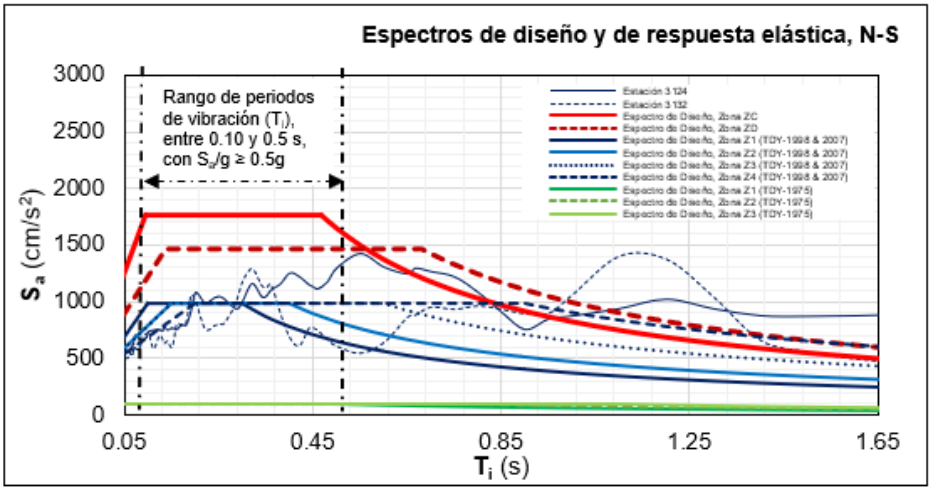


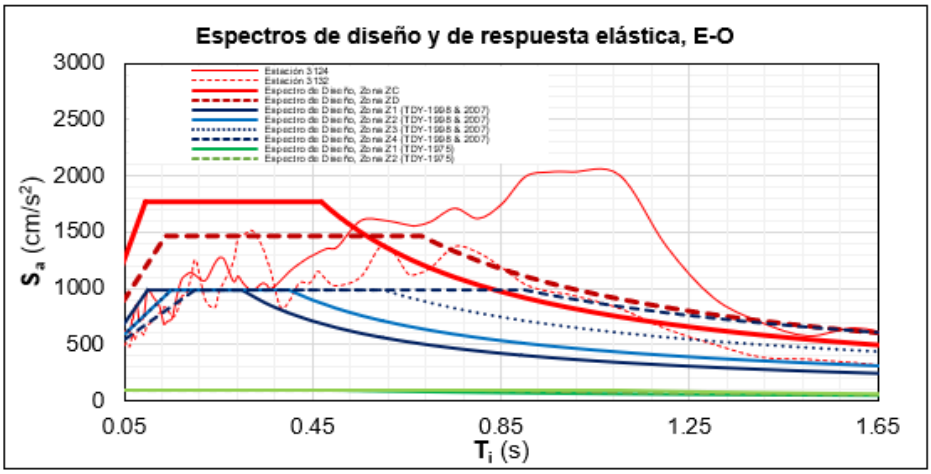
Figura 3.8.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para las estaciones sísmicas 3124 y 3132, zona del distrito de Antakya. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.8.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sísmicas 3124 y 3132, instaladas en la zona del distrito de Antakya, según se muestra en la Figura 3.8.2

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
3124	1.45	2.04	1.55
3132	1.31	1.54	1.08



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.8.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según las diferentes versiones de Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para las estaciones sismológicas 3124 y 3132, dentro de la zona del distrito de Antakya, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.8.4. Daños estructurales

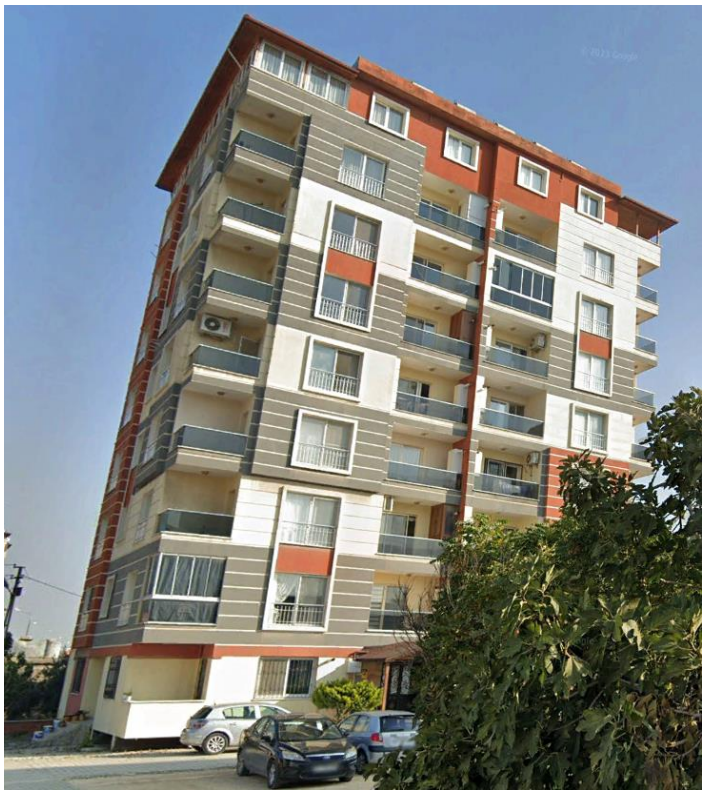
En las Figuras 3.8.6 a 3.8.16 se muestran fotografías de edificios dañados.

a) b)

c) d)

Figura 3.8.6 Edificios altos (8 a 10 niveles) con muros (mampostería simple) de fachadas, mal unidos a la estructura principal (marcos de concreto reforzado, esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), con presencia de agrietamiento inclinado ligero (ver recuadros amarillos). *Fuente: Archivo personal de los autores.*

ANTES



a)

DESPUÉS

b) c)

Figura 3.8.7 Vistas del antes y después de un edificio alto (9 niveles), a base de marcos esbeltos de concreto reforzado, con agrietamiento importante en los muros de relleno y de fachadas (mampostería simple) de los primeros cinco entrepisos (ver recuadros amarillos), mal unidos a la estructura principal. *Fuente: a): Google Maps (2023z); b) y c): Archivo personal de los autores.*

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

c)

ANTES

Edificio construído posterior a 2020

d)

DESPUÉS

e)

Figura 3.8.8 Vistas del antes y después de daños nulos en una construcción tipo habitacional de 2 niveles de muros de mampostería (Figura 3.8.8a) a c)), y en un pequeño edificio (5 niveles) con marcos y muros de mampostería (Figura 3.8.8d) y e)) [Nota: varios muros de la fachada posterior de la estructura de 2 niveles siguen mostrando ligeros agrietamientos por problemas de humedad]. *Fuente: a) y d): Google Maps (2023A); b), c) y e): Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

Figura 3.8.9 Vistas de varios edificios altos con daños importantes en los muros de relleno y de fachadas (mampostería simple), prácticamente en toda la altura (ver recuadros amarillos), mal unidos a la estructura principal, a base de marcos de concreto reforzado (esbeltos, sin suficiente rigidez lateral). *Fuente: Archivo personal de los autores.*

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

Figura 3.8.10 Vistas del antes y después de un pequeño edificio (5 niveles) a base de marcos de concreto reforzado (sin suficiente rigidez lateral) con daños considerables en los muros de relleno y de fachadas (mampostería simple), prácticamente en toda la altura (ver recuadros amarillos), mal unidos a la estructura principal. *Fuente: a): Google Maps (2023B); b): Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

Figura 3.8.11 Edificios altos (hasta de 10 niveles) con agrietamiento importante en los muros de relleno y de fachadas (mampostería simple) de los primeros entrepisos, mal unidos a la estructura principal (marcos de concreto reforzado, sin suficiente rigidez lateral) [Nota: se muestran esquemáticamente, en recuadros amarillos, la mayoría de los muros agrietados]. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

Figura 3.8.12 Vista de la zona de varios edificios colapsados en etapa de demolición, y de edificios en pie muy dañados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

Figura 3.8.13 Colapso por falla de planta baja flexible de una construcción tipo habitacional de 2 niveles (ver recuadros amarillos), estructurada a base de muros de mampostería simple. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

e)

f)

g) h)

i) j)

k) l)

Figura 3.8.14 Varias vistas de edificios altos, estructurados a base marcos de concreto reforzado (esbeltos, sin suficiente rigidez lateral) y muros de mampostería simple (fachadas e interiores), con problemas importantes de agrietamiento en la mayoría de los muros frágiles de los entrepisos inferiores (ver recuadros amarillos). *Fuente: Archivo personal de los autores.*

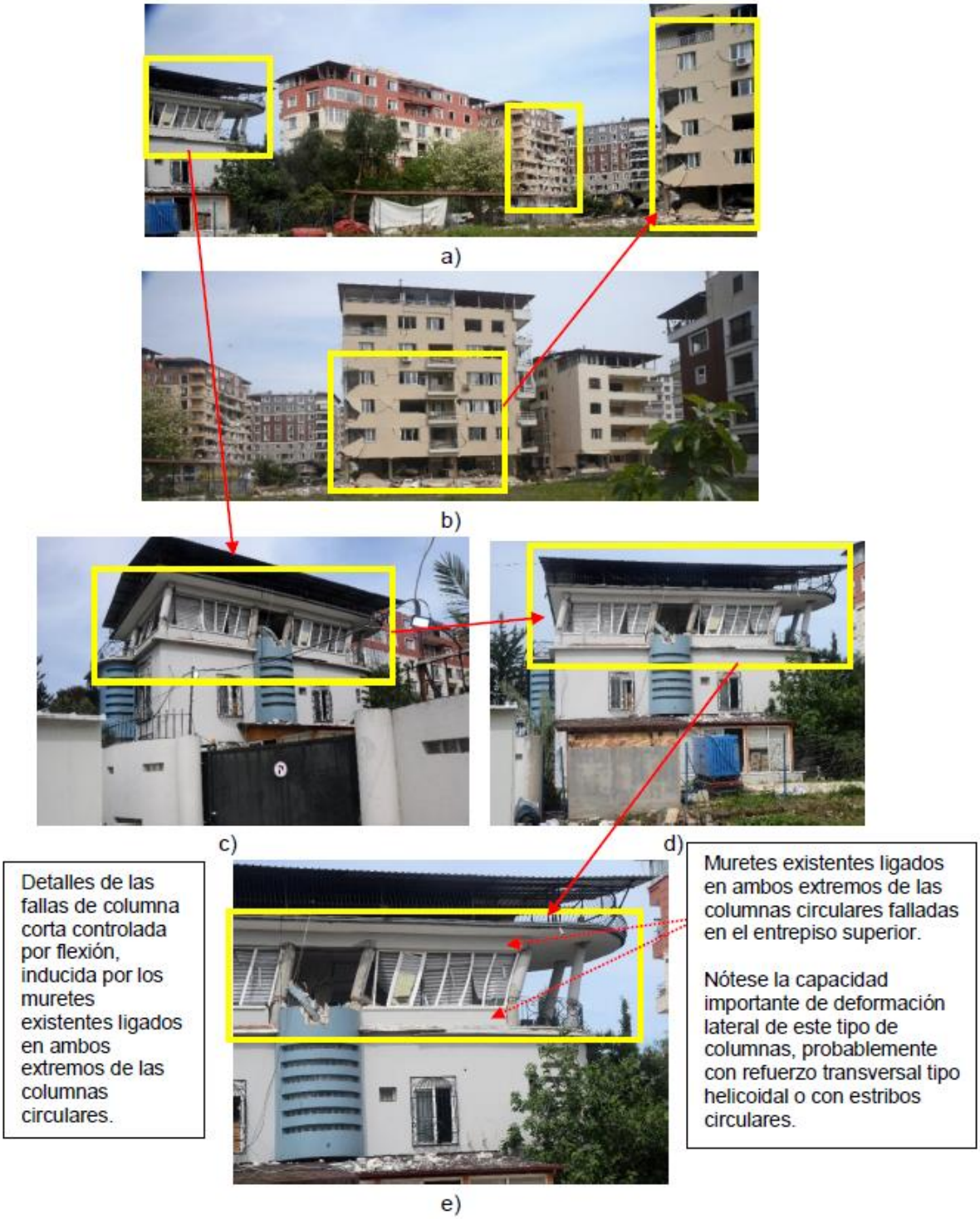


Figura 3.8.15 Vistas de daños en columnas circulares del entrepiso superior de un edificio bajo de concreto reforzado (ver recuadros en amarillo en a) a la izquierda, c), d) y e)), aparentemente por efectos de columna corta inducida por los muretes existentes ligados en ambos extremos de dichos elementos estructurales verticales, así como agrietamientos importantes en los muros de relleno de mampostería simple de las fachadas de edificios altos (marcos de concreto reforzado esbeltos, sin suficiente rigidez lateral) (ver recuadros amarillos en a) a la derecha y en b)). *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 3.8.16 Vista de un edificio de pocos niveles con escasos daños sísmicos en los muros de las fachadas (ver algunas grietas en los muros de entrada, con recuadro amarillo), así como también daños nulos en la pequeña estructura principal de un café, excepto la parte colapsada de la cubierta (a base de armaduras), en la zona de atención de los clientes (recuadro amarillo). *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.9. Adana

3.9.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

La ciudad de Adana es la capital de la provincia del mismo nombre, con una población de 2.27 millones de acuerdo con estimaciones de finales de 2022 (ver Figura 3.9.1). La ciudad de Adana tiene una población de 1.8 millones, lo que la convierte en la quinta más poblada en Turquía *(Wikipedia, 2023)*.

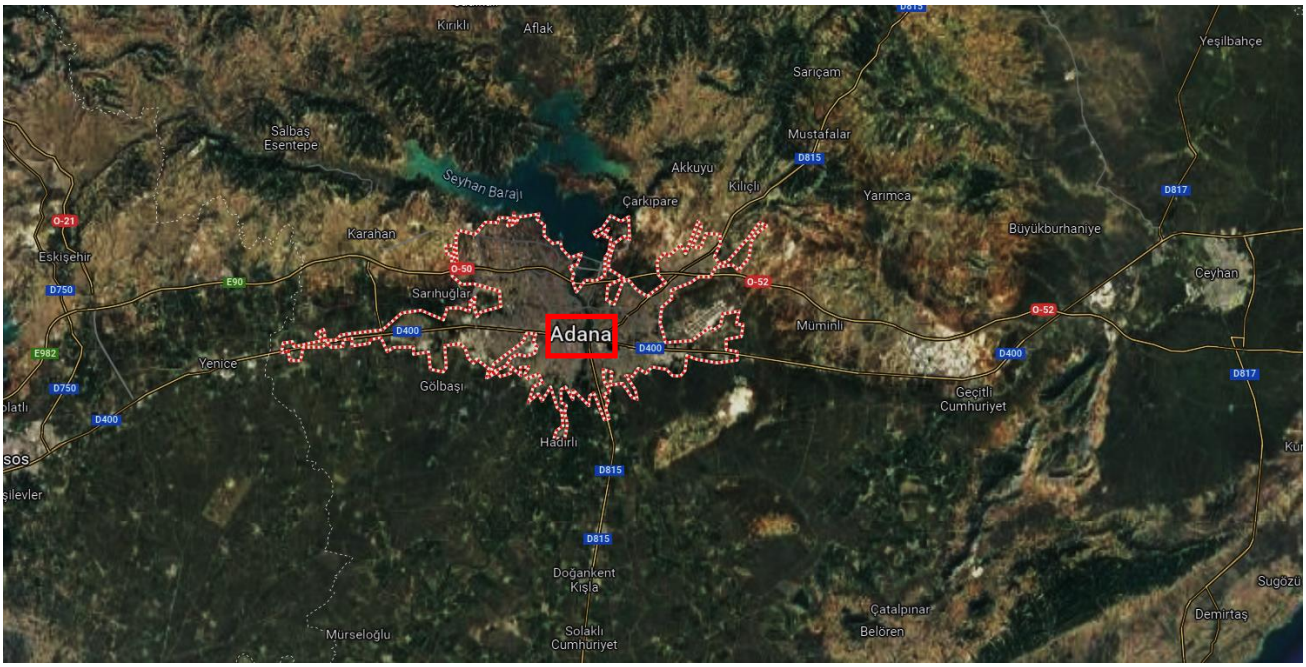


Figura 3.9.1 Posición geográfica de la ciudad de Adana. *Fuente: Google Maps (2023C).*

3.9.1.1. Hospital

El Hospital de la ciudad de Adana (también llamado Hospital de Investigación y Capacitación de la Ciudad de Adana) tiene una capacidad de 1,550 camas, y se puso en servicio el 18 de septiembre de 2017 (ver Figura 3.9.2a) a e)).

a)

b)

c)

d)

e)

Figura 3.9.2 Vistas de la fachada principal del Hospital de Investigación y Capacitación de la ciudad de Adana.
Fuente: Archivo personal de los autores.

3.9.2. Aceleraciones máximas registradas

La Figura 3.9.3 presenta esquemáticamente la ubicación de las dos estaciones sismológicas 0118 y 0123 localizadas en la zona de interés, así como la posición del hospital que se visitó durante el recorrido, al noreste de la ciudad de Adana.

Figura 3.9.3 Vistas de la posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 0118 y 0123 localizadas en la ciudad de Adana, así como del hospital visitado en la zona. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023D).*

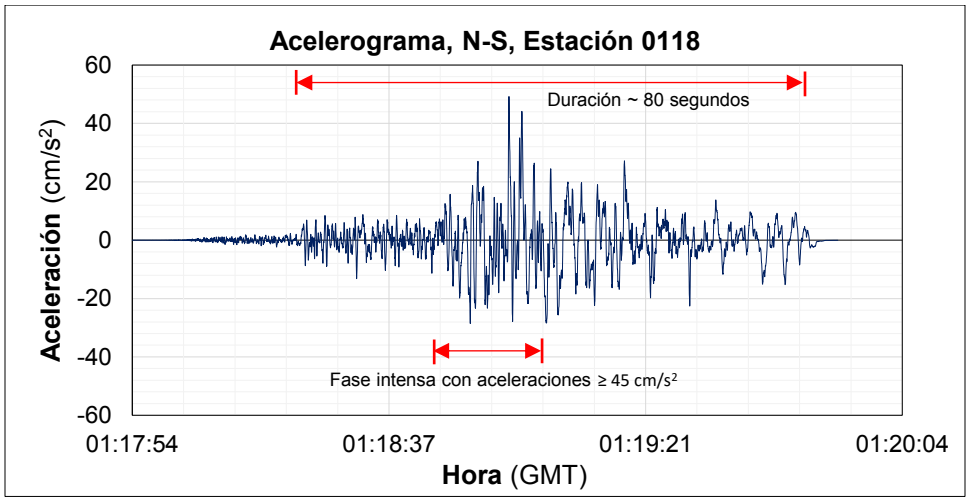
La Tabla 3.9.1 tiene los valores de las aceleraciones máximas (PGA) registradas en las dos estaciones sismológicas 0118 y 0123, donde las intensidades superiores reportadas se registraron en la estación 0118, ligeramente mayores, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023. Cabe comentar que, en ambas estaciones, los niveles máximos de aceleración registrados en el suelo de interés, tienden a ser pequeños, por debajo de los 50 cm/s^2.

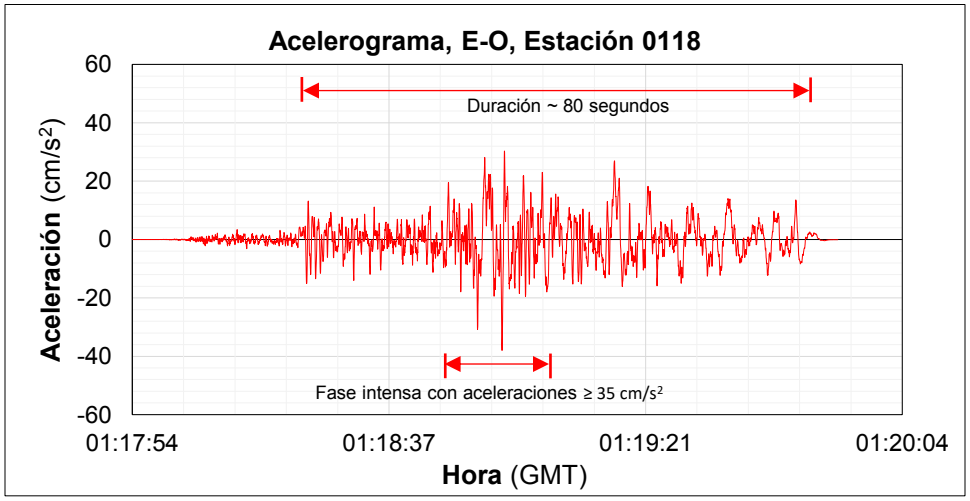
Posteriormente, se muestran los registros de los acelerogramas (tres componentes) reportados para la estación 0118 (ver Figura 3.9.4), con una duración total aproximada de 80 segundos, y fase intensa de 20 segundos con PGA por arriba de 45 cm/s^2. Se corrobora que, según los valores relativamente bajos de aceleraciones máximas registrados en esta zona, con respecto de otros lugares afectados por los sismos de febrero de 2023, no fue raro encontrar que en esta ciudad no se hayan encontrado grandes daños en los edificios visitados, incluyendo el Hospital de Investigación y Capacitación de la misma ciudad de Adana.

Tabla 3.9.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, con valores relativamente pequeños, donde, si acaso, en la estación 0118 se presentaron las intensidades ligeramente superiores del movimiento del suelo, ciudad de Adana, temblor principal del 6 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
0118	49.2	38.0	23.2
0123	40.6	39.4	18.5

Nota: *El sismo principal ocurrió el 6 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT) Fuente: TADAS (s. f.).*





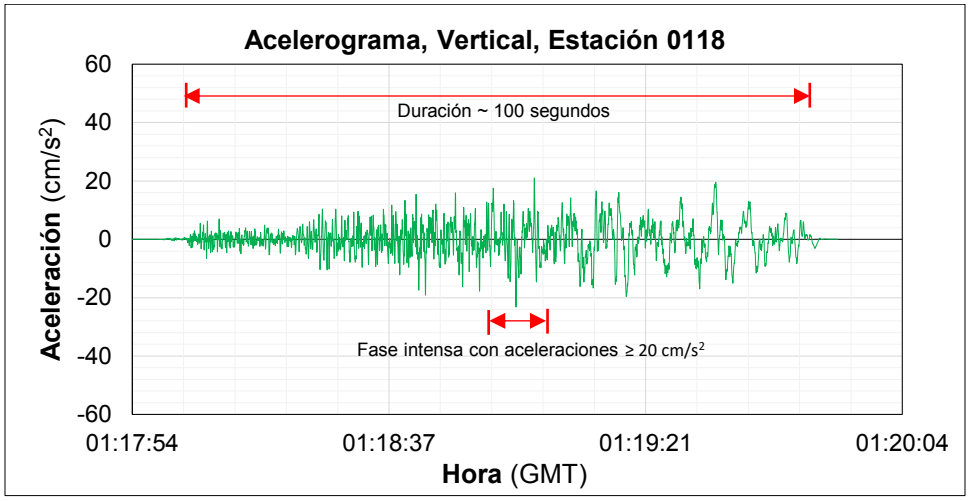


Figura 3.9.4 Registros de aceleraciones de la estación 0118, ciudad de Adana, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.9.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

En la Tabla 3.9.2 se presentan los resultados disponibles del periodo dominante del movimiento del suelo (T_s), correspondiente al sitio de la Estación Sismológica 0123, así como los datos reportados de la velocidad de onda de cortante V_{s30} (m/s) para ambos sitios de estaciones, donde, según este tipo de valores, se podría suponer que las condiciones de los sitios de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas de la Ciudad de México), lo cual se pudo corroborar durante nuestros recorridos respectivos.

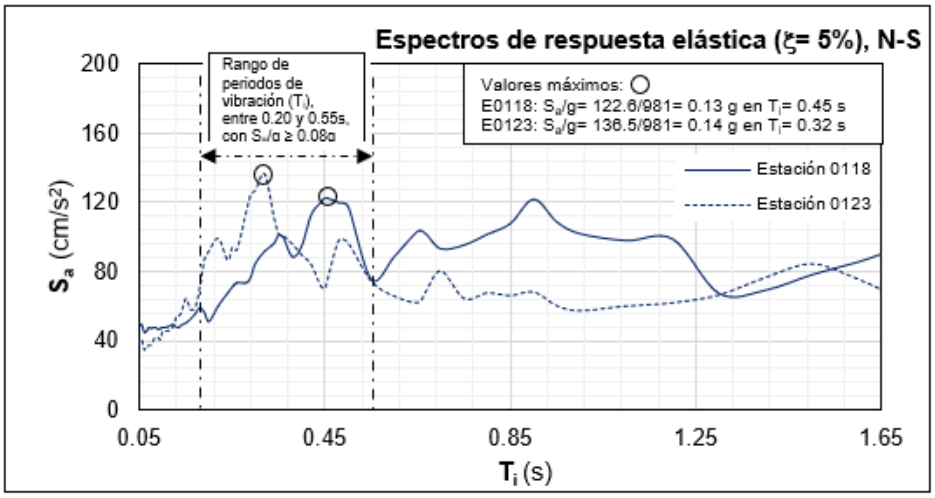
Tabla 3.9.2 Periodos dominantes y datos reportados de la velocidad de onda de cortante V_{s30} del movimiento del suelo en las zonas de interés* de las estaciones 0118 y 0123, donde se concluye que las condiciones del suelo es tipo duro (Lomas de la Ciudad de México)

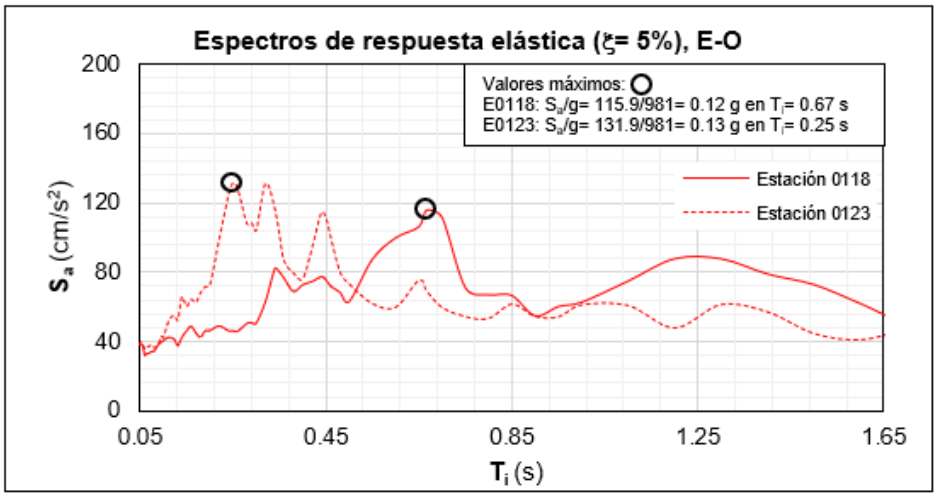
Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
0118	37.03616°	35.31843°	(-)	946	DURO^{+} [ZB]
0123	37.00338°	35.34376°	0.20	519	DURO^{+} [ZC]

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de dato.
Fuente: TADAS (s. f.).

En la Figura 3.9.5 se comparan los espectros de seudo-aceleraciones de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, (ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas 0118 y 0123, instaladas en la ciudad de Adana; en estas figuras (tres componentes) se tabulan los periodos de vibración asociados a los valores máximos de las aceleraciones espectrales, para fines ilustrativos, donde se puede observar que las aceleraciones espectrales tienden a valores pequeños, sin rebasar 160 cm/s2. En la Tabla 3.9.3 se resumen las máximas seudo-aceleraciones espectrales en ambas estaciones.

Posteriormente, en la Figura 3.9.6 se comparan los espectros de seudo-aceleraciones (componentes horizontales) de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, (ξ= 5%), correspondientes a las dos estaciones sismológicas 0118 y 0123, a raíz de los efectos del sismo del 6 de febrero, 2023, contra los espectros elásticos de diseño para diferentes zonas sísmicas que contemplan los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, incluyendo el TBDY 2018. Nótese que las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés quedan escasamente por arriba de los niveles de diseño de la versión TDY 1975, suponiendo que este Reglamento rigió en la mayoría del diseño de los edificios de interés.





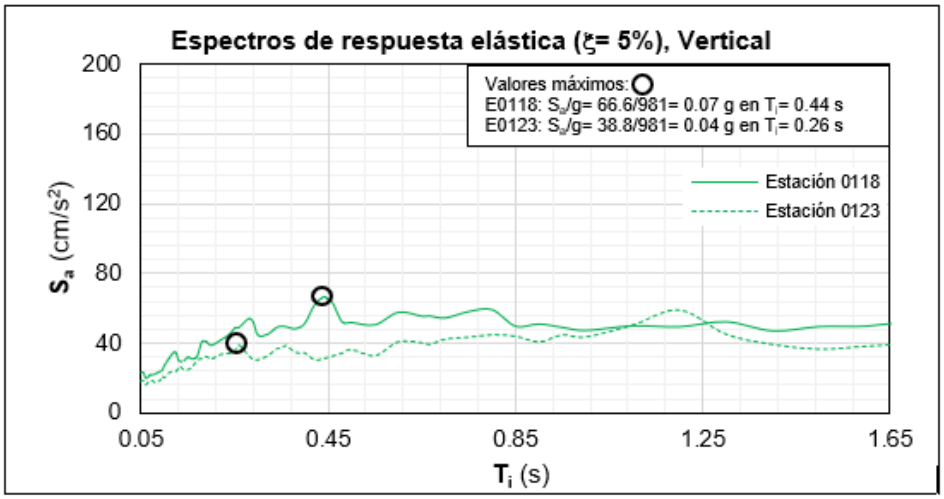
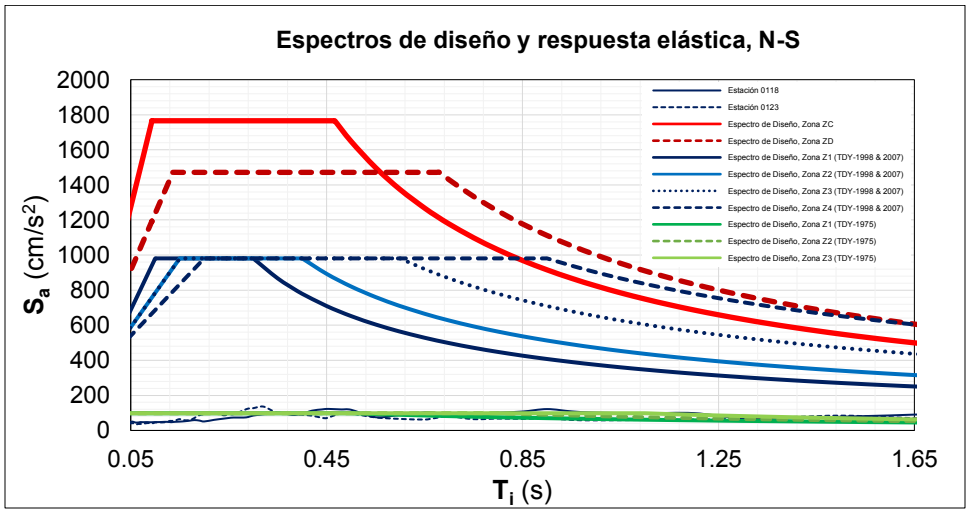


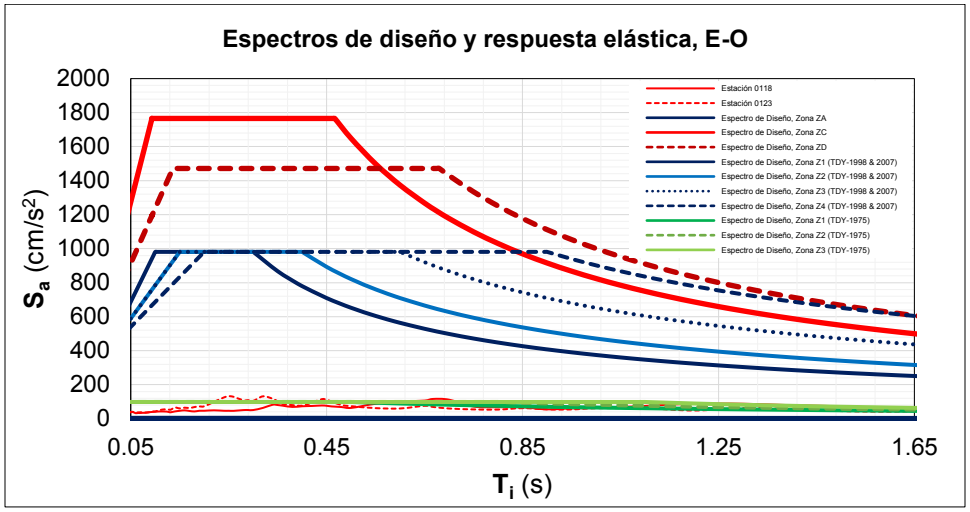
Figura 3.9.5 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para las estaciones sismológicas 0118 y 0123, ciudad de Adana, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.9.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sismológicas 0118 y 0123, instaladas en la ciudad de Adana, según se muestra en la Figura 3.9.7

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
0118	0.13	0.12	0.07
0123	0.14	0.13	0.04



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.9.6 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según las versiones de Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica correspondientes a las estaciones sismológicas 0118 y 0123, dentro de la zona de ciudad de Adana, según el sismo del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.9.4. Daños estructurales

Sólo se observó daño ligero en la fachada del Hospital de Investigación y Capacitación de la ciudad de Adana. Durante el recorrido estaba operando de manera normal. Presumiblemente está aislado, sin embargo, no se pudo comprobar esta hipótesis.

3.10. Hassa

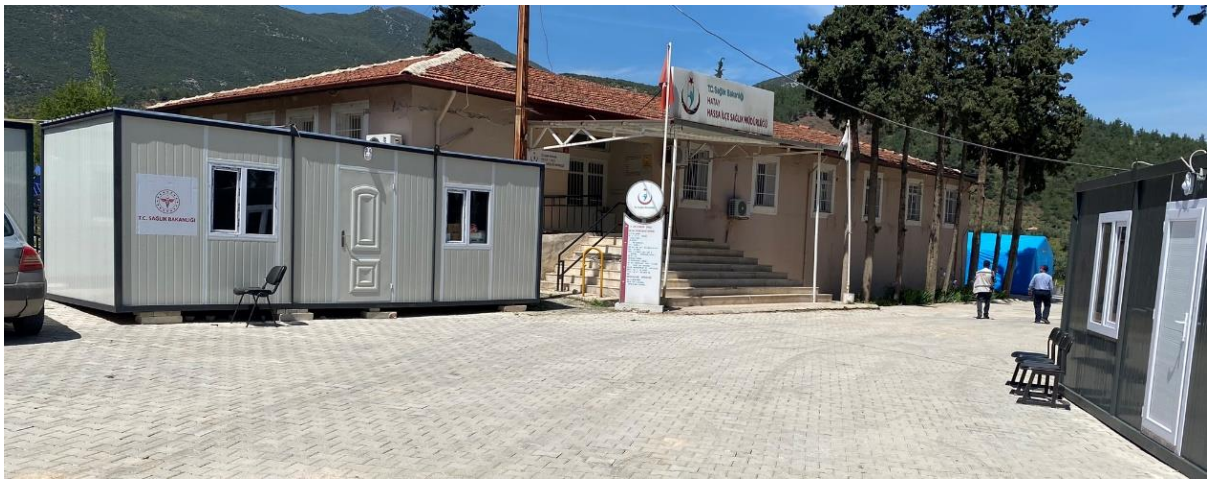
3.10.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

Hassa es la capital del distrito con el mismo nombre dentro de la provincia de Hatay (ver Figura 3.10.1). Se encuentra en el camino que une a Malatya con Antakya. Hassa, como distrito, tiene una población aproximada de 57,361 personas para el año 2018 *(Wikipedia, 2023)*

Figura 3.10.1 Ubicación geográfica de la ciudad de Hassa. *Fuente: Google Maps (2024a).*

3.10.1.1. Clínica

Durante el recorrido se visitó una clínica que estaba cerrada, presumiblemente por daños no estructurales. Desde las ventanas no se pudo apreciar daño estructural. En la Figura 3.10.2a) a e) se muestra la estructura, construida a base de muros de carga de mampostería y una cubierta de madera con tejas de barro. En el acceso a la clínica y en sus alrededores se observaron algunas viviendas prefabricadas vacías, así como una tienda de campaña. En esta zona se localizó una estación sismológica.



a)

b)

c)

d)

e)

Figura 3.10.2 Varias vistas de una clínica localizada en Hassa, aparentemente sin daños estructurales, así como de sus alrededores con algunas viviendas prefabricadas vacías, y una tienda de campaña. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.10.1.2. Hospital Hassa Devlet Hastanesi

En la misma población de Hassa, se recorrió por el exterior el hospital Hassa Devlet Hastanesi. Es un nosocomio de tres pisos (Figura 3.10.3a) y b)). No se observó daño alguno. No se tuvo acceso al interior del hospital.

a)

b)

Figura 3.10.3 Hospital Hassa Devlet Hastanesi, sin daños. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.10.2. Aceleraciones máximas registradas

La Figura 3.10.4 describe esquemáticamente la ubicación de las estaciones sismológicas 3138, 3143 y 3144, así como la posición de los edificios visitados, correspondientes a la ciudad de Hassa. Cabe aclarar que, a pesar de que las estaciones 3143 y 3144 no se encuentren específicamente dentro de la ciudad de Hassa, su cercanía no rebasa los 7 km entre los edificios visitados, ante lo cual su información se consideró útil y representativa para los fines que se buscan en este trabajo, tomando en cuenta que, además, los datos capturados en la estación 3138 no se pudieron localizar, a raíz del sismo principal del 6 de febrero de 2023.

La Tabla 3.10.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA), indicando que en la estación 3144 se registraron los niveles superiores de excitación del suelo, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023. En esta Tabla, también, se muestran los datos reportados en la estación 3138, pero ante los efectos del segundo sismo del mismo día, ocurrido a las 10:24:47 (GMT); aparentemente, esta estación no registró durante el mayor evento sísmico. A reserva de revisar la información en las estaciones 3143 y 3144, en relación con los efectos del segundo sismo del 6 de febrero de 2023, nótese que los niveles de aceleración máxima en la estación 3138 tienden a ser bastante inferiores, con respecto de lo ocurrido en el primer sismo.

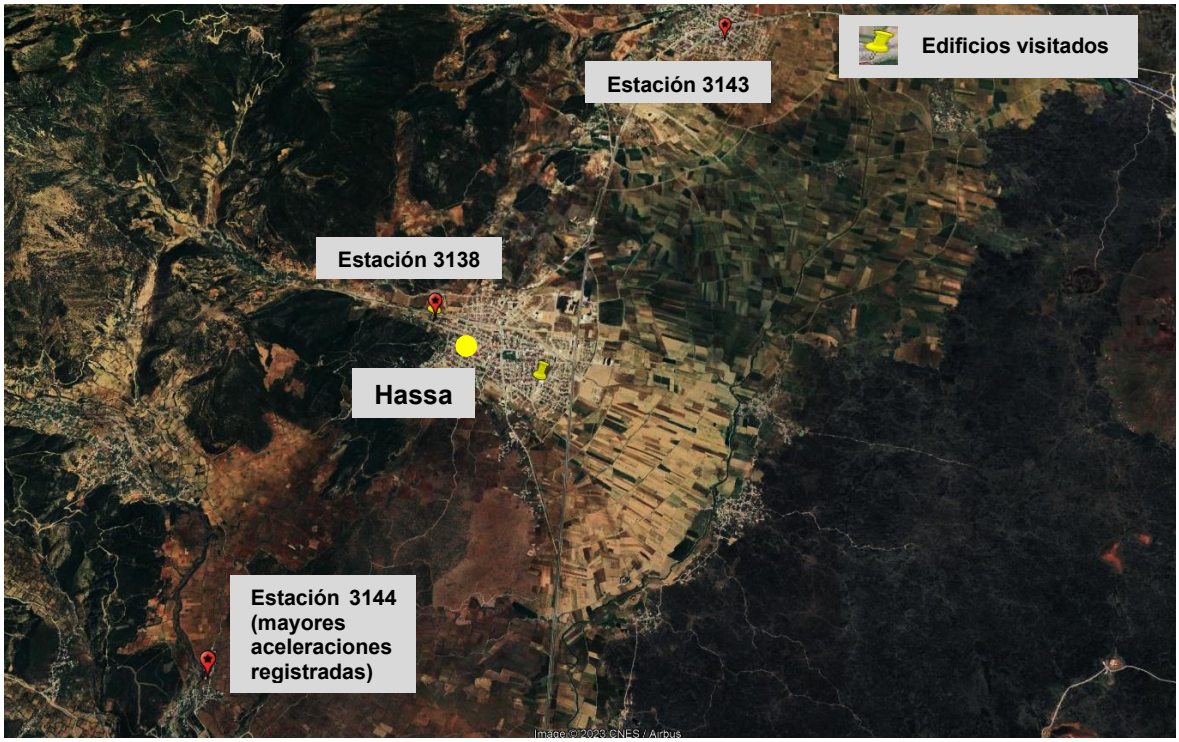


Figura 3.10.4 Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas localizadas dentro de la zona de la ciudad de Hassa, incluyendo los edificios visitados. *Fuente: Elaboración propia con base Google Maps (2023D).*

Tabla 3.10.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, donde se indica que en la estación 3144 se registraron las máximas aceleraciones del suelo, según el temblor principal de las 01:17:32 (GMT); asimismo, para fines comparativos, se tiene la información reportada en la estación 3138, ante los efectos del sismo de las 10:24:47 (GMT), ambos ocurridos el 6 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
3143	378.0	346.7	380.4
3144	603.1	773.8	471.2
3138	48.6	68.8	18.8

Notas: Las aceleraciones de las estaciones 3143 y 3144 corresponden al sismo principal que ocurrió a la 01:17:32 (GMT) del 6 de febrero de 2023; ante la falta de información para el sismo principal, la estación 3138 solo reporta las aceleraciones del temblor de las 10:24:47 (GMT) del mismo día. *Fuente: TADAS (s. f.).*

La Figura 3.10.5 presenta los acelerogramas obtenidos de la estación 3144, mostrando una duración total aproximada de 80 segundos, con una fase intensa de casi 10 segundos con PGA por arriba de 750 cm/s^2 (componente E-O).

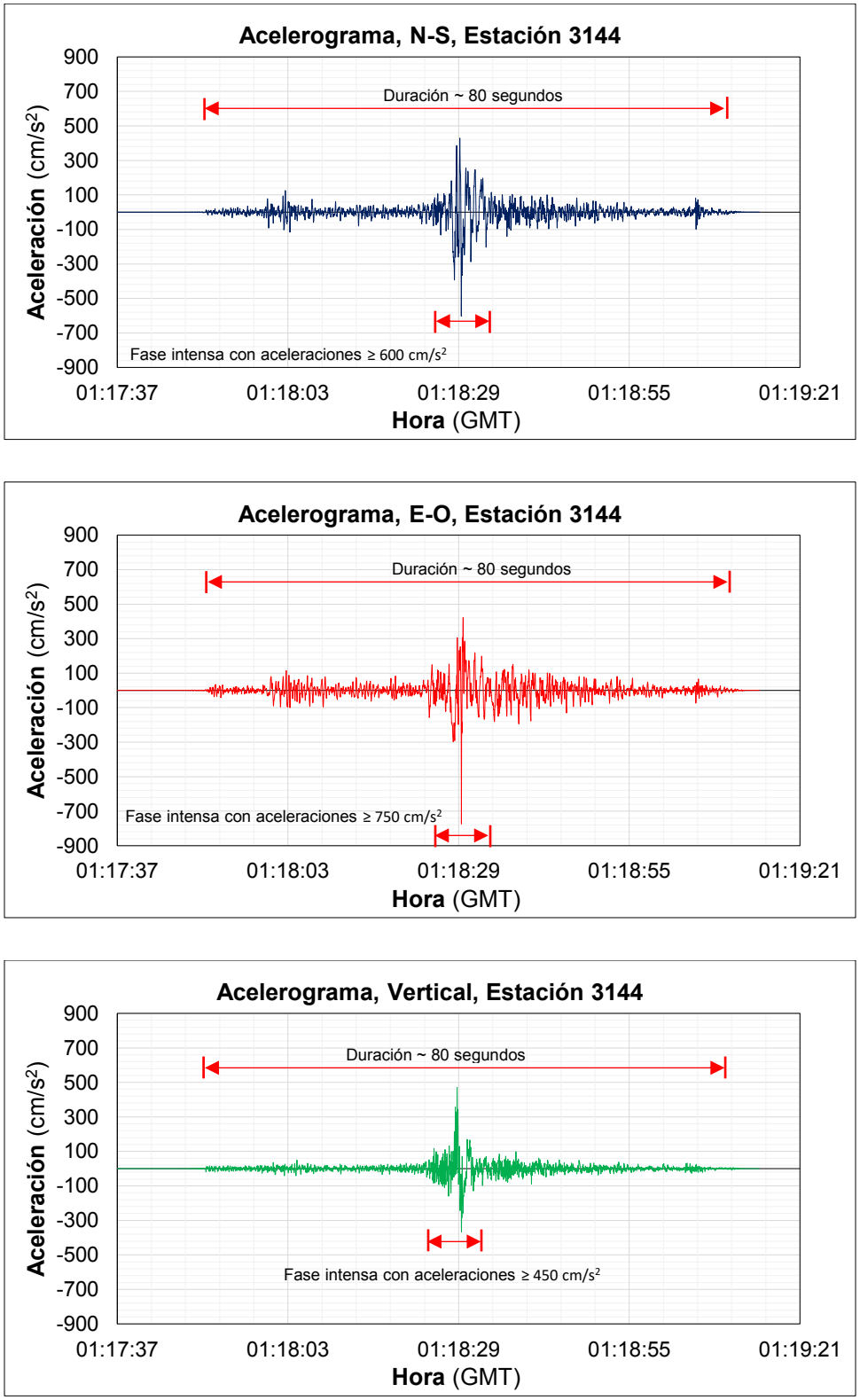


Figura 3.10.5 Registros de aceleraciones reportadas para la estación 3144, dentro de la zona de la ciudad de Hassa, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.)*

3.10.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

En la Tabla 3.10.2 se presentan los resultados de los periodos dominantes del movimiento del suelo (T_s), así como los valores reportados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30}, correspondientes al sitio de las estaciones sismológicas 3143 y 3144, según el evento sísmico principal del 6 de febrero de 2023; se tienen, también, los datos recabados para la estación 3138, de acuerdo con los efectos del segundo sismo ocurrido más tarde del mismo día mencionado. Tomando en cuenta todos estos valores reportados, se concluye que las condiciones de los sitios de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas de la Ciudad de México), lo que se pudo corroborar durante los recorridos respectivos.

Tabla 3.10.2 Periodos dominantes del movimiento del suelo y valores reportados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30} para las estaciones sismológicas instaladas en la zona de interés*, a partir de lo cual se concluye que las condiciones del suelo corresponden al tipo duro (Lomas de la Ciudad de México)

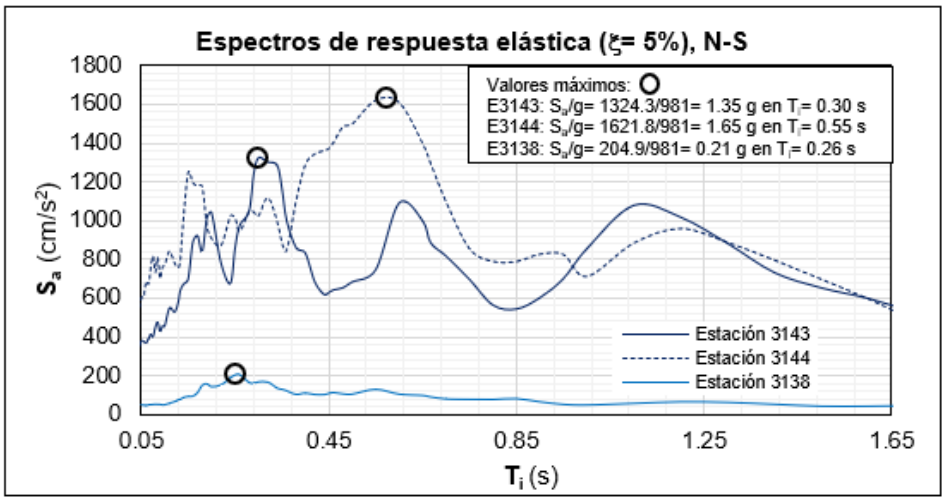
Estación	Ubicación de Estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
3143	36.848907°	36.557138°	0.43	444	DURO^{+} [ZC]
3144	36.756910°	36.485742°	0.44	485	
3138	36.802620°	36.511190°	(-)	618	DURO^{+} [ZC]

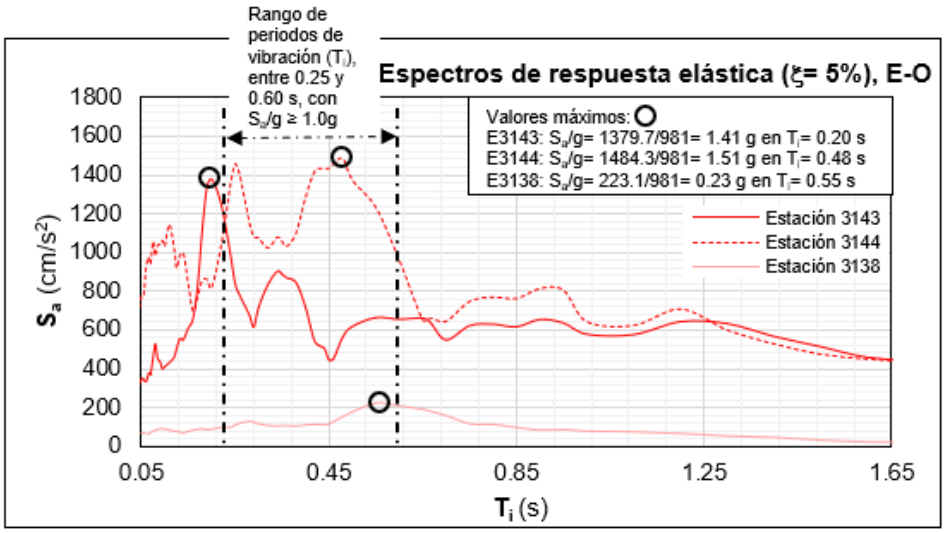
Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de datos. *Fuente: TADAS (s. f.).*

En la Figura 3.10.6 se comparan los espectros de seudo-aceleraciones de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas 3143, 3144 y 3138, instaladas en la ciudad de Hassa. Cabe reiterar que, los resultados de la estación 3138 corresponden a valores de ordenadas de espectros de respuesta para el sismo que no fue el principal, por lo que, se entiende que las ordenadas sean muy bajas, comparadas con las de las estaciones restantes para el temblor principal. En la Tabla 3.10.3 se resumen las máximas seudo-aceleraciones espectrales.

Como referencia, en la Figura 3.10.7 se presenta la comparación de las componentes horizontales de los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones con amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas de interés, contra los espectros elásticos de diseño para diferentes zonas sísmicas que contemplan las versiones de los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018. Las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo principal quedan bastante por arriba de los niveles de diseño de la versión TDY 1975, así como también de TDY 1998 y 2007; es muy probable que el Reglamentos TDY 1975 haya regido durante el diseño sísmico de la mayoría de los edificios con daños importantes.

Esto es, suponiendo que los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango entre 0.25 s y 0.6 s, es probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona de la ciudad de Hassa, estuvo expuesta a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 1,000 cm/s^2, según lo reportado en las estaciones 3143 y 3144 (componentes N-S y E-O), seguramente superiores a los valores del diseño original; la estimación anterior de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, está apoyada de las observaciones hechas durante el recorrido al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.





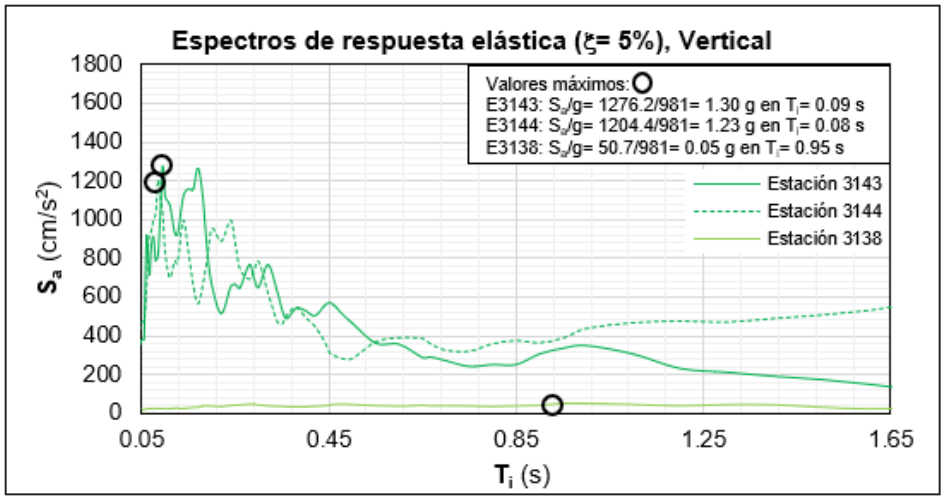
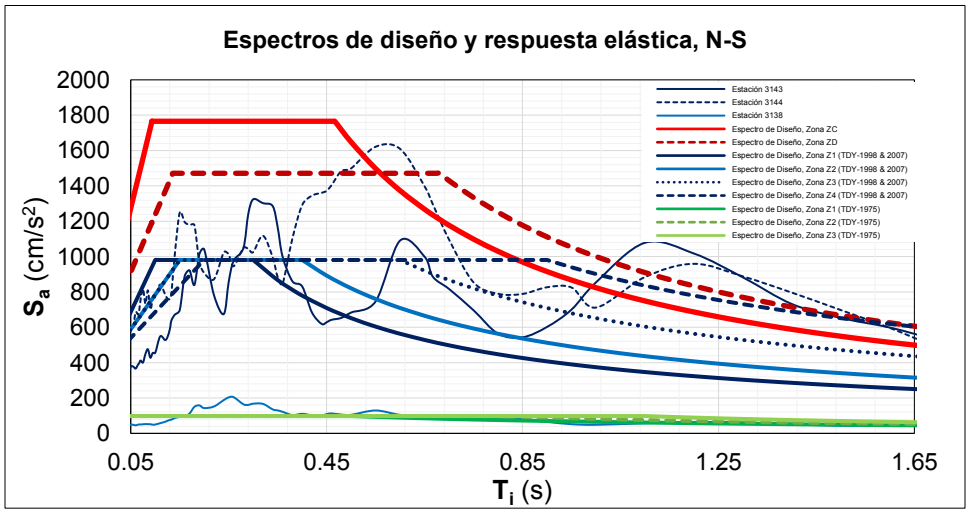


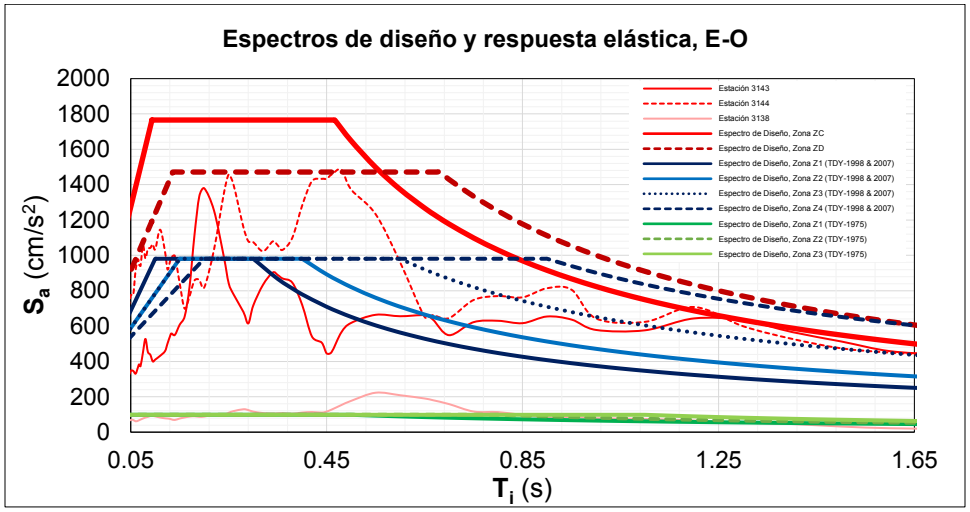
Figura 3.10.6 Comparación de los espectros de respuesta elástica (ξ=5%) para las estaciones sismológicas 3143, 3144 y 3138, zona de la ciudad de Hassa. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.10.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sismológicas 3143 y 3144 [sismo de las 01:17:32 (GMT)], y la estación 3138 [temblor de las 10:24:47 (GMT)], instaladas en la zona de la ciudad de Hassa, según se muestra en la Figura 3.10.4

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
3143	1.35	1.41	1.30
3144	1.65	1.51	1.23
3138	0.21	0.23	0.05



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.10.7 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según las versiones de Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica correspondientes a las estaciones sismológicas 3143, 3144 y 3138, ciudad de Hassa, según los sismos del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.10.4. Daños estructurales

En la Figura 3.10.8a) a e) se presentan los daños en una construcción vecina a la clínica, con dobles muros de carga de mampostería sin refuerzo, así como el estado final colapsado, por volteo, de la barda perimetral. En este poblado se encontraron viviendas construidas combinando dos tipos de técnicas de construcción. Una parte construida con mampostería de piedra irregular no reforzada y el resto con elementos de concreto reforzado como dalas y castillos. Este tipo de construcciones son muy comunes, pues viviendas rudimentarias suelen ampliarse utilizando otro tipo de materiales y de mejor calidad, probablemente debido a la mejora del poder adquisitivo de los propietarios. Sin embargo, esto tiene el inconveniente de que ocasiona la formación de zonas rígidas y de mayor resistencia, que cuando se someten a la acción de un sismo intenso incrementan los esfuerzos cortantes que las zonas más débiles finalmente no pueden resistir ocasionando la aparición de daños. También puede ocurrir la incompatibilidad de materiales. Esto es común cuando se combinan elementos de concreto reforzado adosados a muros de adobe.

a)

b)

c)

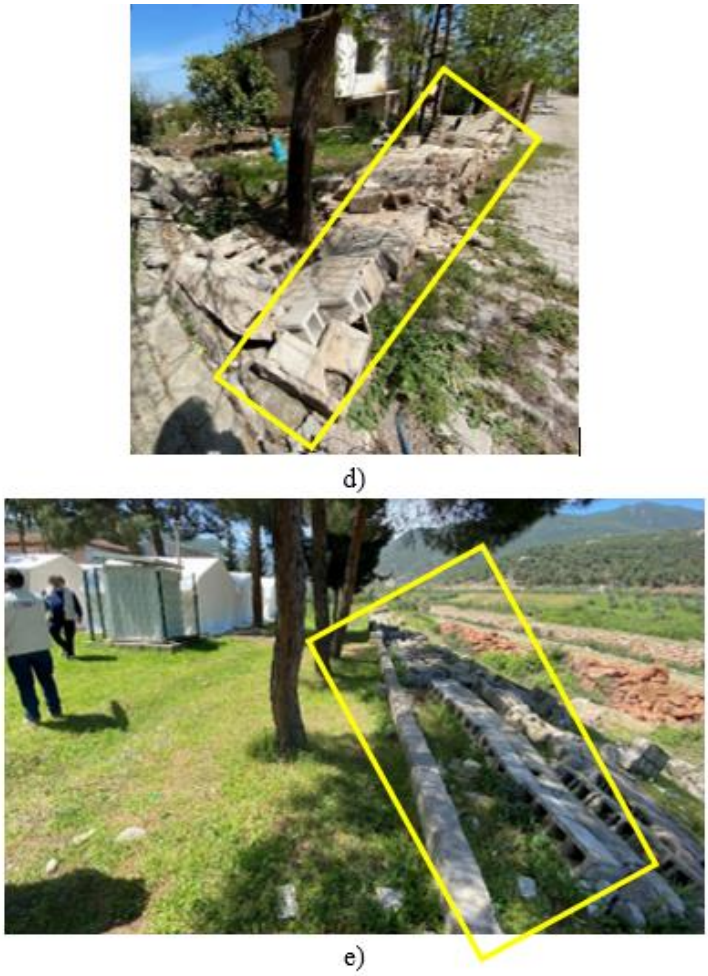


Figura 3.10.8 Daños (ver recuadros amarillos) en una construcción con dobles muros de carga de mampostería sin refuerzo, vecina a la clínica, así como el estado final colapsado de toda la barda perimetral. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.11. Osmaniye

3.11.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

La ciudad de Osmaniye es la capital de la provincia del mismo nombre. La ciudad tiene una población de más de un cuarto de millón de habitantes, según un registro de 2022 (ver Figura 3.11.1). La provincia está habitada por casi medio millón de personas *(Wikipedia, 2023).*

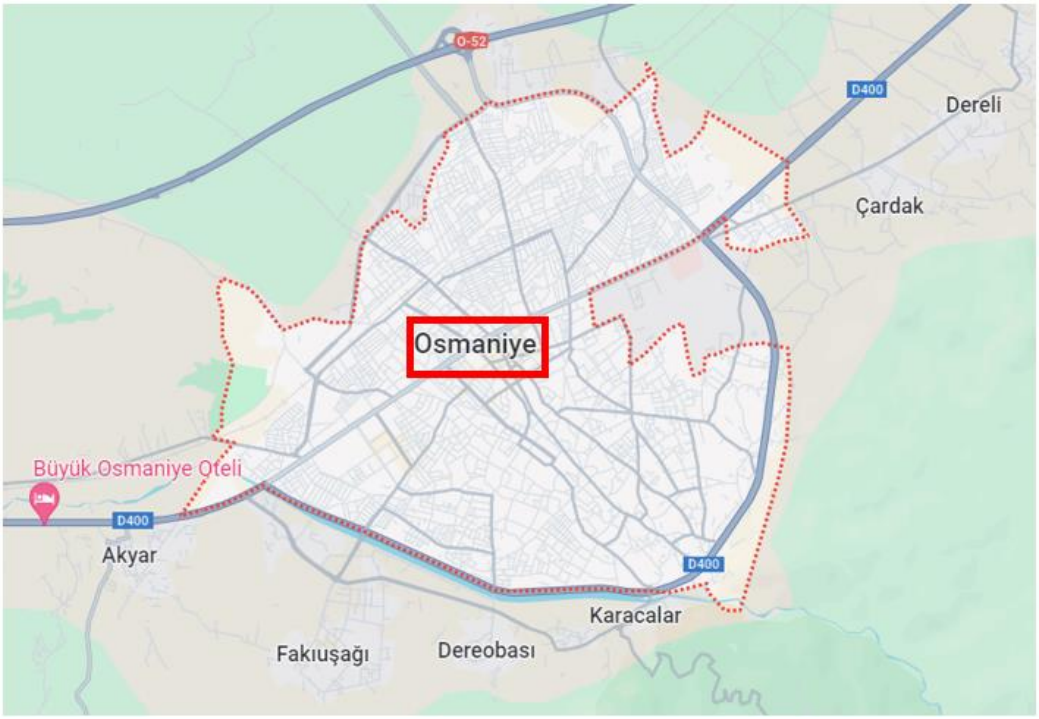


Figura 3.11.1 Localización geográfica de la provincia de Osmaniye. *Fuente: Google Maps (2024b).*

3.11.1.1. Hospital

Durante el recorrido, se tuvo acceso al hospital de la ciudad de Osmaniye. El hospital tiene una capacidad de diseño de 750 camas, aunque actualmente sólo tiene 600. La instalación no estaba en operación cuando ocurrieron los temblores del 6 de febrero de 2023, si bien estaba casi terminada. Se abrió al público días después. El edificio se encuentra aislado sísmicamente mediante dispositivos tipo péndulo de fricción (*friction pendulum system*). Según datos proporcionados por personal de mantenimiento y operación del nosocomio, se colocaron 543 aisladores en todos los cuerpos del hospital. La Figura 3.11.2a) a h) describe varios aspectos exteriores.

Acceso principal del conjunto hospitalario

a)

Acceso principal del conjunto hospitalario

b)

c)

d)

e)

Edificio adjunto para atención de urgencias

f)

g)

h)

Figura 3.11.2 Varias vistas exteriores del hospital de la ciudad de Osmaniye. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.11.2. Aceleraciones máximas registradas

En la Figura 3.11.3 se describe esquemáticamente la ubicación de las estaciones sismológicas 8002 y 8003, así como la posición del hospital visitado, correspondiente a la provincia de Osmaniye.

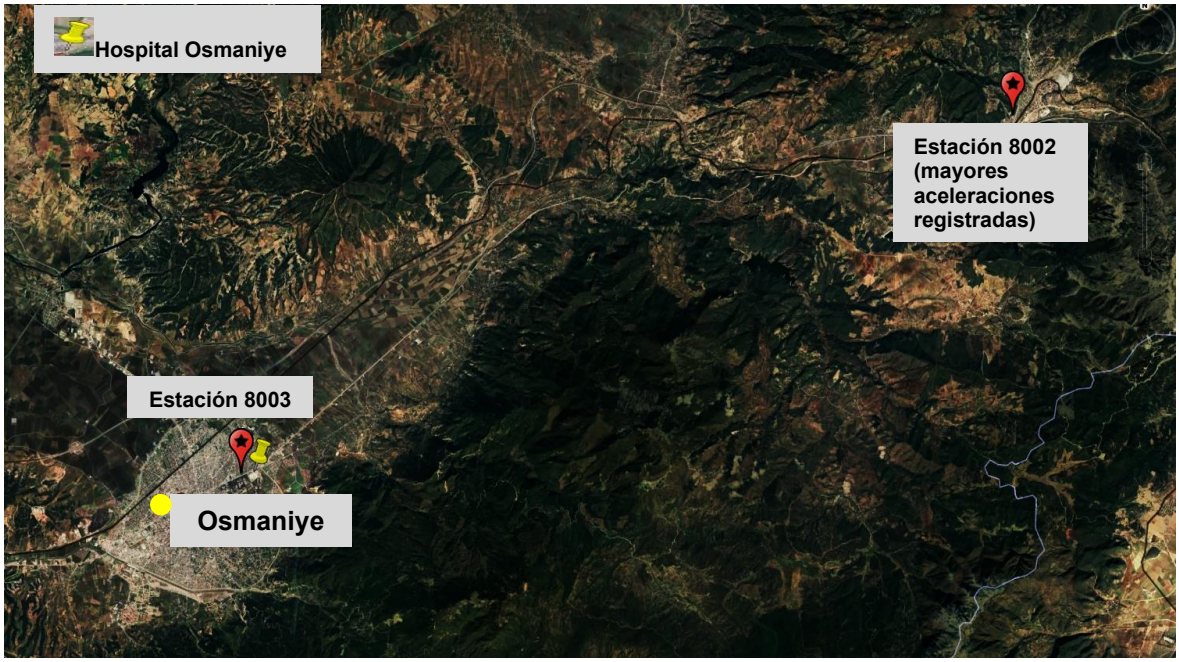


Figura 3.11.3 Vista de la posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 8002 y 8003 localizadas en la provincia de Osmaniye, así como del hospital visitado. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023E).*

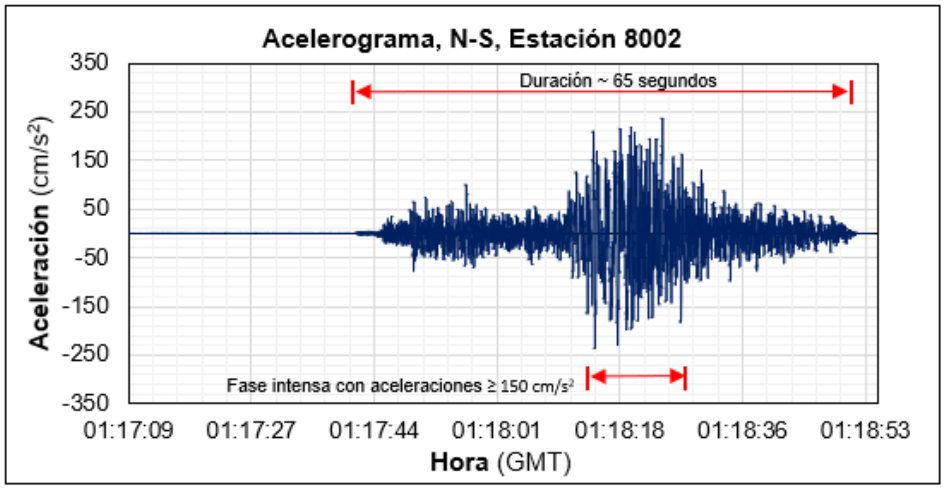
Posteriormente, la Tabla 3.11.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA), donde se indica que en la estación 8002 se presentaron las intensidades superiores del movimiento del suelo, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023. Es notoria la cercanía de la edificación visitada del hospital de la ciudad de Osmaniye con la estación 8003, según se observa en la Figura 3.11.10, con aceleraciones máximas (componente E-O) de casi 0.19 g. En la estación 8002, se reportan aceleraciones verticales máximas de hasta 0.34 g, del orden de 2.4 veces las correspondientes en la estación 8003, para fines comparativos.

Tabla 3.11.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, donde se indica que en la estación 8002 se registraron las intensidades superiores de aceleraciones del suelo, provincia de Osmaniye, temblor principal del 6 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
8002	243.0	202.9	336.6
8003	141.6	185.7	139.9

Nota: El sismo principal ocurrió el 6 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT)
Fuente: TADAS (s. f.)..

Como referencia, la Figura 3.11.4 muestra las tres componentes de los acelerogramas reportados en la misma estación 8002, haciendo ver que el temblor tuvo una duración total aproximada de 65 segundos, con una fase intensa de casi 15 segundos con PGA por arriba de 100 cm/s^2.



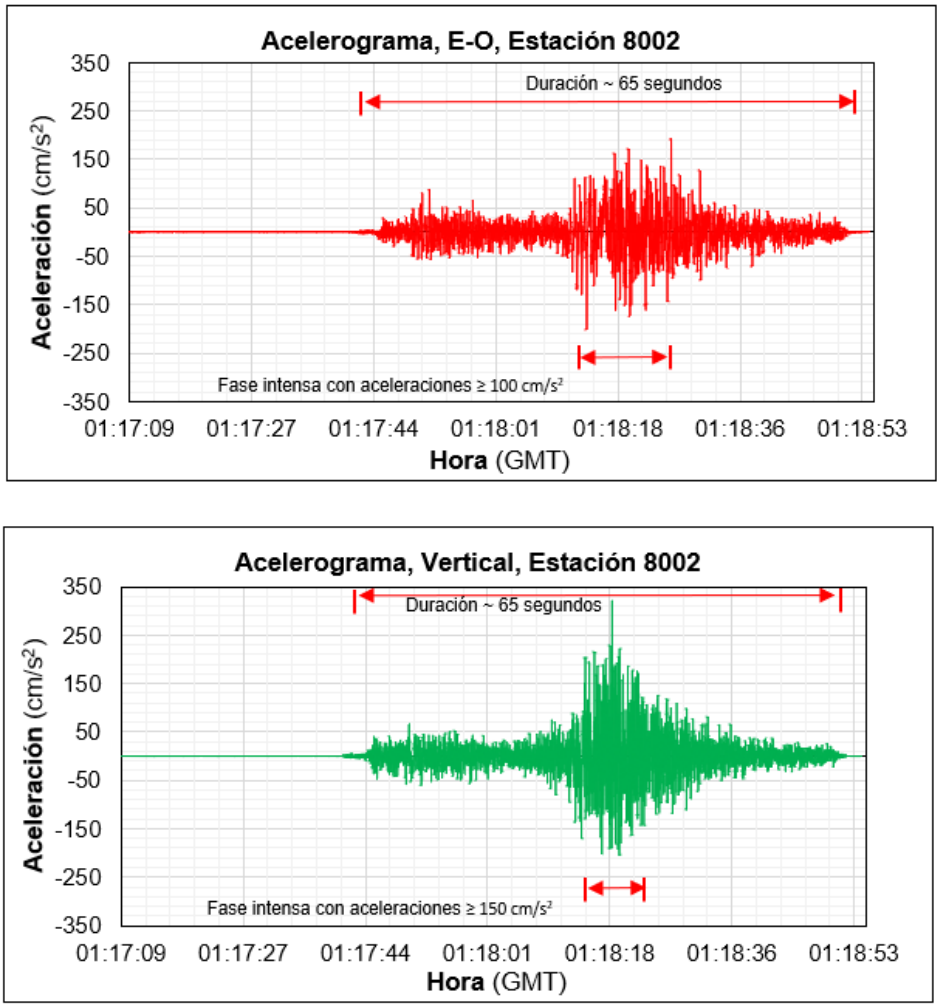


Figura 3.11.4 Registros de aceleraciones de la estación 8002, provincia de Osmaniye, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.11.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

La Tabla 3.11.2 presenta los resultados reportados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30}, correspondientes al sitio de las estaciones sismológicas 8002 y 8003. No se reportan valores de los periodos dominantes del movimiento del suelo (T_s); no obstante, con la ayuda posterior de los espectros de respuesta, se puede suponer que las condiciones del suelo de los sitios de interés corresponden a un suelo duro (tipo Lomas de la Ciudad de México), lo cual se pudo corroborar durante nuestros recorridos respectivos.

Tabla 3.11.2 Resultados reportados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30}, representativos del movimiento del suelo en las estaciones sísmicas de interés*, a partir de lo cual se concluye que las condiciones del suelo son tipo duro (Lomas de la Ciudad de México); no se reportan resultados de los periodos dominantes del movimiento del suelo, T_s

Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
8002	37.19156°	36.56195°	(-)	430	DURO^{+} [ZC]
8003	37.08417°	36.26936°	(-)	350	DURO^{+} [ZD]

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de datos. *Fuente: TADAS (s. f.).*

En la Figura 3.11.5 se comparan los espectros de seudo-aceleraciones espectrales de respuesta elástica (amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones sismológicas 8002 a 8003, instaladas en la provincia de Osmaniye, según su ubicación de la Figura 3.11.3; en estas figuras se indican los periodos de vibración asociados a los valores máximos de las aceleraciones espectrales, para fines ilustrativos, sin olvidar la cercanía de la edificación visitada del hospital de la ciudad de Osmaniye, con respecto de la posición de la estación 8003. La Tabla 3.11.3 describe un resumen de las máximas seudo-aceleraciones espectrales, según los reportes correspondientes a los sitios de las estaciones 8002 y 8003.

Posteriormente, como referencia, la Figura 3.11.6 presenta la comparación de los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones, amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las dos estaciones sismológicas 8002 y 8003, a raíz de los efectos del sismo principal del 6 de febrero, 2023, contra los espectros elásticos de diseño propuestos en las versiones de los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, de acuerdo con las zonas de interés de la Provincia de Osmaniye. Nótese que las ordenadas de los espectros de respuesta del sismo de interés quedan muy por arriba de los niveles de diseño de la versión de Reglamento TDY 1975, considerando que éste rigió en la mayoría de los edificios con daños importantes.

Esto es, suponiendo que los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango entre 0.1 s y 1.0 s, es probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona de la provincia de Osmaniye, estuvo expuesta a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 400 cm/s^2 (ver componente N-S, estaciones 8002 y 8003), seguramente superiores a los valores del diseño original; lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante el recorrido al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.

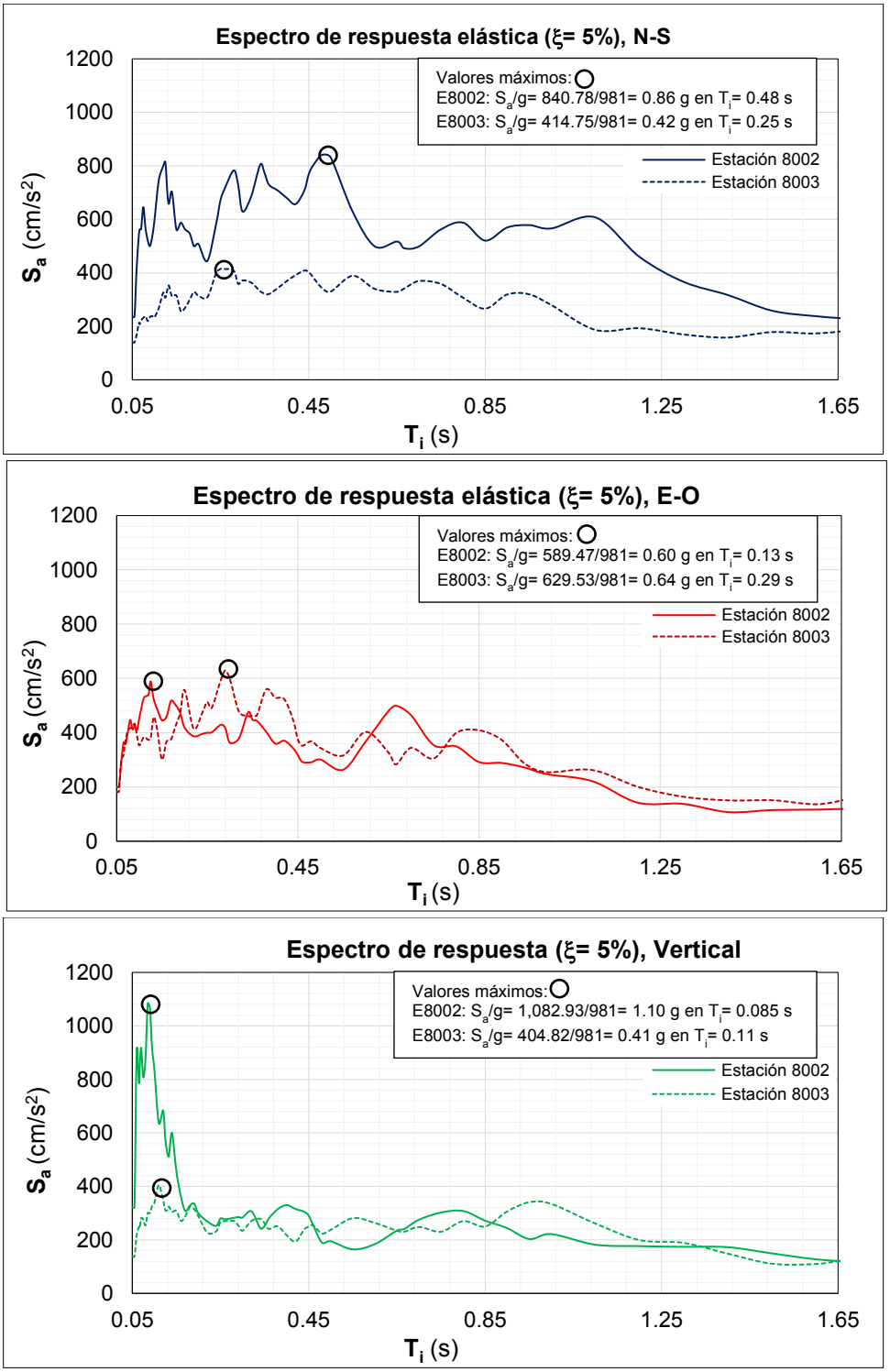
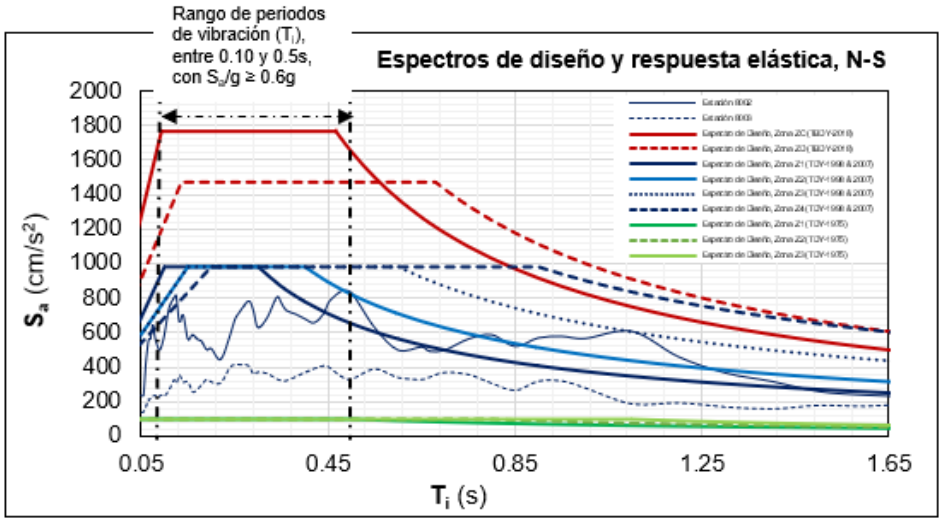


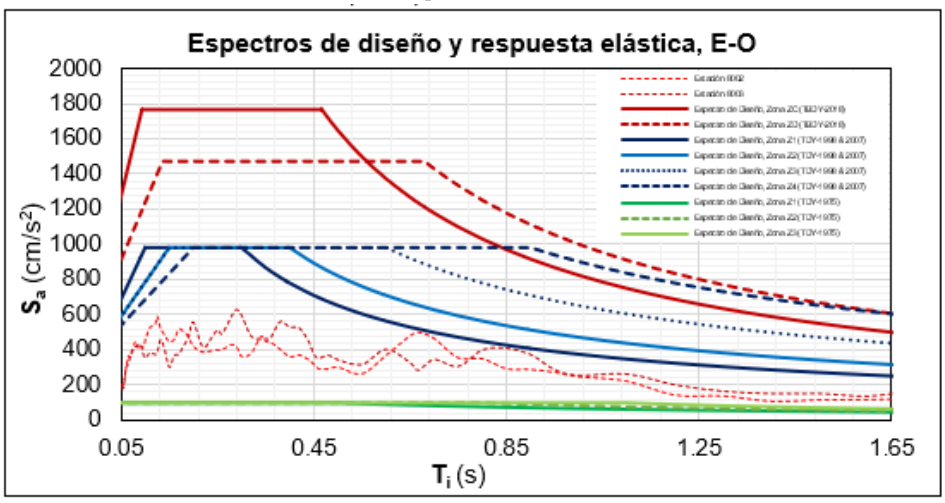
Figura 3.11.5 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para las estaciones sismológicas 8002 a 8003, provincia de Osmaniye, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.11.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sismológicas 8002 y 8003, instaladas en la provincia de Osmaniye, según se muestra en la Figura 3.11.10

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
8002	0.86	0.60	1.10
8003	0.42	0.64	0.41



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.11.6 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según las versiones del Reglamento TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica correspondientes a los reportes de las estaciones sismológicas 8002 y 8003 con mayor excitación dentro de la zona de la provincia de Osmaniye, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.11.4. Daños estructurales

En el exterior se observó daño en las losetas del pavimento peatonal, presumiblemente debido al movimiento relativo de los cuerpos aislados y su cimentación (Figura 3.11.7).

Durante el recorrido se detectaron daños no estructurales (agrietamiento inclinado ligero) en algunos muros divisorios de la planta baja. No se registró daño estructural alguno. Es notorio que el edificio sigue en construcción de detalles de acabados (ver Figura 3.11.8a) a d)) e instalaciones (Figura 3.11.9a) a j)), pero que no entorpece su funcionamiento.

La Figura 3.11.10a) a e) muestran detalles de los aisladores sísmicos (543 en total) tipo péndulo invertido por fricción, colocados en el nivel del sótano de todos los cuerpos de la estructura del hospital de la ciudad de Osmaniye.

De acuerdo con las mediciones de desplazamiento de las placas testigo en el sótano aislado, aparentemente el edificio experimentó vibración de torsión (Figura 3.11.11). Se presume que se debió a diferentes valores de los coeficientes de fricción estático de los aisladores. Asimismo, para un correcto funcionamiento de este sistema de registro, se requiere que la aguja esté en contacto permanente con la placa, de modo que raye la placa en todo momento. Es claro que es preferible un sistema de medición electrónico, pero debe contar con un subsistema de baterías de respaldo, en caso de que se interrumpa el suministro eléctrico.

a) b)

Figura 3.11.7 Daño observado en las losetas exteriores del pavimento peatonal, aparentemente debido al movimiento relativo de los cuerpos aislados y su cimentación. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Interior del hospital sin daños

a)

Se aprecia que los trabajos de construcción no habían terminado al momento de la visita

b)

c)

d)

Figura 3.11.8 Vistas del interior sin daños y ejecución de trabajos de construcción de acabados en proceso. *Fuente: Archivo personal de los autores*.

a)

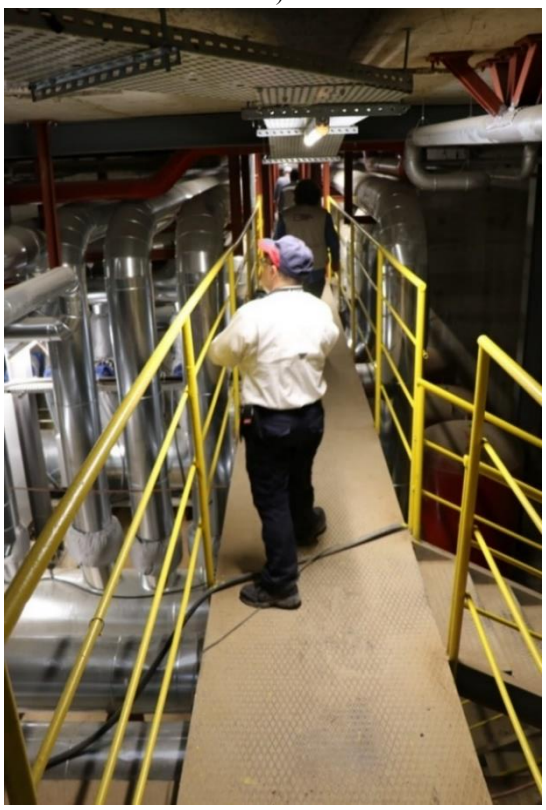
Daños ligeros en elementos estructurales en la planta baja

b)

Sala de máquinas

c)

d)



e)

Soportes de tuberías en la junta del edificio aislado

f)

g)

Tablero de control eléctrico

h)

i)

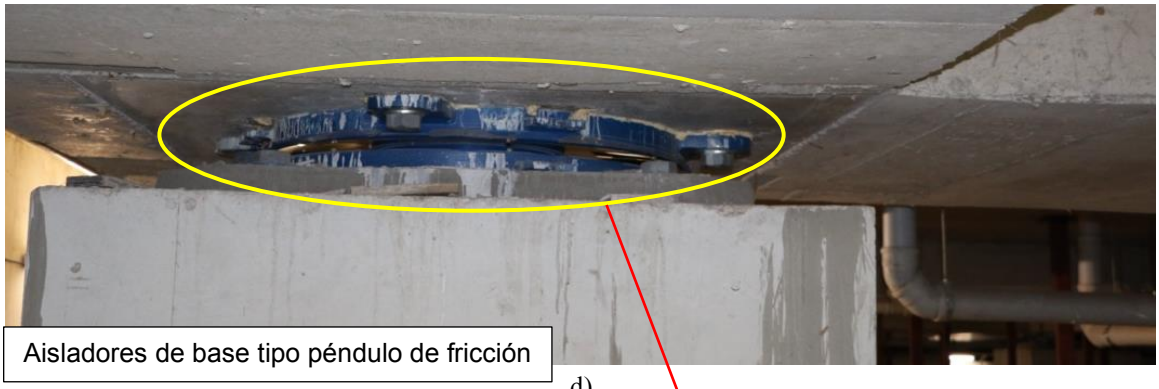
j)

Figura 3.11.9 Vistas que muestran el estado con daños nulos de las diferentes instalaciones localizadas en planta baja del hospital. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

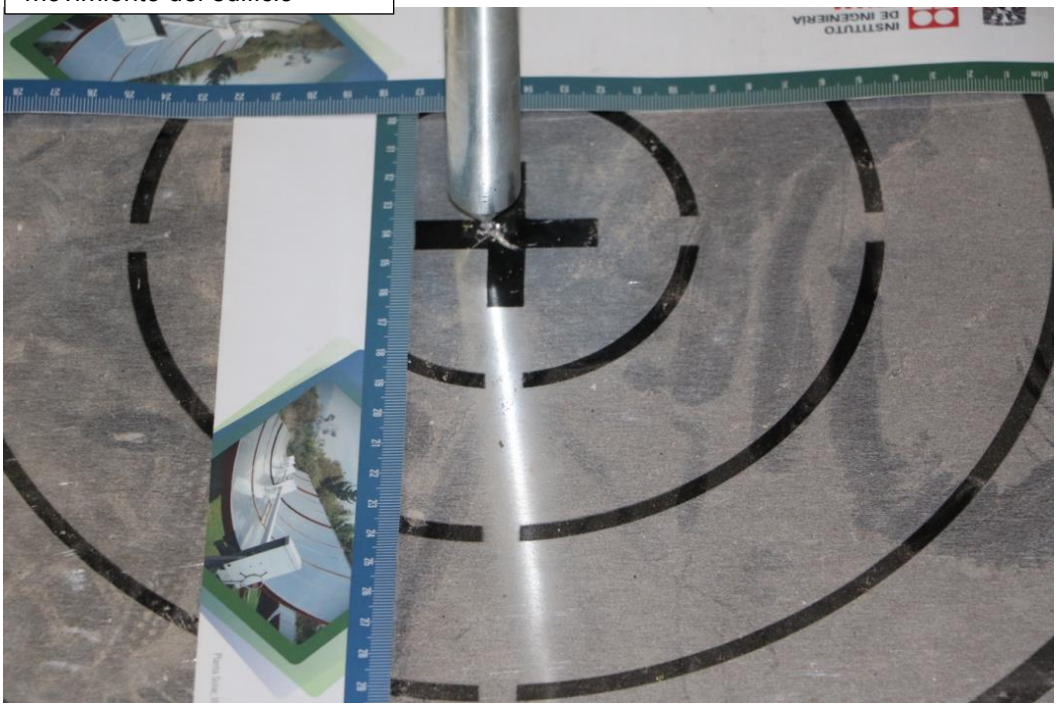


d)

e)

Figura 3.11.10 Diversos detalles de los 543 aisladores sísmicos tipo péndulo invertido por fricción, colocados en el nivel del sótano de todos los cuerpos de la estructura del Hospital de la ciudad de Osmaniye. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)



b)

Figura 3.11.11 Detalles de operación de la placa testigo, colocada en el nivel del sótano, que registró los movimientos sísmicos del edificio de febrero de 2023. *Fuente: Archivo personal de los autores*.

3.12. Nurdagi

3.12.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

El distrito de Nurdagi, localizado dentro de la provincia de Gaziantep, se encuentra aproximadamente a 45 km al Oeste de esta ciudad, situada al sur de Turquía, con extensión territorial de 798.34 km^2, y población estimada para el año de 2020 de 40,793 habitantes (2´130,432 habitantes para la provincia completa de Gaziantep, censo del año 2021); el distrito de Nurdagi se encuentra al sur de Kahramanmaras (ver Figura 3.12.1).

Figura 3.12.1 Localización del distrito de Nurdagi, dentro de la provincia de Gaziantep, al sur de Kahramanmaras y de Turquía. *Fuente: Google Maps (2023F).*

3.12.2. Aceleraciones máximas reportadas

La Figura 3.12.2 presenta la ubicación de las estaciones sísmicas 2712 y 4632, localizadas en la zona del distrito de Nurdagi.

Posteriormente, la Tabla 3.12.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA); en la estación 2712, cercana a la zona de edificios visitados, se presentaron las máximas aceleraciones del suelo, por arriba de los 500 cm/s^2 para los efectos horizontales y superiores a 300 cm/s^2 para la componente vertical. Cabe comentar que, en relación con la estación 4632, ésta se localiza dentro de la zona de interés del distrito de Nurdagi, pero está bastante distante de los edificios de interés. La Figura 3.12.3 muestra los registros de aceleraciones de las dos estaciones sísmicas 2712 y 4632.

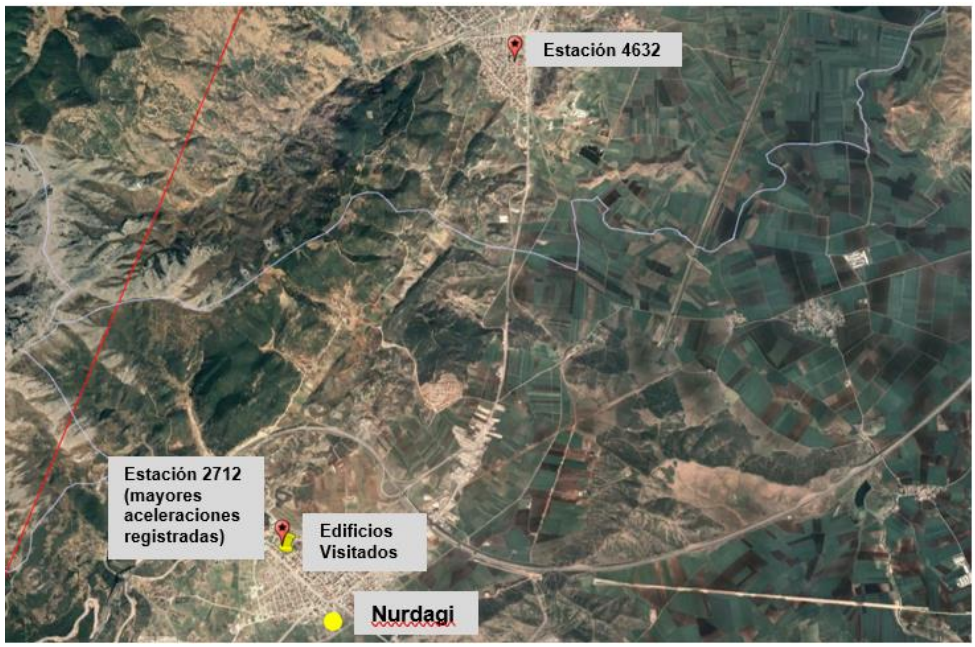
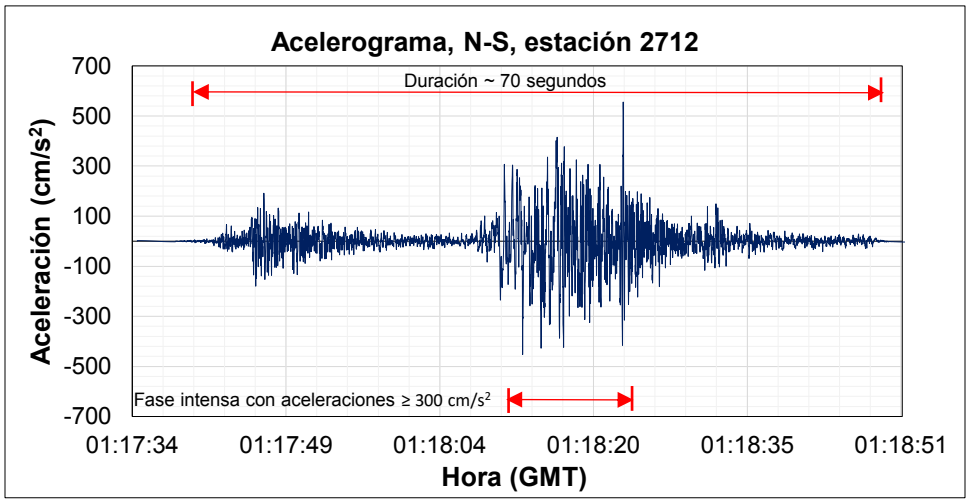


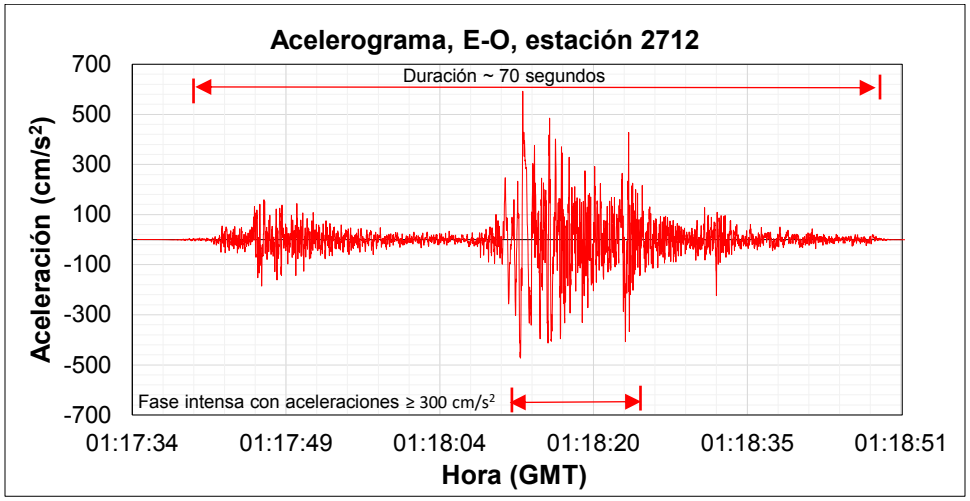
Figura 3.12.2 Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas localizadas en Nurdagi y de los edificios visitados en la zona de interés. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023G).*

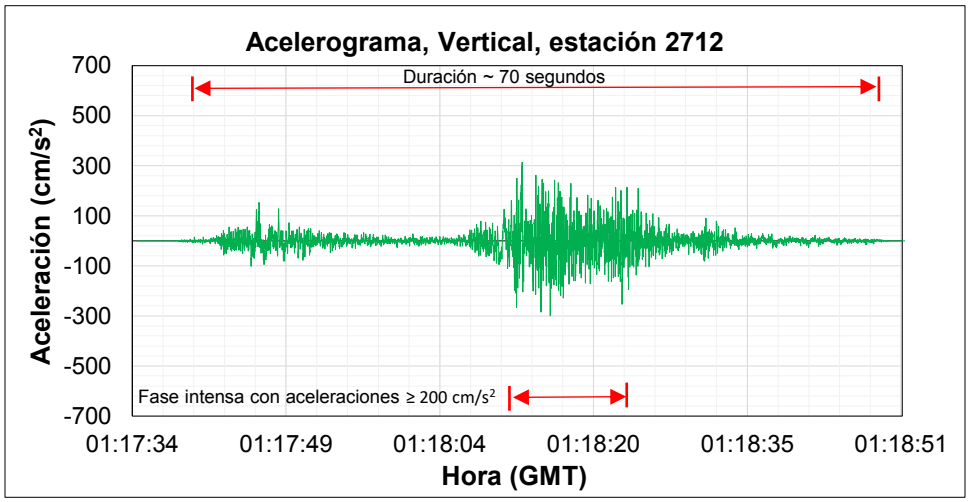
Tabla 3.12.1 Valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA)*, donde se indica que en la estación 2712 se presentaron las intensidades máximas del suelo, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
2712	555.6	592.4	313.8
4632	359.5	299.2	200.2

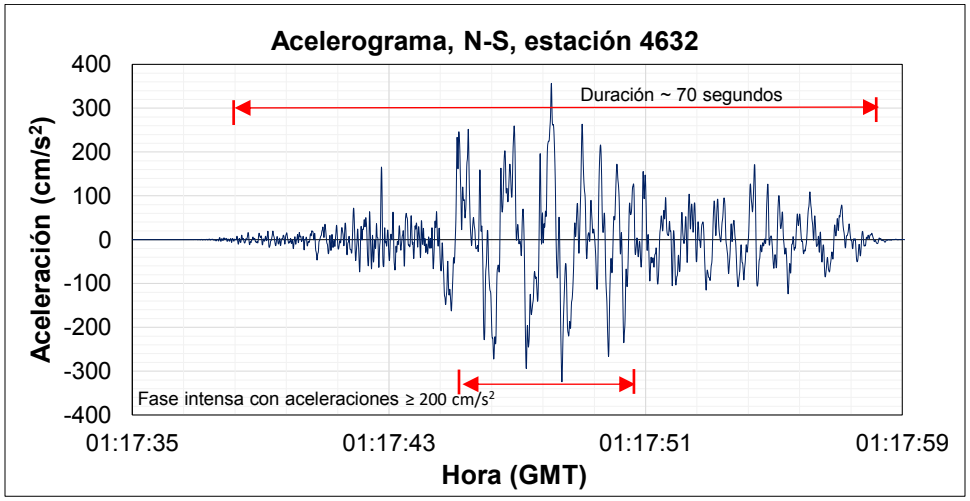
Nota: El sismo principal ocurrió el 6 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT)
Fuente: TADAS (s. f.).

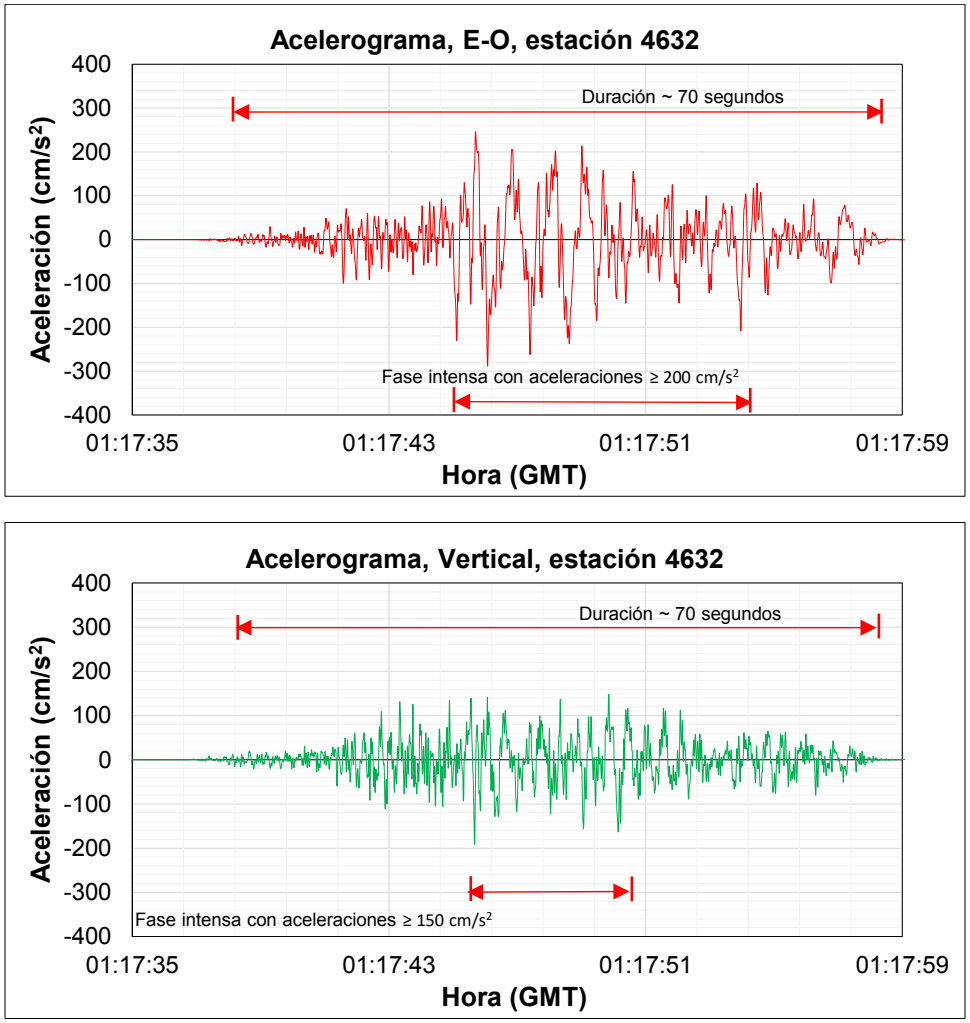






a) estación 2712





b) estación 4632

Figura 3.12.3 Registros de aceleraciones de las estaciones sísmicas 2712 y 4632, zona del distrito de Nurdagi, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.12.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

En la Tabla 3.12.2 se presentan los resultados reportados de los periodos dominantes del movimiento del suelo (T_s), correspondientes a los sitios de las estaciones sismológicas 2712 y 4632, donde, con base en estos datos, incluyendo los valores determinados de las velocidades de ondas de cortante V_{s30} (m/s), se concluye que las condiciones de los sitios de interés corresponden a suelos tipo duro y transición, respectivamente.

Tabla 3.12.2 Periodos dominantes del movimiento del suelo y resultado reportado de velocidad de onda de cortante V_{s30}, a partir de lo cual se concluye que las condiciones de los sitios de las estaciones sismológicas 2712 y 4632, instaladas en la zona del distrito de Nurdagi* son de suelo duro y transición

Estación	Ubicación de Estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
2712	37.184000°	36.732830°	0.20 a 0.60	(-)	DURO^{+}
4632	37.256028°	36.773694°	1.02	428	TRANSICIÓN^{+} [ZC]

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017; (-) Sin información en la base de datos.
Fuente: TADAS (s. f.).

La Figura 3.12.4 muestra los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones; amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las estaciones 2712 y 4632, instaladas en la zona del distrito de Nurdagi, según su ubicación en la Figura 3.12.2. La Tabla 3.12.3 tiene un resumen de las seudo-aceleraciones espectrales máximas, haciendo ver que en el sitio de la estación 2712 se presentan los resultados más críticos, con seudo-aceleraciones espectrales horizontales del orden de 1.8 g, y verticales de hasta 1g; como referencia, esta estación está cercana de los edificios visitados.

Posteriormente, la Figura 3.12.5 muestra la comparación de los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones de componentes horizontales, amortiguamiento viscoso, ξ= 5%), correspondientes a las dos estaciones sismológicas 2712 y 4632 localizadas en la zona del distrito de Nurdagi, a raíz de los efectos del sismo principal del 6 de febrero, 2023, contra los espectros elásticos de diseño que contemplan los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018. Cabe señalar que, las ordenadas de los espectros de respuesta de la estación 2712 tienden a ser superiores con respecto de los niveles de diseño, incluyendo la versión última de Reglamento TDY-2018; la versión TDY 1975 queda bastante superada, suponiendo que rigió en el diseño sismorresistente de la mayoría de los edificios con daños importantes.

Suponiendo que los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango entre 0.16 s y 1.2 s, es muy probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona del distrito de Nurdagi, estuvo expuesta a seudo-aceleraciones espectrales superiores a 1,000 cm/s^2 (ver componente E-O, estación 2712), seguramente excediendo los valores de diseño, lo cual parece congruente con el tipo importante de daños observados durante el recorrido; lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante nuestra visita al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.

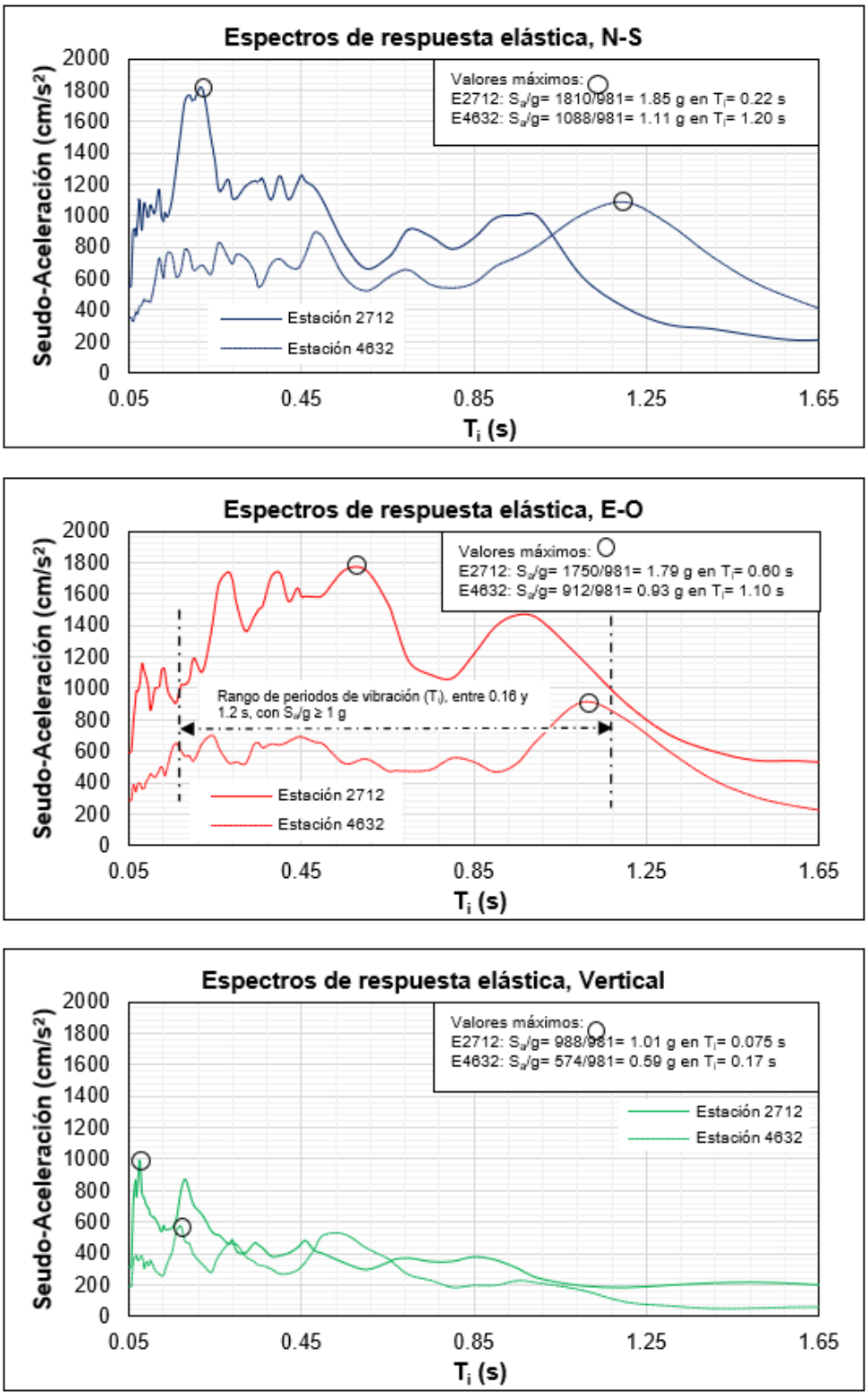
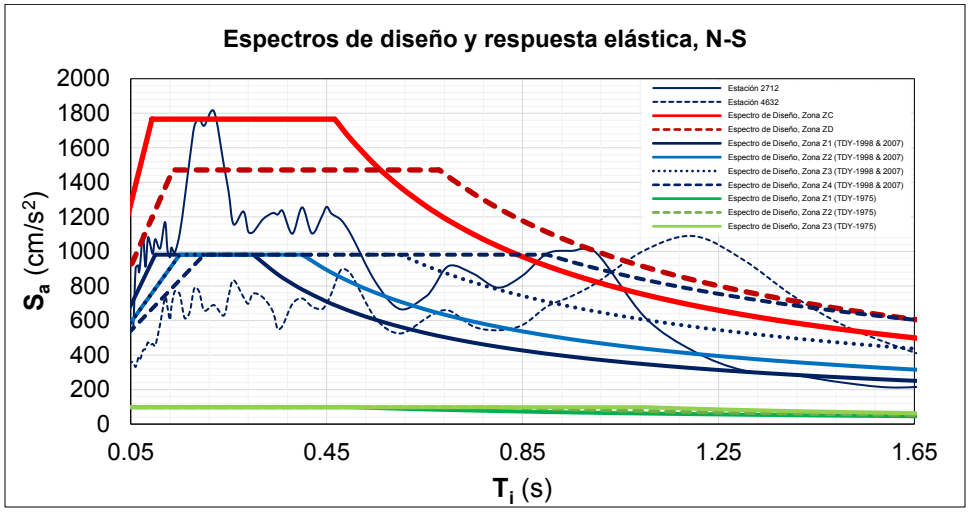


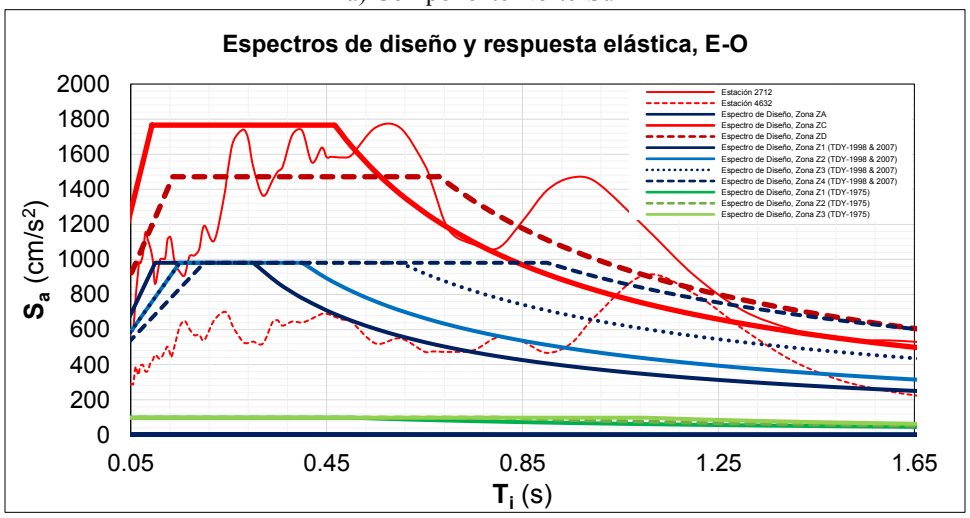
Figura 3.12.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%), correspondientes a los reportes de las estaciones sísmicas 2712 y 4632, distrito de Nurdagi, sismo principal del 6 de febrero de 2023**.** *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.12.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a las estaciones sísmicas 2712 y 4632, instaladas en la zona del distrito de Nurdagi, según se muestra en la Figura 3.12.2

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
2712	1.85	1.79	1.00
4632	1.11	0.93	0.58



a) Componente Norte-Sur



b) Componente Este-Oeste

Figura 3.12.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para las estaciones sismológicas 2712 y 4632, dentro de la zona del distrito de Nurdagi, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.12.4. Daños estructurales

En las Figuras 3.12.6 a 3.12.10 se muestran los daños de un conjunto de edificios.

ANTES

a)

DESPUÉS

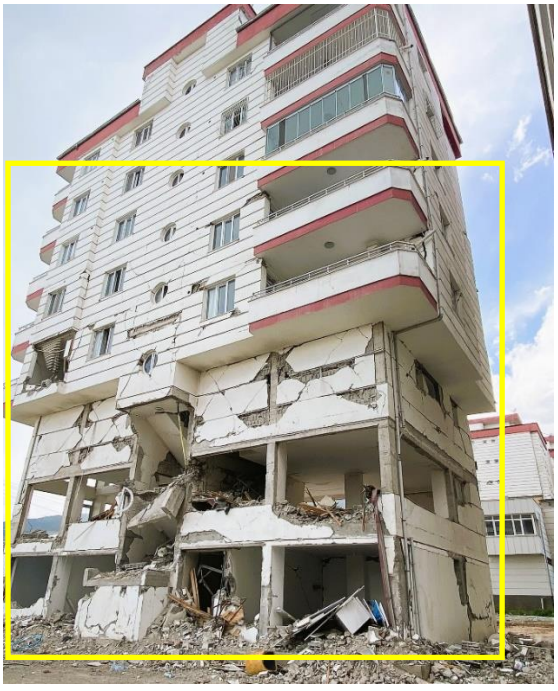
b)

Vistas del antes y después de edificios colapsados y demolidos, 7 niveles más cubierta ligera por arriba de azotea, estructurados a base de marcos esbeltos de concreto reforzado; además, en esta zona de varias construcciones colapsadas (demolidas), se presentan vistas de otros edificios con daños importantes en los muros de mampostería simple (mal ligados) de sus fachadas (ver recuadros amarillos), después de los sismos de febrero de 2023.

c)

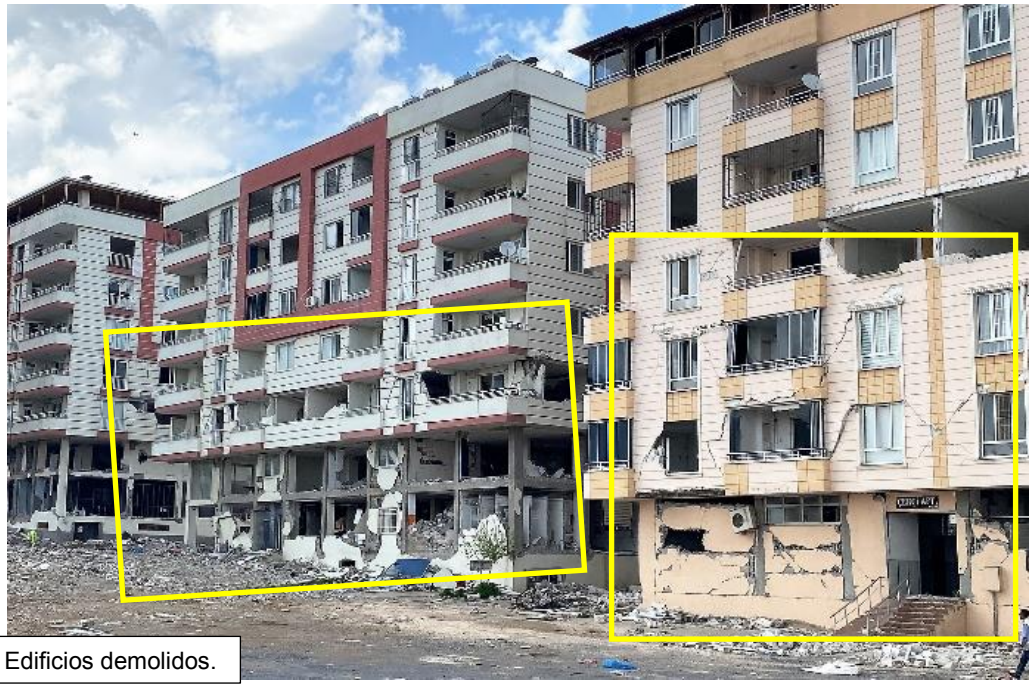
DESPUÉS

d)



e)

Vistas del antes y después de un edificio de 8 niveles estructurado a base de marcos esbeltos de concreto reforzado, con daños importantes en los muros de mampostería simple (mal ligados) de sus fachadas (ver recuadros amarillos), en zona de varias construcciones colapsadas (demolidas) y otros edificios con severas anomalías, después de los sismos de febrero de 2023.



Edificios demolidos.

f)

g)

ANTES

h)

DESPUÉS

i)

j)

Vista del antes y después de otros edificios altos (entre 6 y 8 niveles) estructurados a base de marcos esbeltos de concreto reforzado, y muros de fachadas y de relleno con mampostería simple mal ligada a las estructuras de concreto, éstos con daños considerables (ver recuadros amarillos), misma zona de varias construcciones colapsadas (demolidas) y otros edificios con severas anomalías, después de los sismos de febrero de 2023.

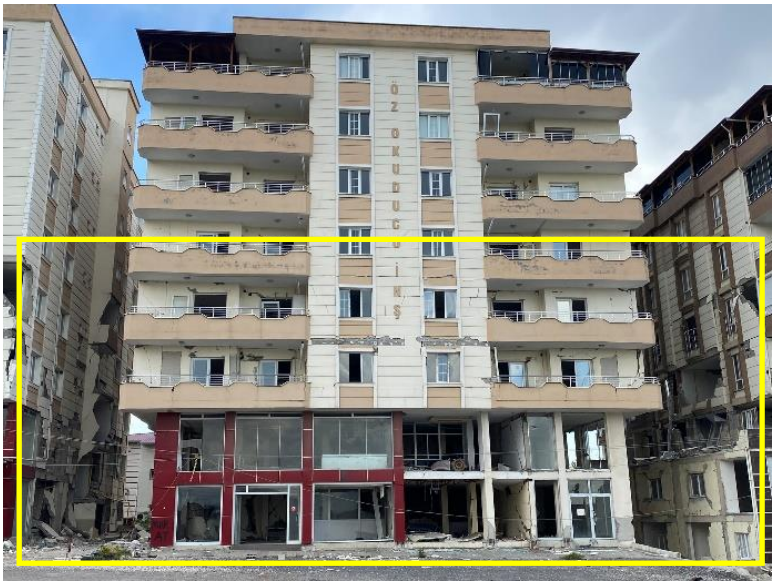
k)

l)

Edificios adicionales altos (entre 6 y 8 niveles) estructurados a base de marcos esbeltos de concreto reforzado, y muros de fachadas y de relleno con mampostería simple mal ligada a las estructuras de concreto, éstos con daños considerables (ver recuadros amarillos), misma zona de varias construcciones colapsadas (demolidas) y otros edificios con severas anomalías, después de los sismos de febrero de 2023.

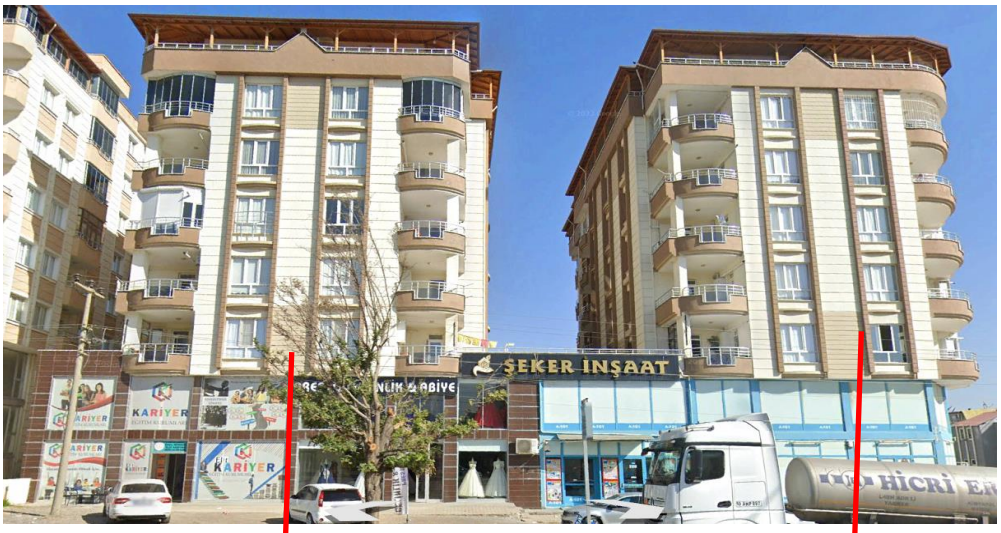
Muchas de las columnas de estos edificios, en los extremos inferiores de planta baja, muestran deficiencias importantes del diseño y detallado estructural de sus armados de refuerzo transversal.

m)



n)

ANTES



o)

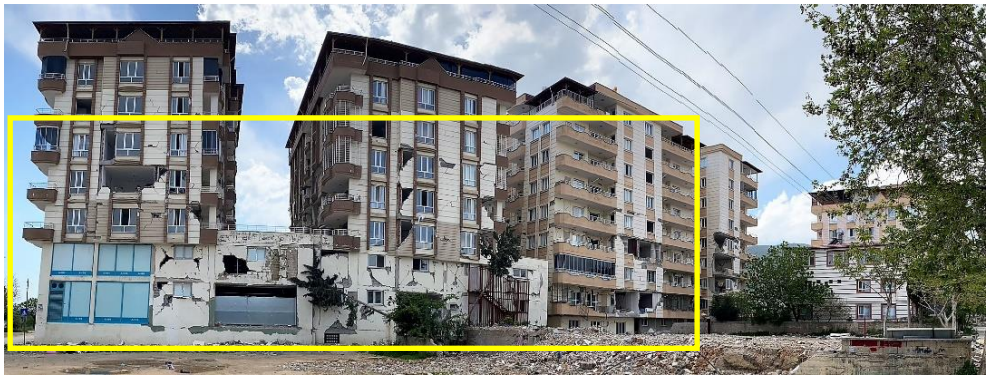
DESPUÉS

p)

q)

Vista del antes y después de otros edificios altos (7 niveles más cubierta ligera arriba de azotea), estructurados a base de marcos de concreto reforzado (esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), y muros de fachadas y de relleno con mampostería simple mal ligada a las estructuras de concreto, éstos con daños considerables (ver recuadros amarillos), misma zona de varias construcciones colapsadas (demolidas) y otros edificios con severas anomalías, después de los sismos de febrero de 2023.

Figura 3.12.6 Varias vistas del antes y después de un conjunto de edificios altos (entre 6 y 8 niveles) dimensionados con marcos esbeltos de concreto reforzado, con daños importantes en la mayoría de los muros de fachadas y de relleno de los entrepisos inferiores, a base de mampostería simple mal ligada a la estructura principal, según se describieron de manera esquemática anteriormente con los recuadros amarillos; además, muchas columnas de estos edificios, en los extremos inferiores de planta baja, con deficiencias importantes del diseño y detallado estructural del refuerzo transversal. *Fuente: a), c), h) y o): Google Maps (2023H); b), d) – g), i) – n), p), q): Archivo personal de los autores.*



a)

b)

Edificios demolidos.

c)

d)

e)

f)

Daños nulos en construcción de 3 niveles, aparentemente estructurada solamente con muros de mampostería.

Daños nulos en construcción de 3 niveles, aparentemente estructurada solamente con muros de mampostería.

g)

h)

i)

Detalles de deficiencias del diseño y detallado estructural observado en extremos inferiores de columnas de planta baja, con escasez de refuerzo transversal en la conexión viga-columna, así como traslapes indeseables con cortes de barras longitudinales, concreto mala calidad, entre otros.

j) k)

l) m)

Figura 3.12.7 Vistas de varios edificios altos (entre 6 y 8 niveles) dimensionados con marcos de concreto reforzado (esbeltos, sin suficiente rigidez lateral), con daños importantes en la mayoría de los muros de mampostería simple de fachadas y de relleno de los entrepisos inferiores, a base de mampostería frágil mal ligada a la estructura principal (ver recuadros amarillos), así como de un pequeño edificio de 3 niveles con daños nulos (ver recuadros azules); además, se observan muchas columnas de los edificios altos, en los extremos inferiores de planta baja, deficiencias importantes del diseño y detallado estructural de los traslapes del refuerzo transversal. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

ANTES

a)

DESPUÉS

b)

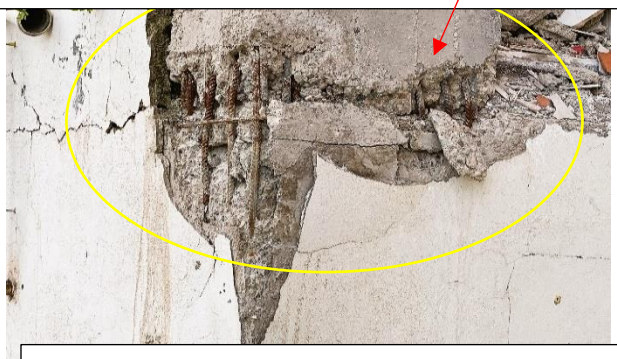
c)

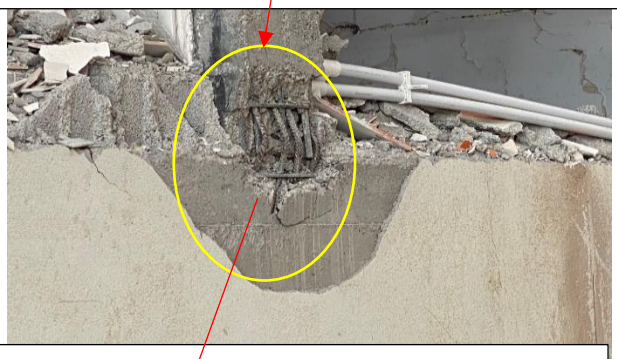
d)

e)

f)

Vista de los muros agrietados de los primeros entrepisos, así como también descripción de los detalles de deficiencias del diseño estructural observado en extremos inferiores de columnas de planta baja, con escasez de estribos en la conexión viga-columna, así como traslapes indeseables con cortes de barras longitudinales, concreto mala calidad, entre otros.





Detalles del pandeo del acero longitudinal en los extremos inferiores de columnas de planta baja, a raíz del mal diseño estructural observado, con escasez o nula cantidad de estribos, concreto mala calidad, entre otros.

g)

h)

i)

Figura 3.12.8 Vistas del antes y después de otros edificios altos, a base de marcos esbeltos de concreto reforzado, con agrietamientos considerables en los muros de mampostería de los primeros entrepisos (ver recuadros amarillos), así como también presentación de los detalles de deficiencias del diseño estructural observado en extremos inferiores de columnas de planta baja, con escasez de estribos en la conexión viga-columna, así como traslapes indeseables con cortes de barras longitudinales, concreto de mala calidad, entre otros. *Fuente: a): Google Maps (2023I); b) – i): Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

Figura 3.12.9 Vistas adicionales de otros edificios altos dimensionados con marcos esbeltos de concreto reforzado con los muros agrietados de las fachadas de los primeros entrepisos, a base de mampostería simple (ver recuadros amarillos). *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

Figura 3.12.10 Vistas de una construcción larga tipo escuela de tres niveles, estructurada a base de muros de mampostería, aparentemente sin daños, y de una pequeña escultura metálica (símbolo del lugar) ligada a una base de concreto reforzado muy dañada, a punto de colapsar, a raíz de los efectos de los sismos de febrero de 2023. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.13. Kuscumustafa

3.13.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

El pueblo de Kuscumustafa se encuentra dentro del distrito de Íslahiye que a su vez forma parte de la provincia de Gaziantep, localizada en la región central del sur de Turquía, con una población estimada aproximada para el año de 2022 de 835 habitantes (2´130,432 habitantes para la provincia completa de Gaziantep, censo del año 2021) (ver Figura 3.13.1); Kuscumustafa se encuentra al sur de Kahramanmaras.

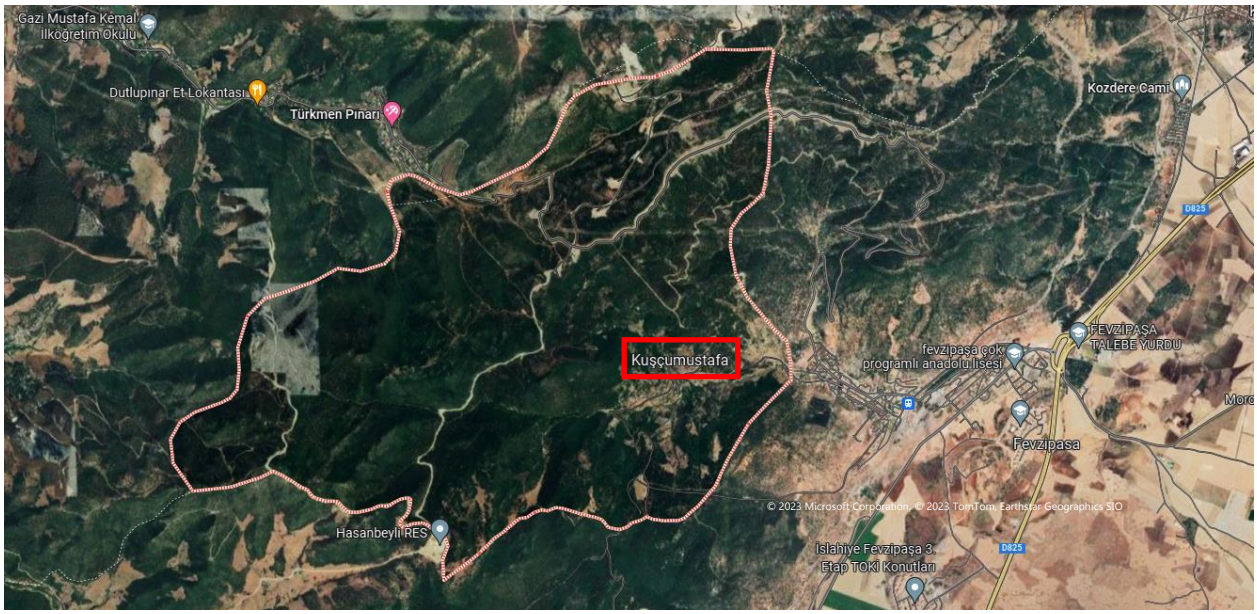


Figura 3.13.1 Localización y extensión geográfica del pueblo de Kuscumustafa, dentro del distrito de Íslahiye. *Fuente: Google Maps (2023J).*

3.13.2. Aceleraciones máximas registradas

En la Figura 3.13.2 se describe esquemáticamente la ubicación de la estación sismológica 2708, así como la posición del edificio visitado, correspondiente al pueblo de Kuscumustafa.

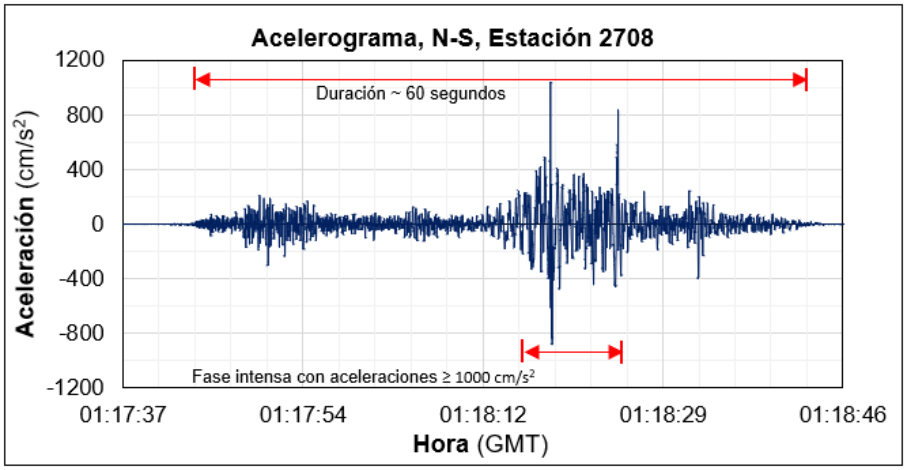
La Tabla 3.13.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas (PGA) que se registraron en el sitio de interés, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023. La Figura 3.13.3 muestra los acelerogramas obtenidos en la misma estación 2708. Nótese que los valores máximos reportados de aceleraciones son extraordinariamente grandes, incluyendo los efectos verticales.

Figura 3.13.2 Posición esquemática de la ubicación de la estación sismológica 2708, localizada en la zona del pueblo de Kuscumustafa y de los edificios visitados. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023K).*

Tabla 3.13.1 Valores reportados de aceleraciones máximas del suelo registradas (PGA)* en la estación 2708, según el temblor principal del 06-febrero-2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
2708	1,036.46	812.66	644.9

Nota: El sismo principal ocurrió el 06 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT)
Fuente: TADAS (s. f.).



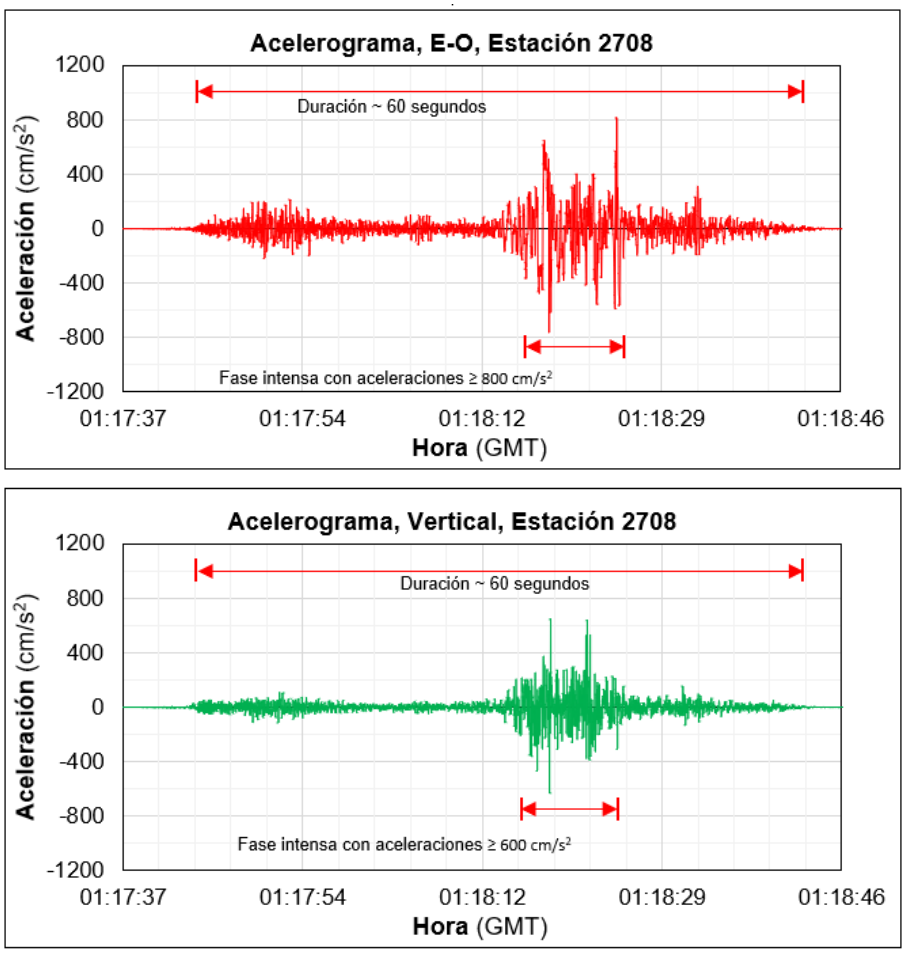


Figura 3.13.3 Registros de aceleraciones de la estación 2708, pueblo de Kuscumustafa, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.13.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

Después, en la Tabla 3.13.2 se presentan los resultados del periodo dominante del movimiento del suelo (T_s) y del valor reportado de la velocidad de ondas de cortante V_{s30}, correspondiente al sitio de la estación sismológica 2708, donde, con base en estos datos, se concluye que las condiciones del sitio de interés parecen corresponder a un suelo duro (tipo Lomas de la Ciudad de México), con respecto de lo especificado en el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México; lo anterior se pudo corroborar durante nuestros recorridos respectivos.

En la Figura 3.13.4 se muestran los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) para amortiguamiento viscoso, ξ= 5%, correspondientes a la estación 2708, instalada en la zona del pueblo de Kuscumustafa, según su ubicación de la Figura 3.13.2.

Tabla 3.13.2 Periodo dominante del movimiento del suelo y valor reportado de la velocidad de ondas de cortante V_{s30}, donde se concluye que la condición del suelo tiende al tipo duro, según la ubicación de la estación sísmica 2708 instalada en el pueblo de Kuscumustafa*

Estación	Ubicación de estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
2708	37.585510°	36.830300°	0.70	523	DURO^{+} [ZC]

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación del tipo de suelo, según NTC-Cimentaciones del RCCM-2017. *Fuente: TADAS (s. f.)*

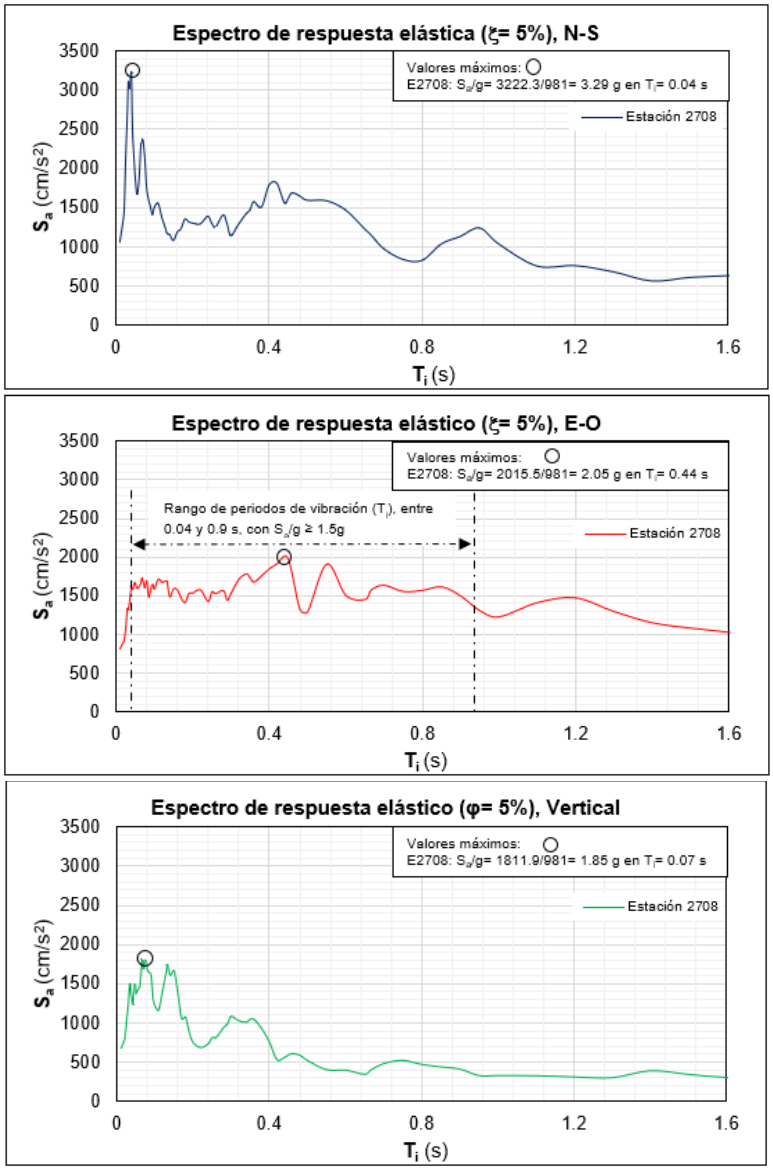


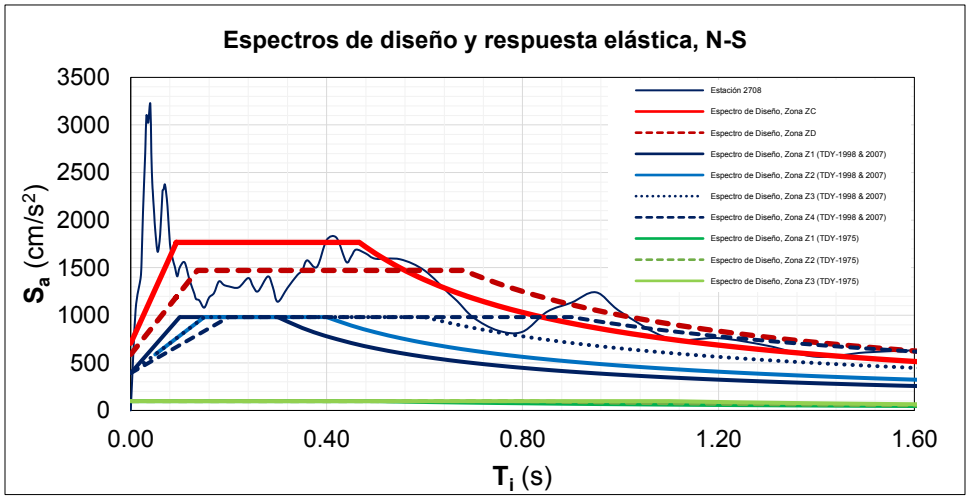
Figura 3.13.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para la estación sísmica 2708. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

La Tabla 3.13.3 describe un resumen de las seudo-aceleraciones espectrales máximas, haciendo ver que se presentan resultados críticos de $S_a/g \geq 3$ (componente N-S); cabe recordar que, como referencia, esta estación está ubicada casi al lado del edificio dañado y visitado en el recorrido, de acuerdo con las fotos mostradas posteriormente.

Tabla 3.13.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a la estación sísmica 2708, instalada en la zona del pueblo de Kuscumustafa, según se muestra en la Figura 3.13.2

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
2708	3.29	2.05	1.85

En la Figura 3.13.5 se comparan los espectros elásticos de diseño para la zona de interés, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para la Estación Sismológica 2708, localizada en la zona del pueblo de Kuscumustafa, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. Nótese que las ordenadas espectrales correspondientes a los reportes de la misma estación tienden a superar los niveles de diseño de las diferentes versiones de Reglamento TDY, en un rango de periodos de vibración bastante amplio. Por otro lado, surge la duda de este tipo de resultados, tomando en cuenta las dos construcciones (de pocos niveles, con T_1 por debajo de 0.5 s) adyacentes y equidistantes al sitio de la estación 2708, como se hará ver posteriormente mostrando las fotos respectivas, una muy dañada y la otra prácticamente ilesa.



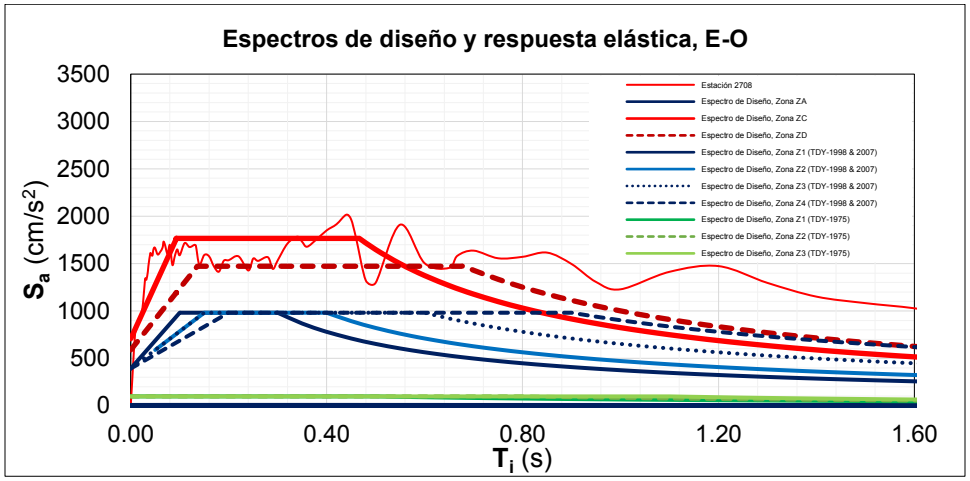


Figura 3.13.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para la estación sismológica 2708, localizada en la zona del pueblo de Kuscumustafa, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.13.4. Daños estructurales

En la Figura 3.13.6 se presentan los daños estructurales de un edificio cercano a la estación sismológica visitada.

ANTES

a)

Edificio de interés.
Edificio colindante.

b)

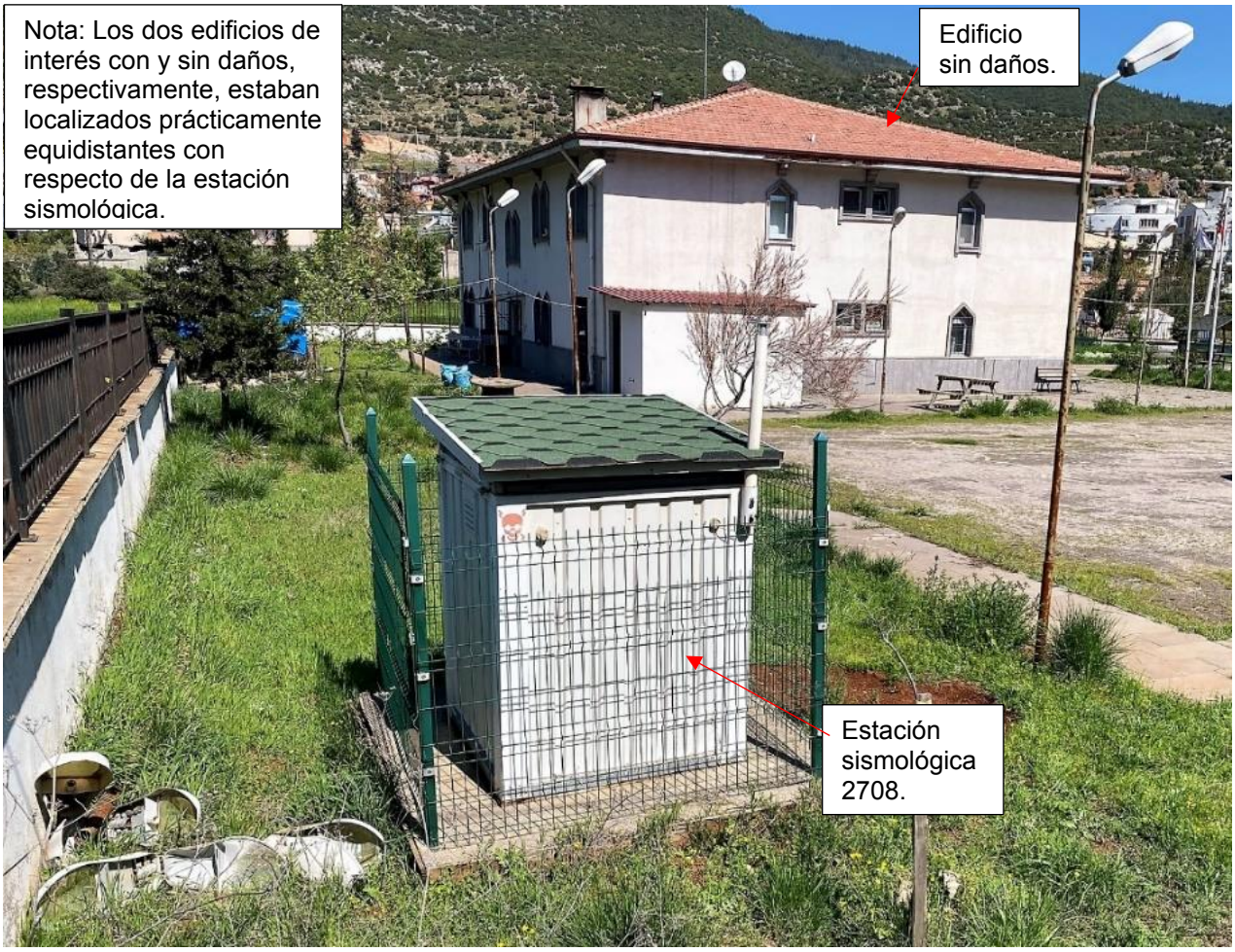
DESPUÉS

Edificio de interés con daños.
Estación sismológica 2708.
Edificio colindante sin daños.

c)

Edificio con daños.
Estación sismológica 2708.

d)


Nota: Los dos edificios de interés con y sin daños, respectivamente, estaban localizados prácticamente equidistantes con respecto de la estación sismológica.
Edificio sin daños.
Estación sismológica 2708.

e)

Vistas de fachadas del edificio de 3 niveles, con daños principales en el entrepiso inferior, estructurado a base de marcos de concreto reforzado y muros de mampostería simple (ver recuadros amarillos), y un muro de concreto reforzado en la zona de la escalera.

f)

Vistas de fachadas del edificio de 3 niveles, con daños principales en el entrepiso inferior, estructurado a base de marcos de concreto reforzado y muros de mampostería simple (ver recuadros amarillos), y un muro de concreto reforzado en la zona de la escalera.

g)

h)

i)

j)

Vista de la fachada principal del edificio de interés (3 niveles) con daños severos en el entrepiso inferior (PB-N1).

En los daños observados se pudo detectar que los recubrimientos tipo aislamiento (con espuma comprimida), colocados para contrarrestar los efectos de temperatura local, fueron desligados, a raíz de los efectos sísmicos.

Tipos de daños importantes en el muro de concreto reforzado del entrepiso inferior (PB-N1), existente en la zona de la escalera, y en la mayoría de los elementos estructurales de mampostería simple.

k)

Agrietamiento inclinado dominante, según el tipo de daños importantes en el muro de concreto reforzado existente en la escalera del entrepiso inferior (PB-N1), observándose el concreto y los armados horizontal y vertical muy deficientes. No se ve deficiente el refuerzo del muro, aunque se podría argumentar que las cabezas deberían tener más confinamiento para una estructura de ductilidad alta, pero no para una media o baja.

l)

Detalles del armado existente en el extremo inferior del muro de concreto reforzado localizado en la escalera del entrepiso inferior (PB-N1), con refuerzos horizontal y vertical muy deficientes (acero liso, anclajes deficientes, concreto de mala calidad, etc).

m)

Tipos de daños importantes en la mayoría de los elementos divisorios frágiles de mampostería simple, entrepiso inferior (PB-N1).

n)

o)

Tipos de daños importantes en la mayoría de los elementos divisorios frágiles de mampostería simple, entrepiso inferior (PB-N1).

p)

Otras vistas del tipo de los daños importantes en la mayoría de los elementos “estructurales” frágiles de mampostería simple, entrepiso inferior (PB-N1).

q)

Daños nulos en las columnas y vigas existentes, y daños importantes en la mayoría de los acabados y elementos divisorios frágiles de mampostería simple, entrepiso inferior (PB-N1).

r) s)

Figura 3.13.6 Vistas del antes y después del comportamiento sismorresistente de dos pequeños edificios cercanos a la Estación Sismológica 2708, uno con daños importantes y el otro con daños prácticamente nulos, localizados en la zona de Kuscumustafa. *Fuente: a) y b): Google Maps (2023L); c) – s): Archivo personal de los autores.*

3.14. Iskenderun (puerto)

3.14.1. Descripción de la ciudad: localización, extensión geográfica y poblacional

El distrito y ciudad de Alejandreta (en turco Iskenderun) se encuentra dentro de la provincia de Hatay, situada en la región del mar Mediterráneo con extensión territorial de 2,138 km^2 (ver Figura 3.14.1); la población estimada para el año de 2010 se encontraba en 331,397 habitantes (la provincia de Hatay cuenta con una población de 1´670,712 habitantes, según el censo del año 2021).

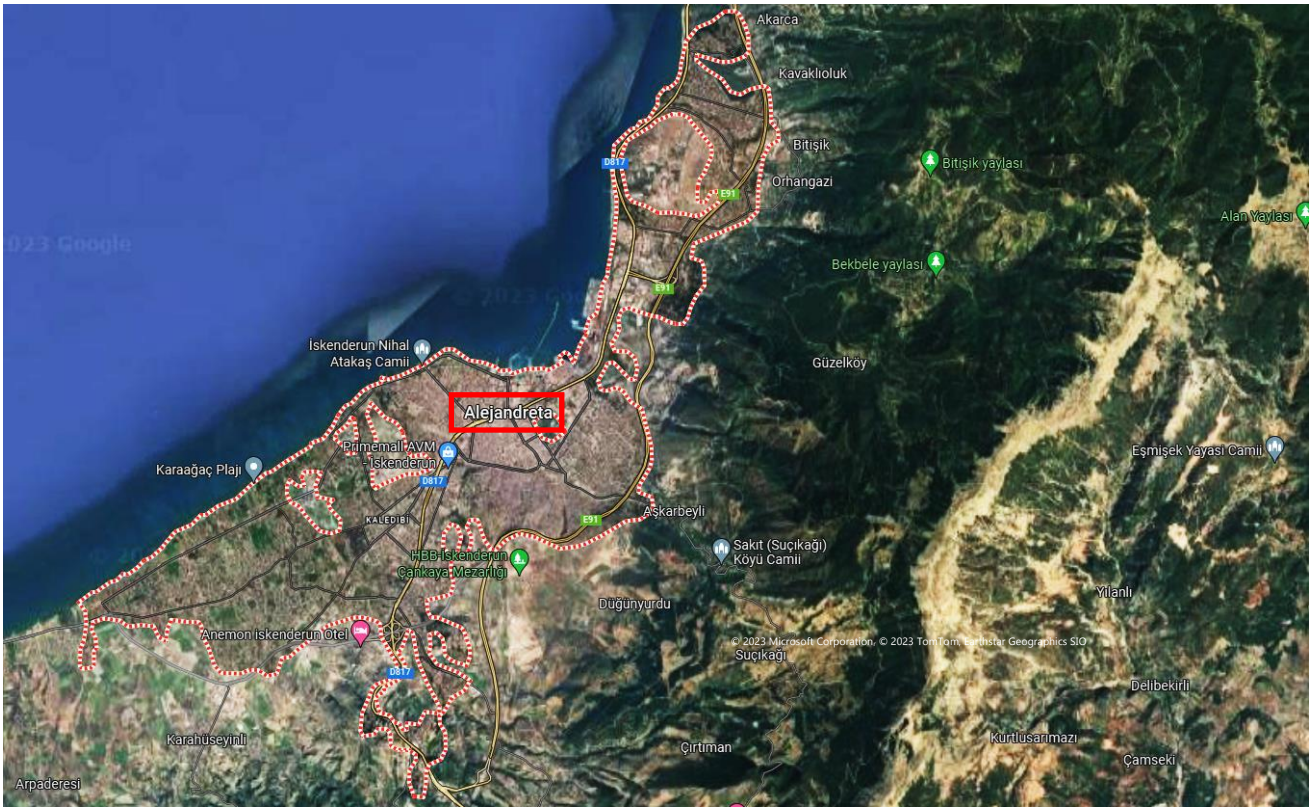


Figura 3.14.1 Localización del distrito y ciudad de Alejandreta (en turco Iskenderun), dentro de la provincia de Hatay. *Fuente: Google Maps (2023M).*

3.14.2. Aceleraciones máximas registradas

En la Figura 3.14.2 se describe la localización de la estación sísmica 3115 en la zona del puerto Iskenderun, incluyendo la posición esquemática de los edificios visitados. Posteriormente, la Tabla 3.14.1 tiene los valores reportados de aceleraciones máximas registradas (PGA) del suelo en la estación 3115, con valores

superiores de 200 cm/s^2, independientemente de la componente, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023. La Figura 3.14.3 tiene los acelerogramas obtenidos en la misma estación 3115.

Figura 3.14.2 Localización de la estación sísmica 3115 en la zona del puerto Iskenderun, incluyendo la posición esquemática de los edificios visitados. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023N).*

Tabla 3.14.1 Valores reportados de aceleraciones máximas del suelo (PGA)*, registradas en la estación 3115, según el temblor principal del 6 de febrero de 2023

Estación	Máximas aceleraciones (cm/s^2)		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
3115	286.7	241.5	214.8

Nota: El sismo principal ocurrió el 6 de febrero de 2023, a las 01:17:32 (GMT)
Fuente: TADAS (s. f.).

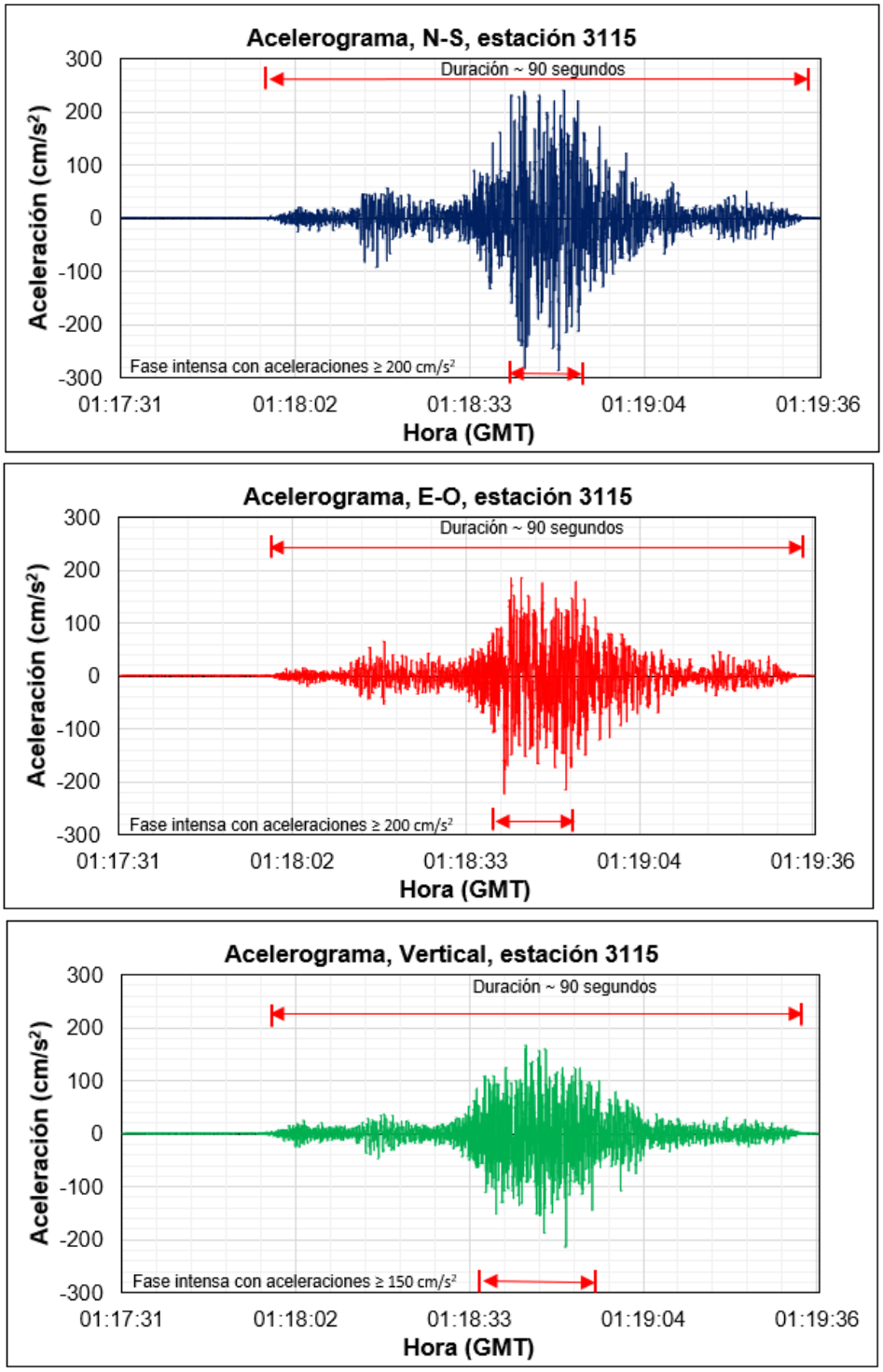


Figura 3.14.3 Registros de aceleraciones de la estación 3115, zona del puerto Iskenderun, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.14.3. Periodos dominantes del movimiento del suelo y espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones)

Después, la Tabla 3.14.2 presenta el resultado del periodo dominante del movimiento del suelo (T_s) y el valor reportado de la velocidad de ondas de cortante V_{s30}, correspondiente al sitio de la estación 3115, donde se concluye que la condición del sitio de interés tiende a corresponder a un suelo tipo duro.

Tabla 3.14.2 Periodo dominante del movimiento del suelo del sitio de la ubicación de la estación 3115, con condiciones similares al suelo duro, zona del puerto Iskenderun*

Estación	Ubicación de Estación		Periodo del suelo, T_s (s)	V_{s30} (m/s)	Clasificación del suelo
	Latitud	Longitud			
3115	36.546340°	36.164590°	0.30	424	DURO^{+} [ZC]

Nota: [ ] Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con el Reglamento contra Terremotos en Edificios en Turquía, 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018; por sus siglas en turco); $^{+}$ Clasificación equivalente, según las NTC-Cimentaciones del RCCM-2017. *Fuente: TADAS (s. f.)*

En la Figura 3.14.4 se muestran los espectros de respuesta elástica (seudo-aceleraciones) para amortiguamiento viscoso, ξ= 5%, correspondiente a la estación 3115, instalada en la zona del puerto Iskenderun, según su ubicación de la Figura 3.14.2. La Tabla 3.14.3 describe las máximas seudo-aceleraciones espectrales, haciendo ver que la componente N-S presenta los resultados más críticos, con $S_a/g \approx 1.20$.

En la Figura 3.14.5 se comparan los espectros elásticos de diseño para la zona de interés, según los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para la Estación Sismológica 3115, localizada en la zona del puerto Iskenderun, según el sismo principal del 6 de febrero de 2023. Nótese que las ordenadas espectrales correspondientes a los reportes de la misma estación, componente N-S, tienden a superar los niveles de diseño de las versiones de Reglamento TDY, en un rango de periodos de vibración de 0.2 a 0.9 s; las capacidades sísmicas de las estructuras diseñadas con la versión del Reglamento TDY 1975 fueron extraordinariamente excedidas.

Cabe reiterar que, suponiendo que los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios colapsados (demolidos) y muy dañados (visitados) cayeran en el rango mencionado de 0.2 s y 0.9 s, es muy probable que la mayoría de este tipo de estructuras, localizadas en la zona del puerto Iskenderun, estuvo expuesta a seudo-aceleraciones espectrales por arriba de los 800 cm/s^2 (ver componente N-S, estación 3115), seguramente muy superiores a los valores de diseño; nuevamente, lo anterior es resultado de hacer una estimación de los periodos fundamentales de vibración (T_1) de los edificios dañados, a raíz de las observaciones hechas durante el recorrido al sitio de interés, a reserva de tener mayor información de planos y memoria estructural, para fines de hacer cálculos y corroborar lo anterior.

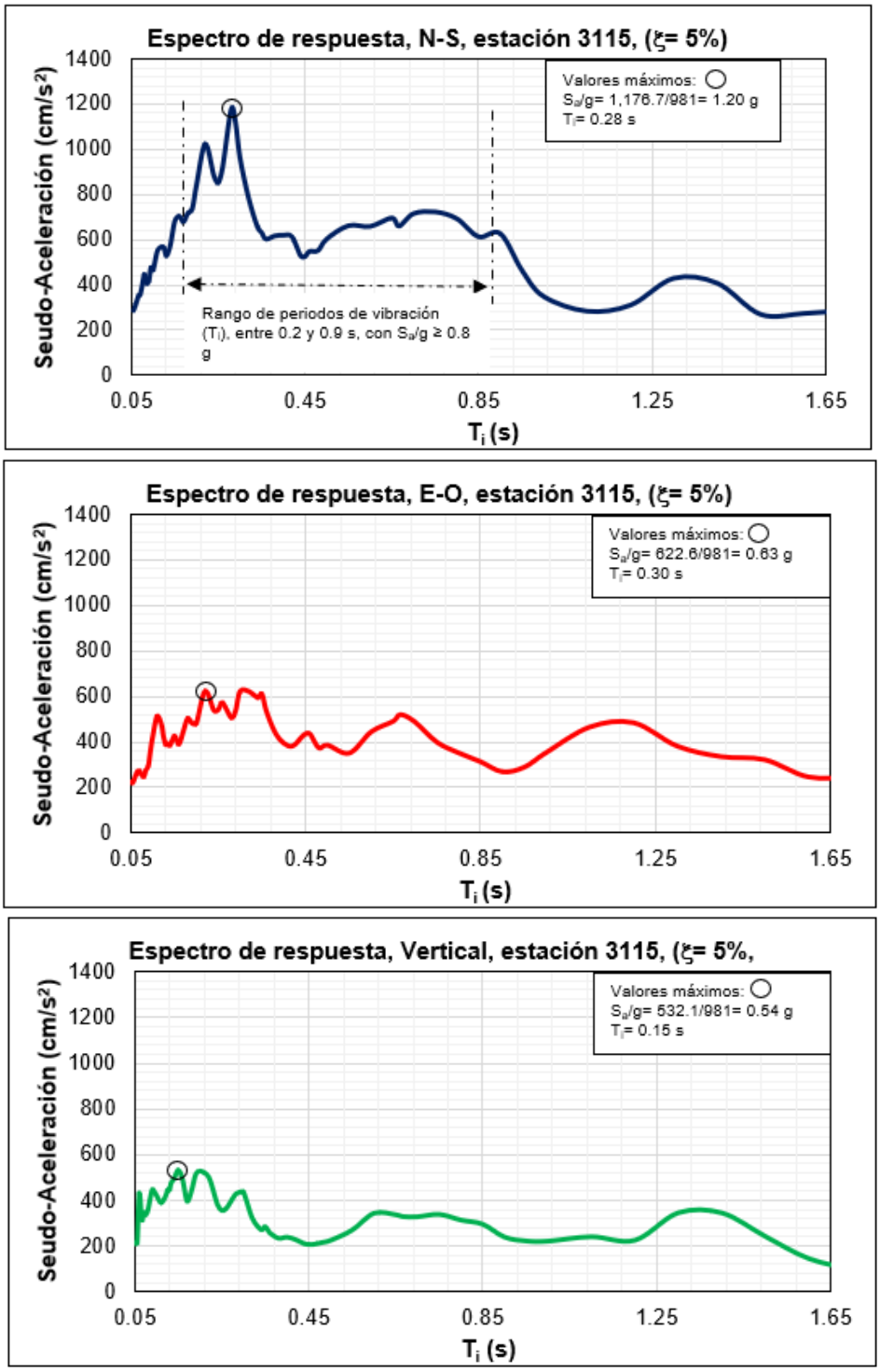
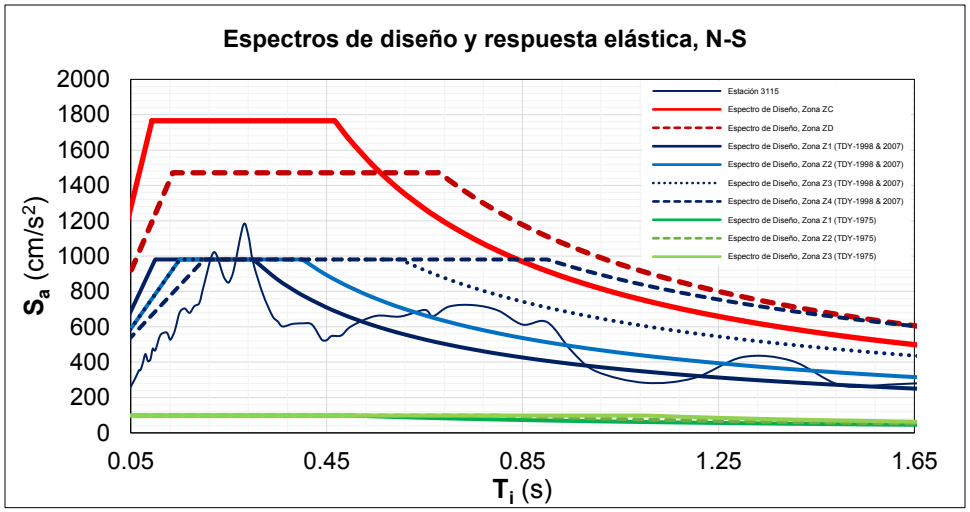


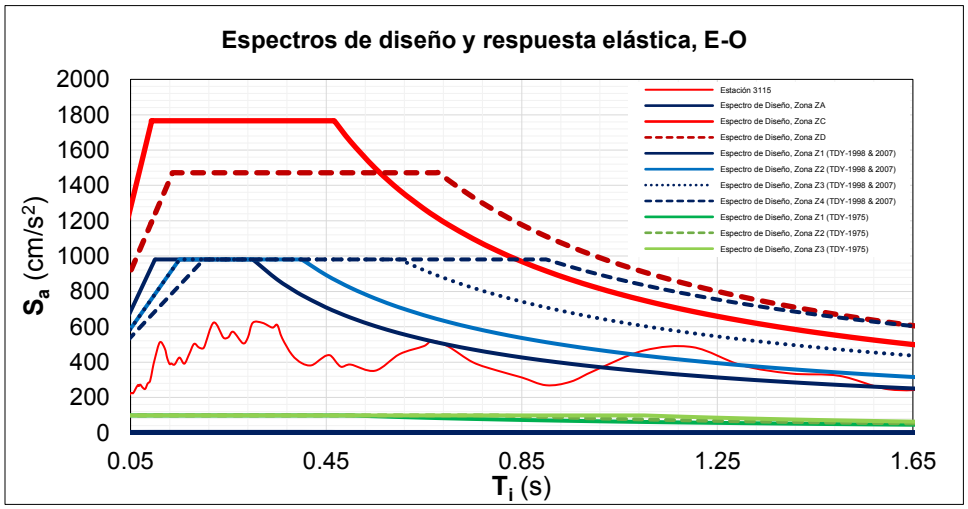
Figura 3.14.4 Espectros de respuesta elástica (ξ= 5%) para la estación sísmica 3115. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

Tabla 3.14.3 Aceleraciones espectrales máximas correspondientes a la estación sísmica 3115, instaladas en la zona del puerto Iskenderun, según se muestra en la Figura 3.14.2

Estación	S_a/g		
	Componente		
	N-S	E-O	Vertical
3115	1.20	0.63	0.54



a) Componente Norte-Sur



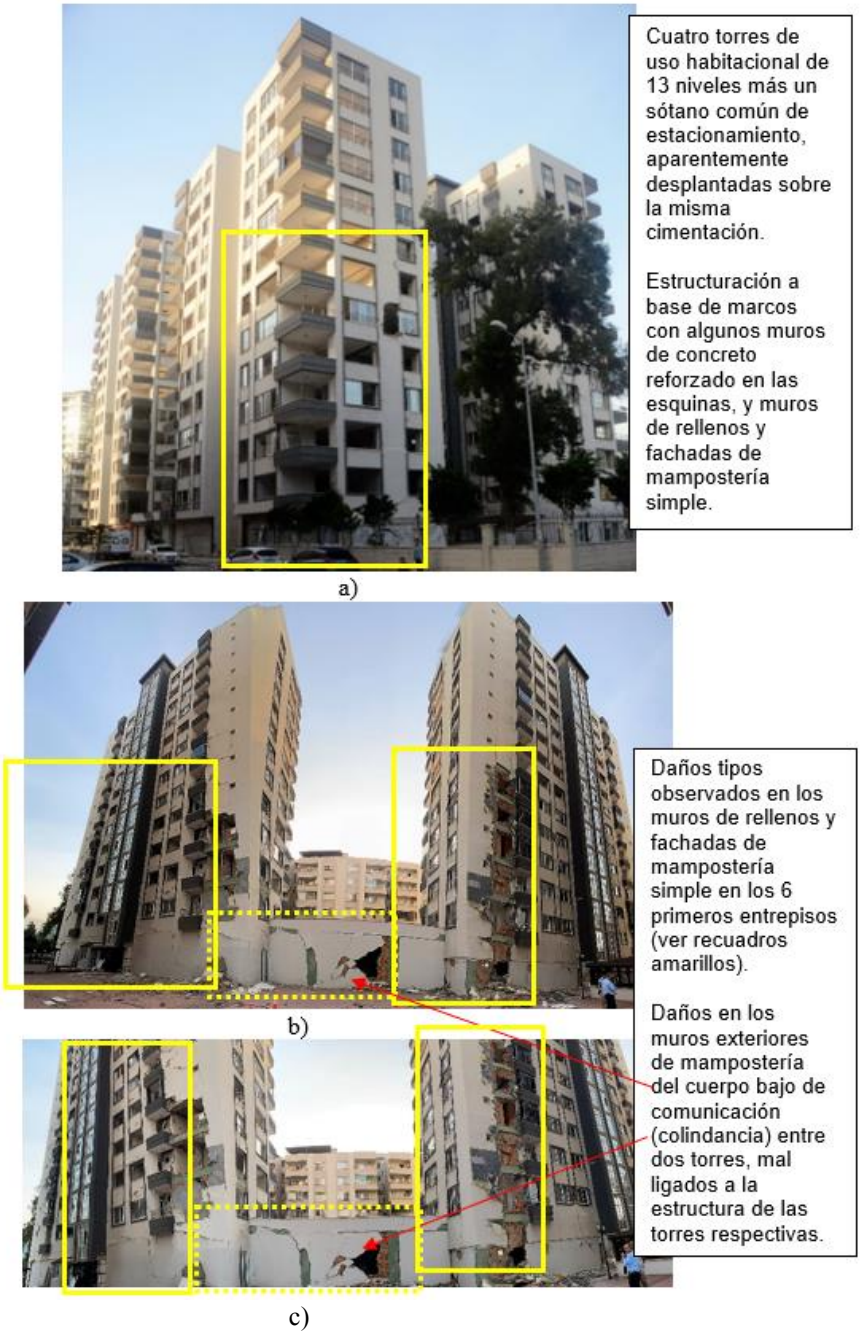
b) Componente Este-Oeste

Figura 3.14.5 Comparación de espectros elásticos de diseño para las zonas de interés, según las versiones de los Reglamentos TDY: 1975, 1998 y 2007, así como el TBDY 2018, contra los espectros de respuesta elástica para la Estación Sismológica 3115, zona del puerto Iskenderun, sismo principal del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Elaboración propia con base en TADAS (s. f.).*

3.14.4. Daños estructurales

3.14.4.1. Condominio de cuatro torres altas

En la Figura 3.14.6 se presentan los daños observados en cuatro torres altas. Estos edificios también se presentan en el subcapítulo 4.2.1.3.



d)

e)

Sótano de estacionamiento común de las cuatro torres, inundado después de los sismos de febrero, 2023.

f)

g)

h)

i)

j)

Fachada en volado, a punto de caerse.
Falla de la losa del volado.

k)

l) m)

Muros de esquina de concreto reforzado, sin mostrar indicios de daño, excepto el desprendimiento de su recubrimiento.

n)

ANTES

o)

DESPUÉS

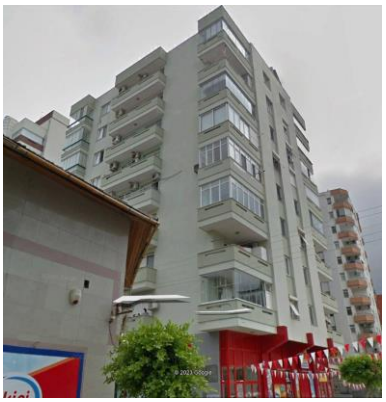
p)

Figura 3.14.6 Varias vistas de los daños tipo detectados en los muros de relleno y fachadas de mampostería simple en los 6 primeros entrepisos de cuatro torres de 13 niveles (ver recuadros amarillos), incluyendo los daños en los muros exteriores de mampostería de los cuerpos bajos de comunicación (colindancia) entre dos torres, mal ligados, sin observar daños en los muros de esquina de concreto reforzado de Planta Baja; además, el sótano de estacionamiento, común para las cuatro torres de interés, se encuentra inundado, Centro de Iskenderun (Nota: las fotos o y p comparan el antes y después de los edificios de interés. Se presume que el daño se exacerbó debido a la ocurrencia de inestabilidad del suelo debido a la licuación del material granular). *Fuente: o): Google Maps (2023O); a) - n) y p): Archivo personal de los autores.*

3.14.4.2. Edificios del Centro

En la Figura 3.14.7 se presentan los daños estructurales de edificios en la zona central de Iskenderun.

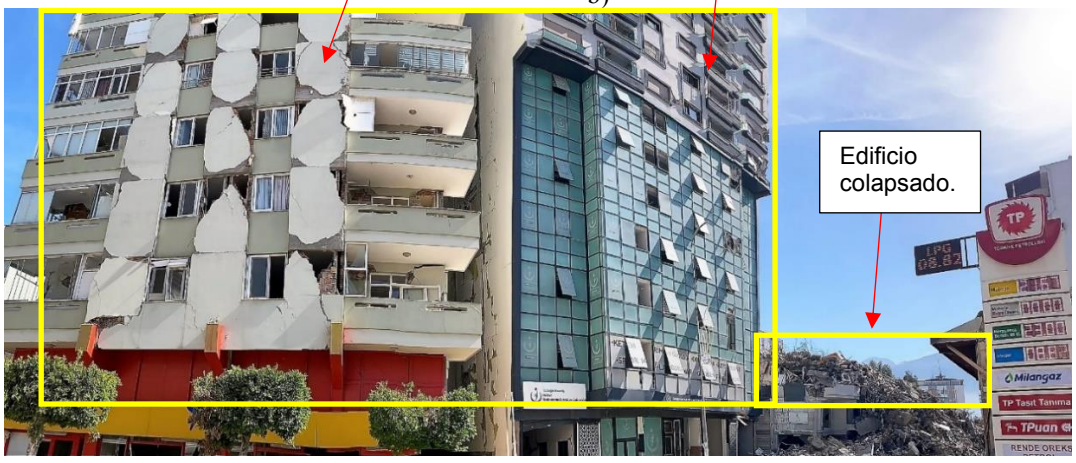
ANTES



a)

DESPUÉS

b)

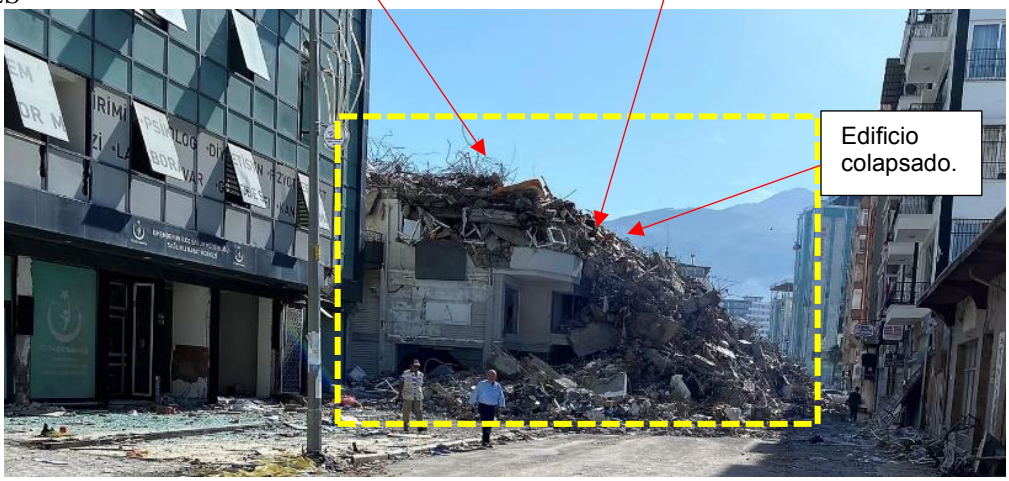


c)

ANTES

d) e)

DESPUÉS



f)

Figura 3.14.7 Vistas del antes y después de dos edificios con daños importantes en muros de fachadas y de relleno, a base de mampostería simple (ver recuadros amarillos), colindantes con un edificio totalmente colapsado (recuadro amarillo con línea cortada), localizados en el Centro de Iskenderun. *Fuente: a), d) y e): Google Maps (2023P); b), c) y f): Archivo personal de los autores.*

3.15. Castillo Yilankale

3.15.1. Localización y estado nulo de daños

Las ruinas de este castillo se encuentran en lo alto de una colina rocosa localizada en la provincia de Adana, cercano a la ciudad de Ceyhan. Se trata de un castillo armenio construido con mamposteria de piedra caliza labrada en bloques. Estas ruinas al parecer no presentaron ningún tipo de daño como consecuencia de los sismos del 6 de febrero de 2023, quizas por el tipo de terreno rocoso sobre el que se encuentra desplantado y, tambien, por el buen estado de conservación de la mampostería, producto de la intervención a la que fue sometido en 2014 (*"Yilan Kale Gezisi"*, *adanakultur.gov.tr* (in Turkish), Adana Provincial Culture and Tourism Directorate, 7 de junio de 2014). Cabe recordar que, de acuerdo como se mostró previamente (parte 3.9), en la zona de la ciudad de Adana, hubo dos estaciones sismológicas (0118 y 0123) que reportaron aceleraciones máximas (PGA) en el suelo de interés, por debajo de los 50 cm/s^2, lo cual es congruente con los daños nulos.

La Figura 3.15.1a) a f) presenta varias vistas del estado observado en el castillo Yilankale, a raíz del recorrido realizado por personal del Instituto de Ingeniería.

a)

b)

c)

d)

e)

f)

Figura 3.15.1 Descripción general y ubicación de las ruinas del castillo Yilankale, a base de muros de piedra caliza labrada en bloques. No se apreciaron daños, ni desprendimientos de materiales, después de los sismos del 6 de febrero de 2023. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

3.16. Referencias

Adana Provincial Culture and Tourism Directorate. (s. f.). Yilan Kale Gezisi. Recuperado de: https://www.adanakultur.gov.tr

Earthquake Engineering Association of Turkey. (s. f.). Recuperado de: https://www.tdmd.org.tr

Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Normas Técnicas Complementarias de Diseño de Cimentaciones del 529 Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México (NTC RCCM-17). Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 15 de diciembre.

Google Maps. (2023a). [Distribución geográfica de la provincia de Gaziantep]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023b). [Posición esquemática de la ubicación de la Estación Sismológica 2703 localizada en Gaziantep, cercana a los edificios visitados en la zona]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023c). [Daños en la mezquita Şirvani a raíz de los sismos de febrero de 2023]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023d). [Distribución geográfica de la provincia de Kahramanmaras]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023e). [Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas localizadas en Kahramanmaras y de los edificios visitados en la zona]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023f). Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023g). [Edificios ubicados en la zona de Kahramanmaras]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023h). [Edificio de nueve pisos ubicado en la zona de Kahramanmaras]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023i). [Construcción ubicada en la zona de Kahramanmaras]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023j). [Zona de un conjunto habitacional]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023k). [Zona de edificios]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023l). [Mezquita Divanli]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023m). [Construcciones antiguas y nuevas de poca altura tipo casa-habitacional]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023n). [Construcciones antiguas y nuevas de poca altura tipo casa-habitacional, a base de muros de mampostería con poco o nulo refuerzo]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023ñ). [Viviendas construidas con mejores técnicas constructivas y materiales más modernos]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023o). [Poblado de Çelikhan]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023p). [Vista de una mezquita]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023q). [Posición geográfica de la ciudad de Pazarcik]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023r). [Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 4614 y 4615 localizadas en la ciudad de Pazarcik, dentro de la provincia de Kahramanmaras, así como del edificio hospitalario visitado en la zona]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023s). [Ubicación geográfica de la ciudad de Gölbaşi]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023t). [Posición esquemática de la estación sismológica 0208 localizada en la ciudad de Gölbaşi]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023u). [Posición geográfica de la ciudad de Adiyaman]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023v). [Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 0201 y 0210, y de una de las zonas visitadas en la ciudad de Adiyaman]. Recuperado de: https://www.google.com

Google Maps. (2023w). [Ubicación geográfica de la provincia de Malatya]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023x). [Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 4404, 4406, 4408, 4409, 4412, 4413 y 4414 y edificios visitados en Malatya]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023y). [Vista de la ubicación del distrito de Antakya, localizado en la provincia de Hatay]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023z). [Edificio alto de nueve niveles]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023A). [Construcciones tipo habitacional de dos y cinco niveles]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023B). [Edificio pequeño de cinco niveles]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023C). [Posición geográfica de la ciudad de Adana]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023D). [Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas localizadas dentro de la zona de la ciudad de Hassa, incluyendo los edificios visitados]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023E). [Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas 8002 y 8003 localizadas en la provincia de Osmaniye]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023F). [Localización del distrito de Nurdagi]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023G). [Posición esquemática de la ubicación de las estaciones sismológicas localizadas en Nurdagi]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023H). [Conjunto de edificios altos de entre seis y ocho niveles]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023I). [Edificios altos]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023J). [Localización y extensión geográfica del pueblo de Kuscumustafa]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023K). [Posición esquemática de la ubicación de la estación sismológica 2708, localizada en la zona del pueblo de Kuscumustafa y de los edificios visitados]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023L). [Vista de dos pequeños edificios cercanos a la Estación Sismológica 2708]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023M). [Localización del distrito y ciudad de Alejandreta]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023N). [Localización de la estación sísmica 3115 en la zona del puerto Iskenderun]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023O). [Vistas de edificios de trece niveles]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2023P). [Vista de edificios localizados en el Centro de Iskenderun]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2024a). [Ubicación geográfica de la ciudad de Hassa]. Recuperado de: https://www.google.com
Google Maps. (2024b). [Localización geográfica de la provincia de Osmaniye]. Recuperado de: https://www.google.com
Oficina de Estrategia y Presupuesto de la Presidencia de Turquía. (2023). Kahramanmaras and Hatay 532 Earthquakes Report. OEP.
TADAS, Turkish Accelerometric Database and Analysis System. (s. f.). Recuperado de: https://tadas.afad.gov.tr
Wikipedia. (s. f.). Terremotos de Turquía y Siria de 2023. https://es.wikipedia.org/wiki/Terremotos de_Turquía y_Siria de 2023

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

4. Consideraciones geotécnicas

4.1. Planteamiento general

4.1.1. Licuación de arenas

La licuación de arenas se manifestó en muchos sitios, principalmente de las regiones de Hatay-Paşaköy, Hatay-İskenderun, Adiyaman-Gölbaşi, Adiyaman-Türkoğlu. En el campo libre, se manifestó a través de emisiones de materia granular (pequeños volcanes de arena como el ilustrado en la Figura 4.1), hundimientos del terreno y desplazamientos laterales en sitios con pendientes ligeras, principalmente cerca de las costas.

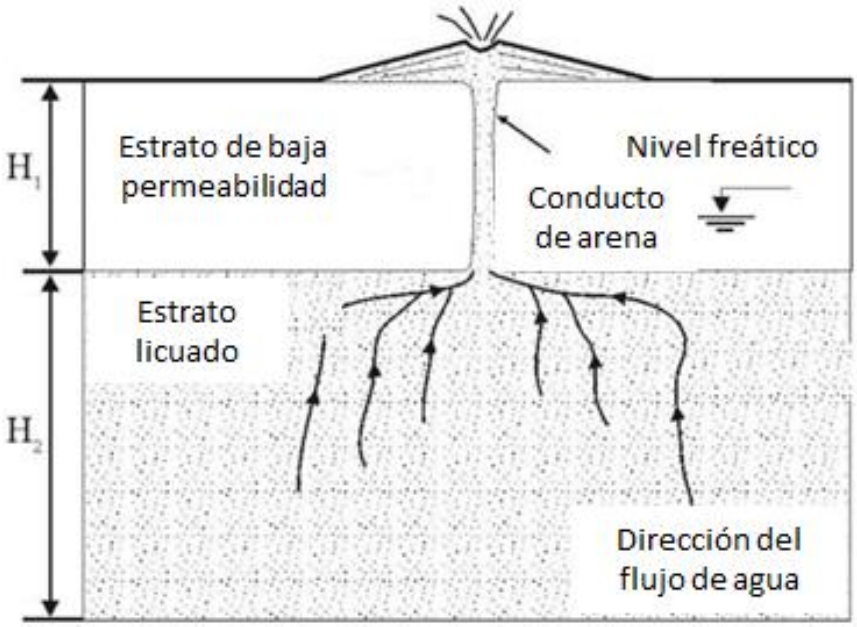


Figura 4.1 Eyecciones de agua con arena que dan lugar a "volcancitos" de arena. *Fuente: Elaboración propia con base en Obermeier (1996).*

En zonas urbanizadas, muchos edificios experimentaron hundimientos que en ocasiones provocaron que perdieran la verticalidad por la aparición de asentamientos diferenciales los que, a su vez, indujeron en algunos casos el volteo completo (Figura 4.2).

Figura 4.2 Falla por capacidad de carga y volteo inducido posiblemente por licuación. F*uente: Kemal et al. (2023).*

Fue común observar la aparición de material granular expulsado por el exceso de presión de poro en la periferia de estas construcciones. Todas estas manifestaciones resultan por la pérdida total o parcial de la capacidad de los suelos para resistir esfuerzos cortantes debido a los incrementos de presión de poro que se genera dentro de la masa arenosa durante el sismo. El exceso de presión de poro también indujo la migración de agua hacia la superficie lo que provocó que los sótanos y los estacionamientos subterráneos de varios edificios se inundaran. De acuerdo con Kemal *et al.* (2023), los asentamientos en edificios ocasionados por los excesos de presión de poro (licuación parcial) en Hatay-İskenderun y Adıyaman-Gölbaşı alcanzaron magnitudes de 30 hasta 80 cm que indujeron inclinaciones en las edificaciones afectadas de 10 a 15 grados.

También, se ha reportado la ocurrencia de desplazamientos laterales en taludes carreteros, así como desplazamientos en estructuras de retención en zonas costeras. En estas últimas se observaron agrietamientos en caminos y andaderos costeros provocados por la licuación de arenas con agrietamientos a lo largo del eje del camino o carretera.

Las técnicas para evaluar el potencial licuable de los materiales arenosos sueltos eran bien conocidos para los especialistas turcos (ver, por ejemplo, Cabalar *et al.,* 2019 o Canbolat, 2017). Además, es seguro que conocieran las técnicas de densificación para mitigar o anular el potencial licuable. Sin embargo, es poco probable que se hicieran estudios específicos con el fin de evaluarlo en

terrenos urbanos destinados a la construcción de edificios de vivienda, como los que abundan en Turquía, tanto en grandes ciudades como en poblaciones medianas o pequeñas. En estos casos la mejora del subsuelo por densificación significa costos adicionales, probablemente excesivos para familias de ingresos reducidos o cuando mucho, medios. Adicionalmente, como nos fue comentado en la visita y en los medios de comunicación, es necesario considerar que se reportó ampliamente la corrupción en la asignación de permisos de construcción, el desconocimiento de la normatividad y la carencia de formación profesional por parte de los constructores tanto en lo referente a los aspectos geotécnicos como a los estructurales, especialmente en las regiones alejadas de los principales centros urbanos. Todo ello pudo haber influido en la magnitud de los daños.

4.1.2. Cimentaciones características

De acuerdo con la información recabada en el Centro de Administración de Riesgos de Estambul, es muy común cimentar los edificios de vivienda con zapatas aisladas desplantadas a poca profundidad, de lo cual se infiere que se diseñan considerando que los terrenos arenosos de desplante son capaces de proveer la capacidad de carga necesaria. Sin embargo, como ya se dijo, es poco probable que en su diseño no se haya considerado la posibilidad de que sufrieran asentamientos por licuación de las arenas subyacentes.

En la Figura 4.3 se presenta un esquema de una cimentación característica resuelta con zapatas aisladas en el que destaca el hecho de que no se incluye la colocación de trabes de liga. También, es importante mencionar que la disposición de las zapatas induce excentricidad en lo que se refiere a su rigidez y a su centro de cargas.

Figura 4.3 Esquema de un sistema de cimentación característica, resuelto con zapatas aisladas desplantadas a poca profundidad o superficialmente. *Fuente: Cortesía del Centro de Administración de Riesgos de Estambul.*

Durante la visita, también fue posible identificar algunos edificios cimentados con losas desplantadas varios metros debajo de la superficie. Incluso se identificaron edificios en los que se tenían sótanos para albergar estacionamientos y, como ya se mencionó, dichos sótanos se inundaron durante el temblor en al menos dos de estos edificios. En estos casos fue evidente que los estratos subyacentes se habían licuado, al menos parcialmente, y que había evidencia de ello por la eyección de arenas en la periferia de las construcciones, además de hundimientos en ambas edificaciones.

En las inspecciones se detectaron dos hospitales cimentados con pilas. En uno de ellos se informó que se había cimentado por medio de pilas, aunque no fue posible conocer su diámetro o su longitud. En la periferia de este edificio también fue evidente que los materiales arenosos subyacentes se habían licuado, pero el edificio no sufrió daño estructural aparente. El otro edificio hospitalario cimentado con pilas o pilotes contaba con aisladores sísmicos. La condición estructural de este hospital se discute detalladamente en el Capítulo 3, aunque el efecto benéfico de los aisladores resultó evidente.

Así, como se comentó previamente, los aisladores sísmicos colocados en la cabeza de los pilotes no previenen la ocurrencia de la licuación, pero si mitigan sus efectos al reducir los desplazamientos y fuerzas inerciales trasmitidas a la superestructura. Los pilotes de estos sistemas han demostrado su bondad para evitar o mitigar considerablemente los efectos nocivos de la licuación de arenas, lo cual es un hecho reconocido mundialmente y respaldado por la evidencia empírica. Sin embargo, su funcionamiento adecuado depende de que su punta se apoye debajo de los estratos potencialmente licuables de tal suerte de que queden empotrados en el estrato resistente no licuable. Estos elementos deben diseñarse como elementos trabajando solamente por punta, pues al ocurrir la licuación se perderá el confinamiento del material circundante. Lo anterior tiene consecuencias desde el punto de vista de su diseño estructural puesto que, al ocurrir la licuación, se perderá el confinamiento del suelo lo que dará lugar a la aparición de momentos flexionantes y fuerzas cortantes a los que usualmente no estarían expuestos.

4.1.3. Inestabilidad de taludes

En diversos sitios a lo largo de las carreteras recorridas, se observaron deslizamientos de tierra, aunque de poca magnitud e importancia. En otras ocasiones, también, se observaron desprendimientos de fragmentos rocosos que en ocasiones se acumularon en el borde de las carreteras. Además, se distinguieron parches en los pavimentos, en sitios donde se infiere que había ocurrido fallas en las carreteras provocadas por la inestabilidad de taludes. Las autoridades turcas actuaron con rapidez y eficiencia para restablecer la circulación en las vías de comunicación.

En las laderas del Castillo de Antep en Gaziantep, también se observaron deslizamientos de tierra en sitios que incluso ya habían sido provistos de elementos para evitar el humedecimiento de los suelos subyacentes.

4.1.4. Estructuras de retención

Se observaron algunos muros de gravedad con fallas locales, principalmente al pie de cortes en taludes carreteros. Algunos de estos inclusive sufrieron daños a causa de los impactos recibidos por fragmentos de roca que se desprendieron y rodaron hacia el pie de los taludes.

También se identificaron algunos taludes de aproximación a puentes o pasos elevados que se resolvieron con la técnica de tierra armada. En ninguno de estos se pudieron apreciar daños o signos de mal comportamiento pues, al parecer, no sufrieron daños, ni siquiera aquellos localizados en la cercanía de la zona epicentral.

4.2. Aspectos geotécnicos de la visita de reconocimiento de daño

4.2.1. Licuación: hundimientos o emersiones relativas

4.2.1.1. Hospital de Pazarcik

La ciudad de Pazarcik cuenta con 68.838 habitantes (2018) y se localiza a una altura promedio de 731 msnm (Figura 4.4). Al nororiente de la ciudad, cerca del poblado de Bagdinisagir, se encuentra el hospital (777 msnm), el cual es un edificio que tiene dos años de antigüedad y uno en funcionamiento.

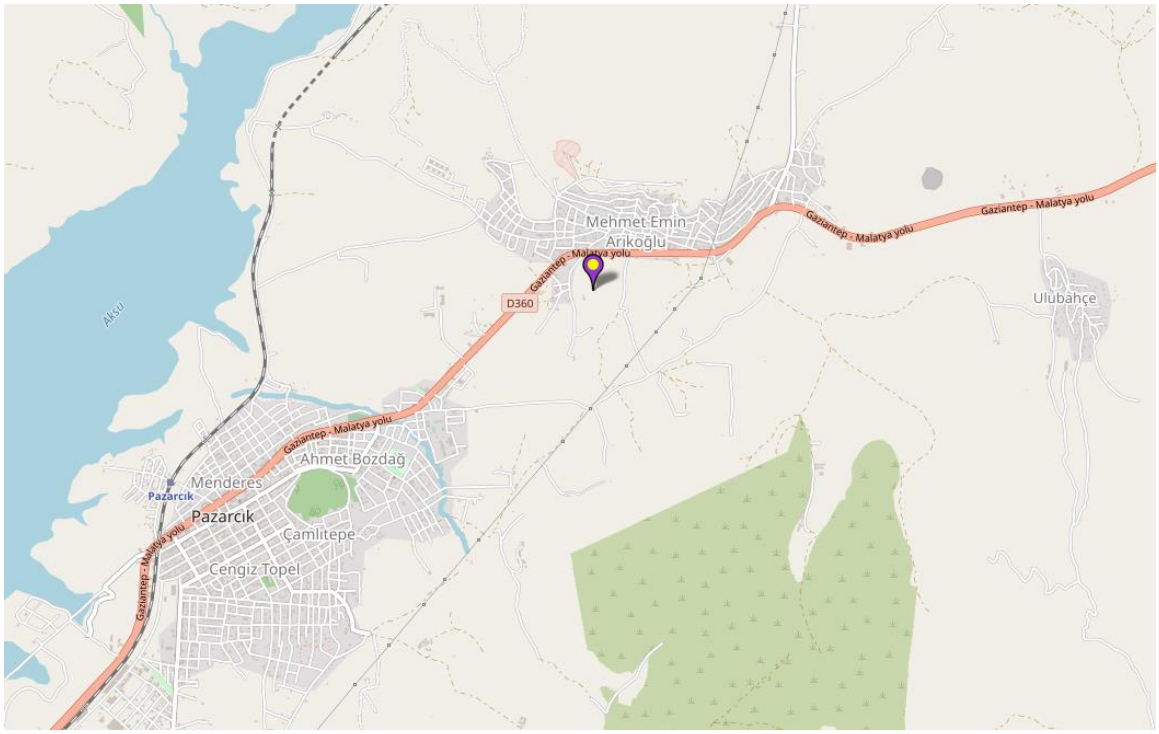


Figura 4.4 Localización del Hospital de Pazarcik. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps (2023).*

En lo que se refiere a los aspectos geotécnicos, se presentó licuación en la periferia del edificio principal del hospital. Como consecuencia de ello se observan asentamientos del terreno de alrededor de 30 a 40 cm, lo cual se debe principalmente a que el edificio está cimentado mediante pilas, según información del encargado de mantenimiento (Figura 4.5). Los daños observados alrededor y dentro del edificio eran menores y aparentemente no asociados al problema de licuación.

a)

b)

c)

d)

e)

f)

Figura 4.5 Asentamientos alrededor del edificio principal del hospital. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En el edificio contiguo al hospital (Figura 4.6), se puede observar un asentamiento marcado al costado derecho de la edificación y algunas grietas inclinadas en los muros que podrían estar asociadas, en parte, a los asentamientos causados por la licuación. De este edificio se desconoce el tipo de cimentación.

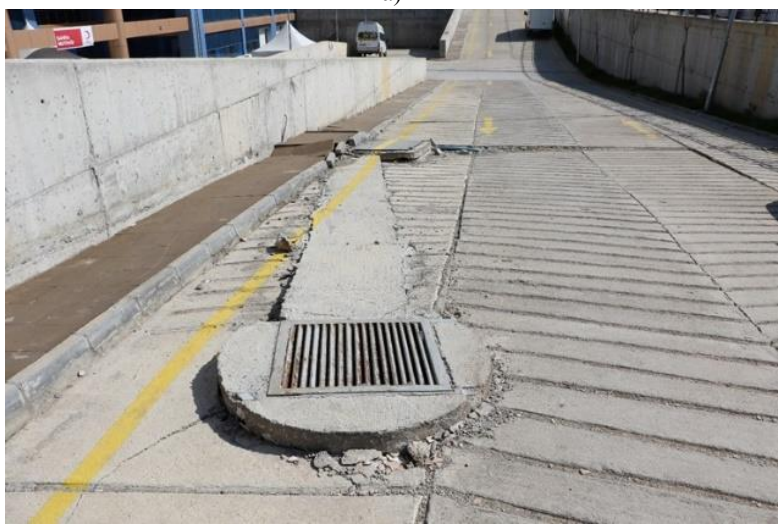
a)

b)

Figura 4.6 Edificio contiguo al hospital. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la Figura 4.7 se observa la emersión de ductos y cámaras de inspección que se encuentran en la periferia del edificio principal del hospital y en vías de acceso, lo cual es un fenómeno que ocurre debido al incremento de la presión de poro que causa un empuje significativo bajo estas estructuras produciendo la emersión.

a)



b)

c)

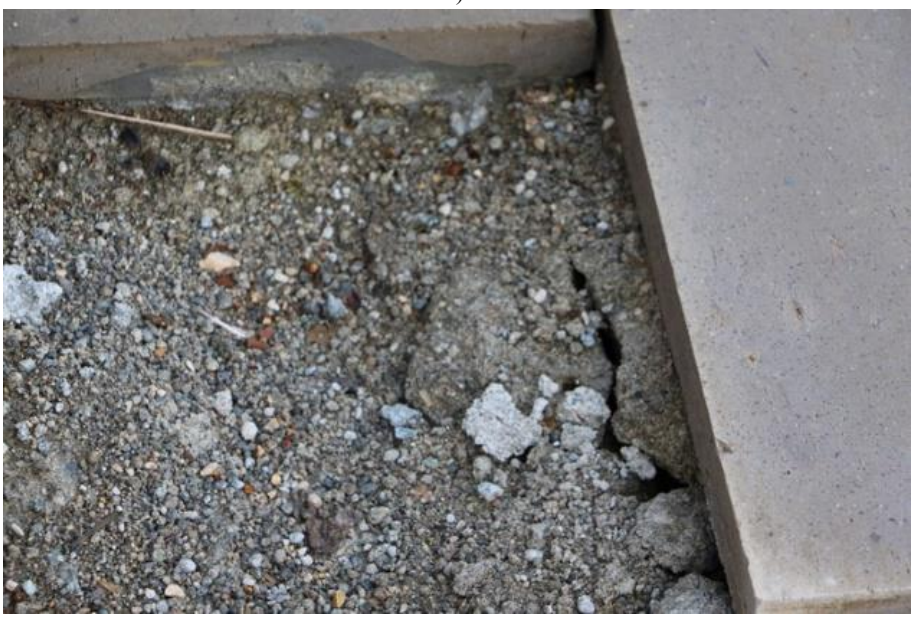
d)

e)

Figura 4.7 Emersión de ductos y cámaras de registro. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la Figura 4.8 se presenta otro de los aspectos típicos relacionados con la licuación que es el de la formación de pequeños volcanes por el flujo de la arena hacia la superficie del terreno.

a)



b)

Figura 4.8 Flujo de arena debido a la licuación. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

4.2.1.2. Golbasi

La ciudad de Golbasi cuenta con una población de 33,373 (2021) y se ubica a una altura promedio de 862 msnm (Figura 4.9). En esa localidad se presentó de forma muy generalizada la licuación afectando viviendas, algunos edificios y vías de comunicación.

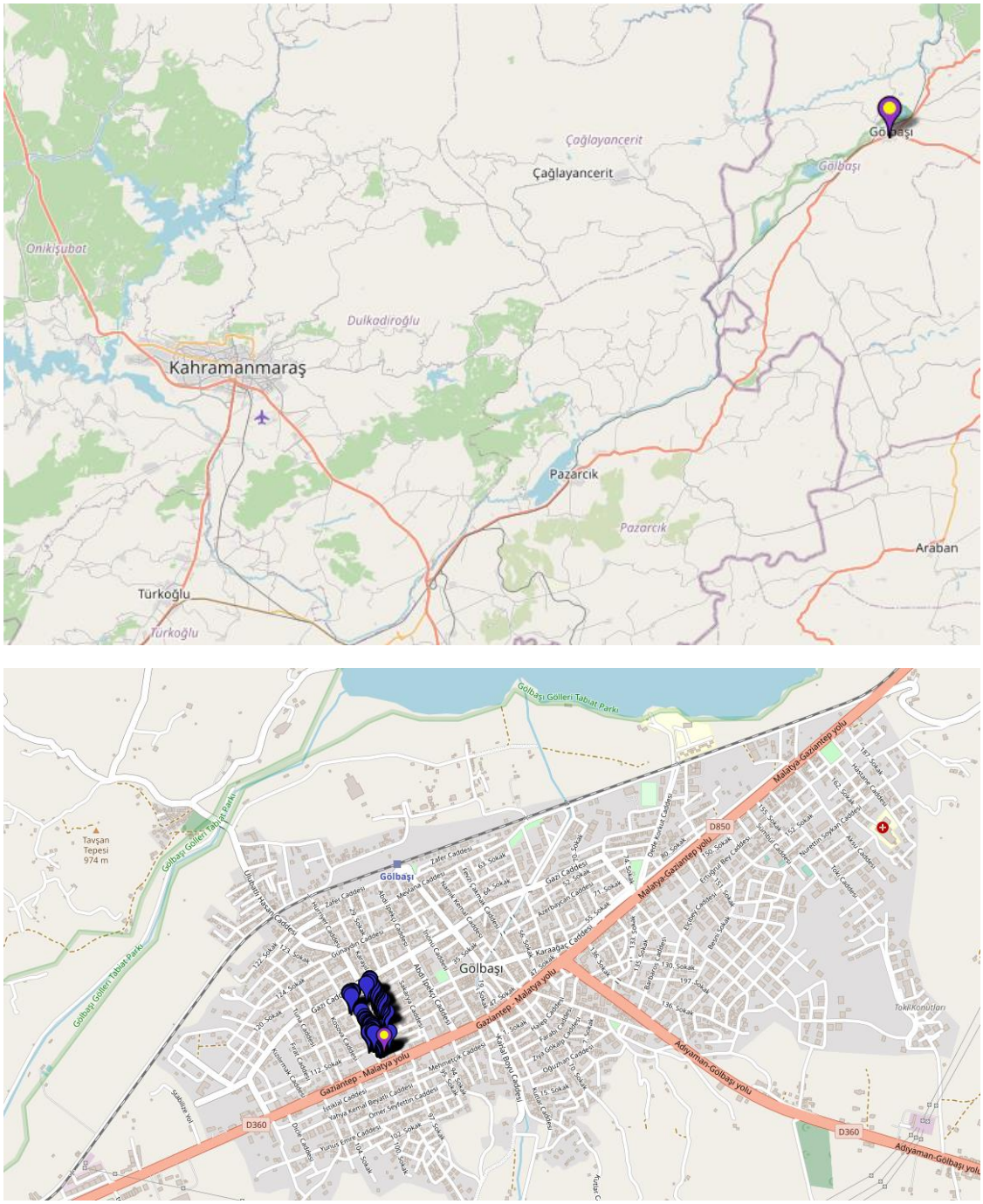


Figura 4.9 Localización de Golbasi y de la zona recorrida. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth (2023a).*

En la Figura 4.10 se presenta una vista anterior al sismo (junio de 2015), correspondiente al sitio inicial del recorrido. A lo largo del capítulo, para algunos sitios se presentan imágenes previas al sismo, con el objetivo de tener un punto de vista más completo de los problemas geotécnicos analizados y sus consecuencias.

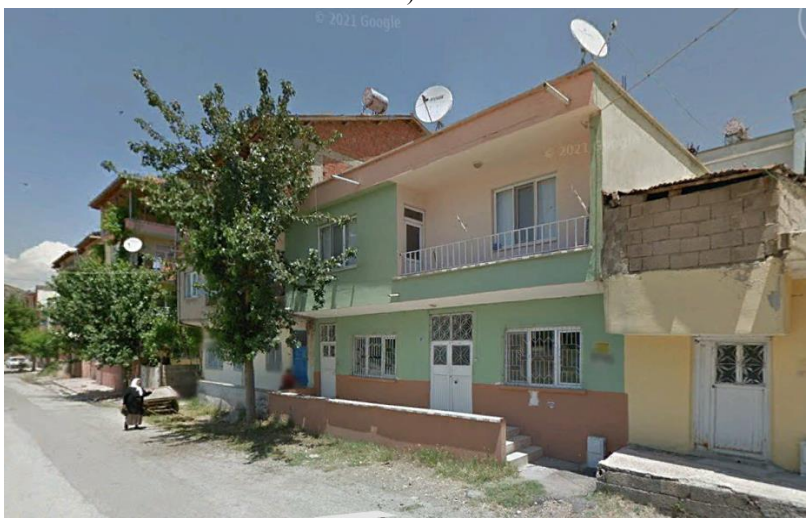
Figura 4.10 Vista de una de las zonas recorridas previo al sismo en junio de 2015. *Fuente: Google Earth (2023b).*

En la Figura 4.11a) a l) se muestran casos observados de hundimientos en edificaciones ocasionados por la licuación del suelo. En la Figura 4.11a, e, g, k y l, los asentamientos fueron de alrededor de 20 a 30 cm. Adicionalmente, en la Figura 4.11g) se puede observar parcialmente que la casa se desplanta sobre una losa pobremente reforzada. La Figura 4.11k) y l) corresponde a edificios de 6 pisos y el hundimiento registrado se debe posiblemente al tipo de cimentación usado a base de zapatas aisladas sin trabes de liga.

a)

b) Junio de *2015*

c)



d) Junio de 2015

e)

f) Junio de 2015

g)

h)

i)

j)

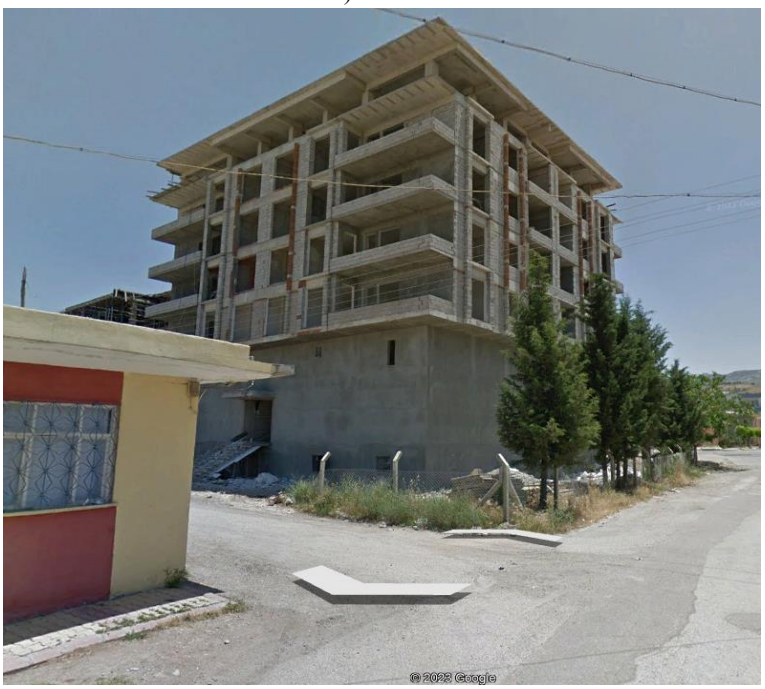
k)

l)

Figura 4.11 Hundimiento de edificaciones por licuación. *Fuente: b), d) y f): Google Earth (2023c); a), c), e), g) - l): Archivo personal de los autores.*

En la Figura 4.12a) a l) se muestran daños en pavimentos, adoquines y banquetas debido al incremento de la presión de poro causados resultante del proceso de licuación. El diferencial del nivel del suelo presentado en la Figura 4.12a), c) y d) es de alrededor de 20 cm. En la Figura 4.12e) y f) se aprecia el flujo producido por la licuación.

a)



b) Junio de 2015

c)

d)

e)

f)

g)

h)

i)

j)

k)

l)

Figura 4.12 Fenómeno de emersión aparente por licuación del terreno circundante. *Fuente: b): Google Earth (2023d); a), c) - l): Archivo personal de los autores.*

En la Figura 13a) a d) se presentan grietas en los pavimentos a causa de los desplazamientos generados por el sismo y por la variación del nivel del terreno ocasionados por la licuación. Se aprecian grietas y desniveles entre 5 a 10 cm, aproximadamente.

a)

b)

c)

d)

Figura 4.13 Agrietamientos y asentamientos en pavimentos. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

4.2.1.3. Iskenderun

İskenderun es conocida históricamente conocida como Alejandreta y Scanderoon. Es una ciudad en la provincia de Hatay en la costa mediterránea de Turquía y está situada en una llanura aluvial, con una población de 184,833 personas (2012) y 4 msnm.

En Iskenderun fueron visitados dos sitios en los cuales ocurrió el fenómeno de licuación. El primero, que se describe a continuación, corresponde a la zona de Cadessi (Figura 4.14).

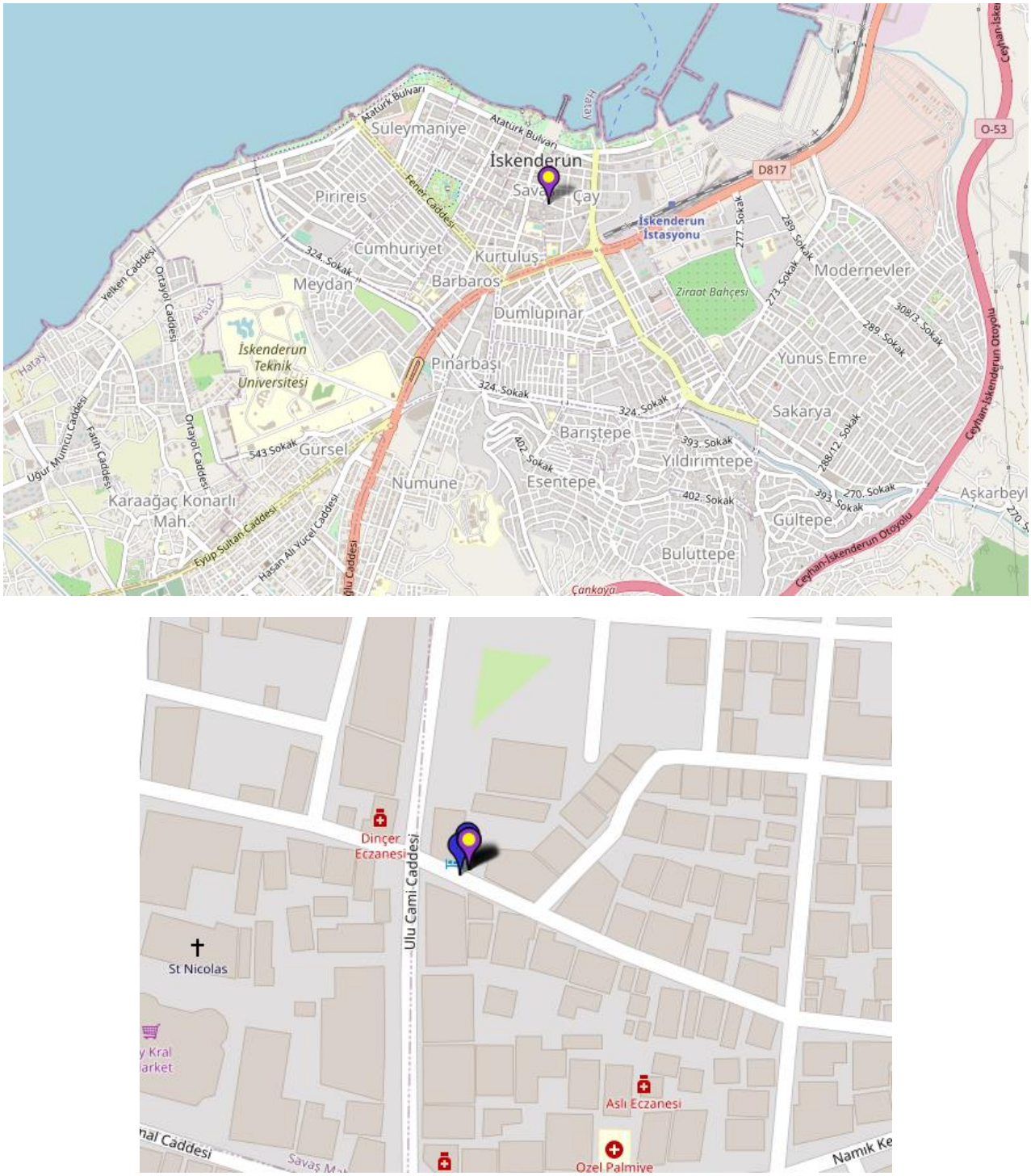


Figura 4.14 Localización del primer sitio visitado en Iskenderun. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth (2023e).*

La Figura 4.15 presenta dos fotos de licuación leve que no indujeron afectaciones a los edificios. A escasos 100 m de este sitio se encuentra el edificio con 6 pisos que se muestra en la Figura 4.16a) a e), donde se pueden observar los efectos extensivos de licuación intensa que dieron lugar a una falla parcial de la cimentación del edificio, pudiendo notarse un asentamiento de la estructura y un levantamiento de la banqueta. En este caso la falla parcial de esta cimentación, puede atribuirse a una reducción de la capacidad de carga del suelo subyacente ocasionada por los incrementos de presión de poro que se experimentaron en las masas de suelo subyacente durante el temblor.

Figura 4.15 Licuación leve en edificios que no sufrieron daños. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

e)

Figura 4.16 Falla parcial de cimentación debido a la licuación. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

A unos 50 m del edificio anterior (Figura 4.17a) a d)), se encuentra otro caso de falla parcial de la cimentación. En la Figura 4.17d) se evidencia el asentamiento que sufrió el edificio por medio de la curvatura que presenta la ventana de color rojo, además de la inundación del sótano que se muestra en la Figura 4.17c), debido al agua producto de la licuación del depósito de suelo de suelo.

a) b)

c) d)

Figura 4.17 Falla parcial de cimentación por efecto de la licuación. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

La segunda zona visitada en İskenderun corresponde una zona de comercio, oficinas y vivienda, en la cual se encuentran edificios de 10 a 15 pisos de altura y está localizada aproximadamente a 500 m de la línea costera (Figura 4.18).

Figura 4.18 Localización de la zona afectada. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth (2023f).*

En la Figura 4.19a) y b) se observan daños en las banquetas, presentándose desplazamientos en los bordes de éstas y flujo de arena debidos a la licuación. Este tipo de daños se presentaron en la zona de forma generalizada, pero ocasionaron afectaciones importantes a la funcionalidad de las vías.

a) b)

Figura 4.19 Vestigios de licuación en la zona. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la Figura 4.20a) a e) se presentan dos edificios de 8 pisos que sufrieron importantes asentamientos por efecto de la licuación. Los asentamientos en estas estructuras fueron alrededor de 15 a 20 cm. Además, se presentó la separación entre el pavimento y la banqueta, como consecuencia del hundimiento de estos edificios (Figura 4.20a) e) y d)). Al parecer, la relación de esbeltez influyó en los daños producidos en edificios con más o menos capacidad para resistir momentos de volteo. En aquellos con menos capacidad para ello, la licuación parcial del subsuelo pudo haber provocado inclinaciones permanentes e incluso el volcamiento total de las construcciones. Desafortunadamente muchos edificios que pudieron haber experimentado esto, fueron demolidos y por ello la evidencia para establecer conclusiones definitivas a este respecto ya no existía durante nuestra visita.

La Figura 4.21 muestra una imagen durante la construcción (julio de 2015) de uno de los edificios afectados por licuación, que se presenta en la siguiente figura. Los edificios que se muestran tienen 10 pisos y no se tiene certeza sobre el tipo de cimentación.

a) b)

c) d)

e)

Figura 4.20 Asentamientos de edificios en la zona. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura 4.21 Imagen de uno de los edificios afectados, de julio de 2015, previa al sismo. *Fuente: Google Earth (2023g).*

En la Figura 4.22a) se muestra el edificio en su estado actual, luego del sismo. En la Figura 4.22b) a g) se puede observar el sótano del edificio inundado y las acumulaciones de arena y las grietas en el suelo debidas a la licuación.

En la Figura 4.22h) a j) se presenta la afectación al edificio contiguo, que también se ve afectado por la licuación.

a)

b)

c)

d)

e)

f)

g)

h)

i)

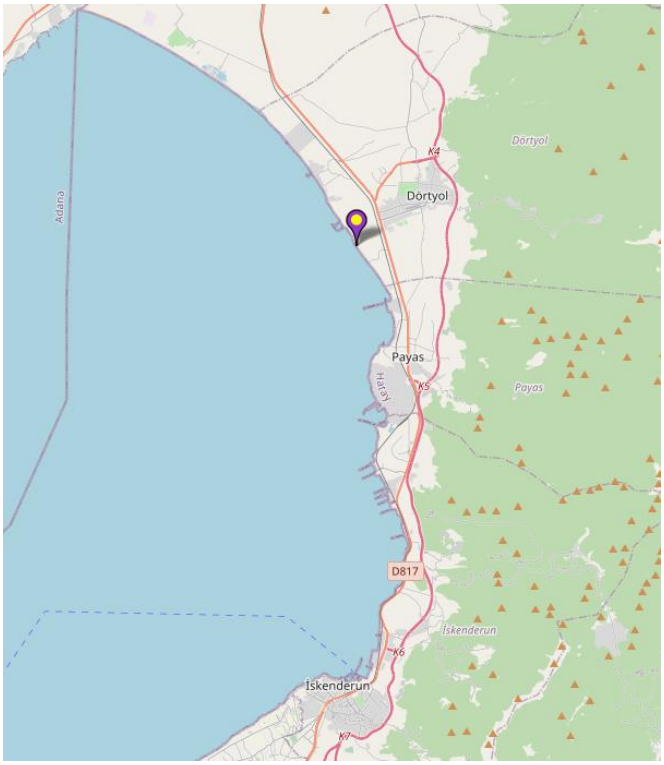
j)

Figura 4.22 Afectaciones por licuación en los edificios de la zona. *Fuente: Archivo personal de los autores*.

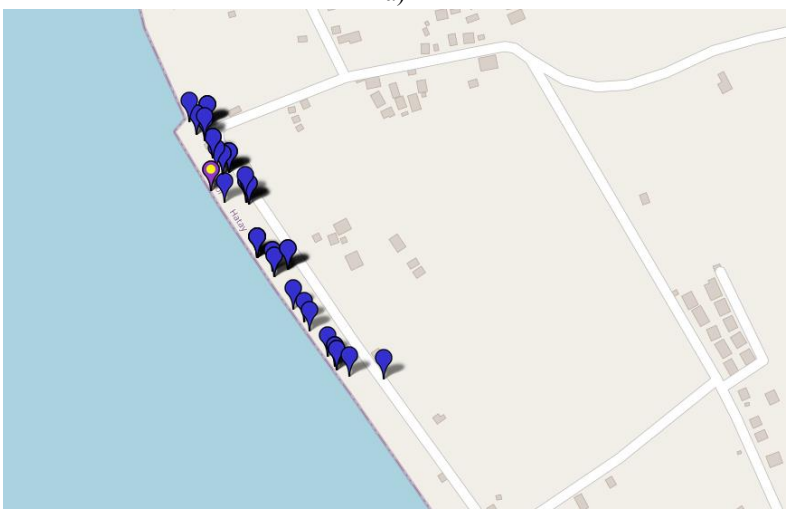
4.2.2. Desplazamientos laterales

4.2.2.1. Dortyol

En la zona de Dortyol, provincia de Hatay, se presentó desplazamiento lateral del terreno en el andador que hace parte del malecón del poblado (Figura 4.23a) y b)).



a)

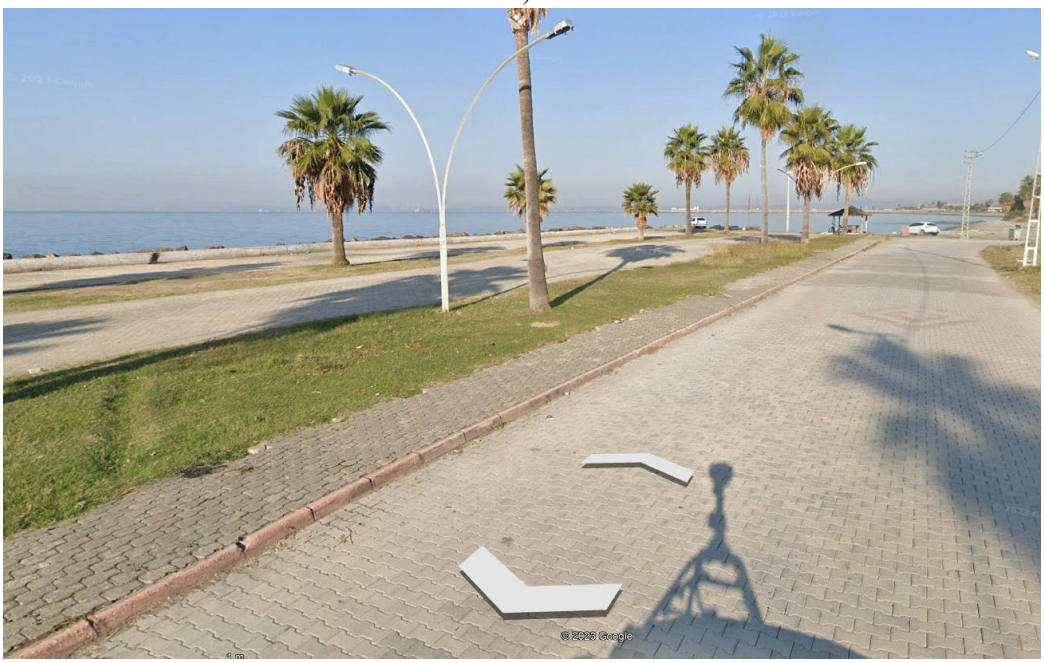


b)

Figura 4.23 Localización del sitio afectado. *Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth (2023h).*

En la Figura 4.24a) a g) se presentan las evidencias del desplazamiento lateral observado en el andador. En la zona contigua al muro (Figura 4.24c y e) se evidencia un patrón de desplazamiento uniforme, mientras que en zonas más alejadas del muro (Figura 4.24d y g) el desplazamiento se presenta en un área mayor.

a)



b) Noviembre de 2022

c)

d)

e) f)

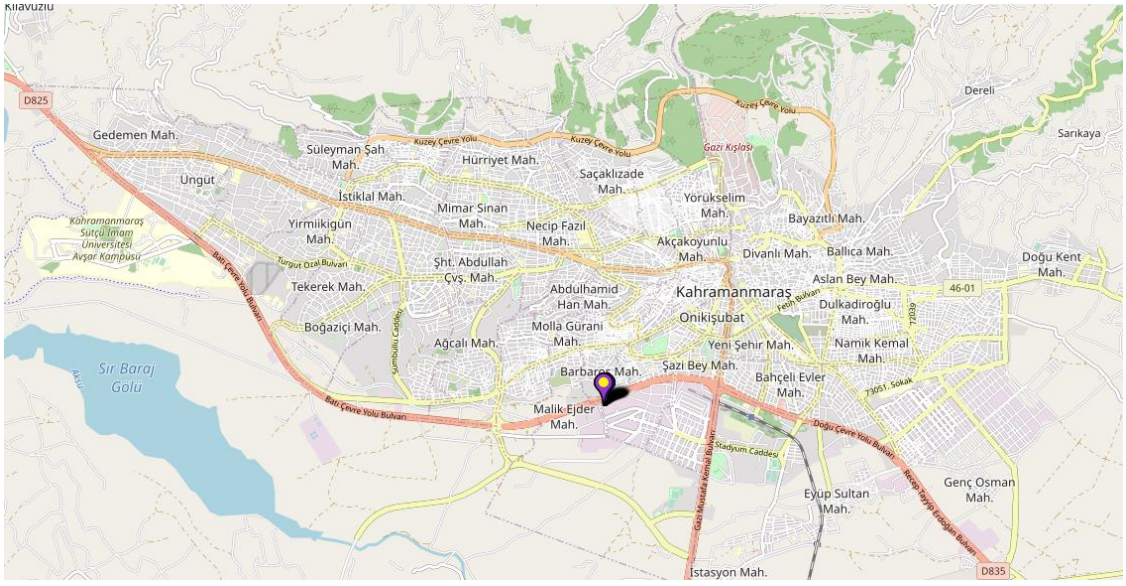
g)

Figura 4.24 Evidencias del desplazamiento lateral. *Fuente: b): Google Earth (2023i); a), c) - g): Archivo personal de los autores.*

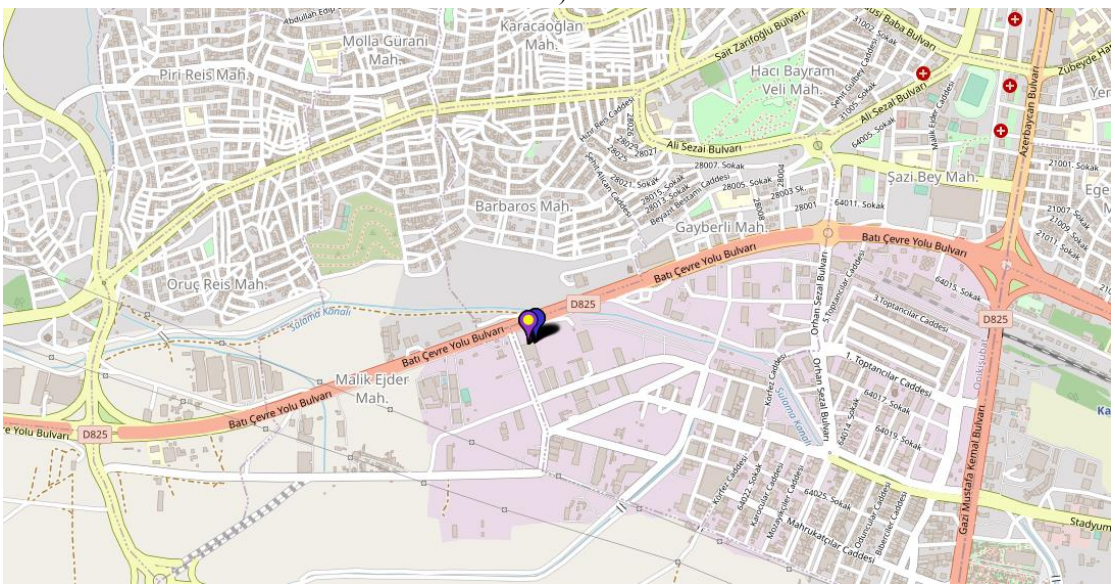
4.2.3. Asentamientos

4.2.3.1. Bodega de muebles Marisit, Kahramanmaraş

La bodega se encuentra ubicada al sur de la ciudad (Figura 4.25a) y b)); al momento de la visita se informó que el inmueble iba a ser demolido, adicionalmente comentaron que fue construido en 2008. En la Figura 4.26a) se observa la fachada frontal del edificio, 3 meses antes del sismo (noviembre de 2022), y en la Figura 4.26b) la misma fachada, el 14 de abril del 2023.



a)



b)

Figura 4.25 Localización del edificio en la ciudad de Kahramanmaraş. *Fuente: Elaboración propia con base en GeoSetter (2019).*

a)

b)

Figura 4.26 Estado del edificio en noviembre de 2022 y al 14 de abril de 2023. *Fuente: a): Google Earth (2023j); b): Archivo personal de los autores.*

A pesar de que los daños fueron principalmente estructurales, se observó al frente del edificio un desplazamiento relativo entre la zona del estacionamiento y el edificio del orden de 7 cm (Figura 4.27). En la esquina izquierda se presentó un asentamiento de unos 15 cm (Figura 4.28). Es importante considerar que el costado izquierdo del edificio colinda con un predio baldío, el cual se encuentra varios metros por debajo del nivel de calle. Es posible que, para conformar el estacionamiento, en frente de la fachada principal, haya sido necesario realizar un relleno en la zona contigua al edificio y éste, por acción del sismo, pudo sufrir un proceso de densificación, lo cual explicaría los asentamientos observados.

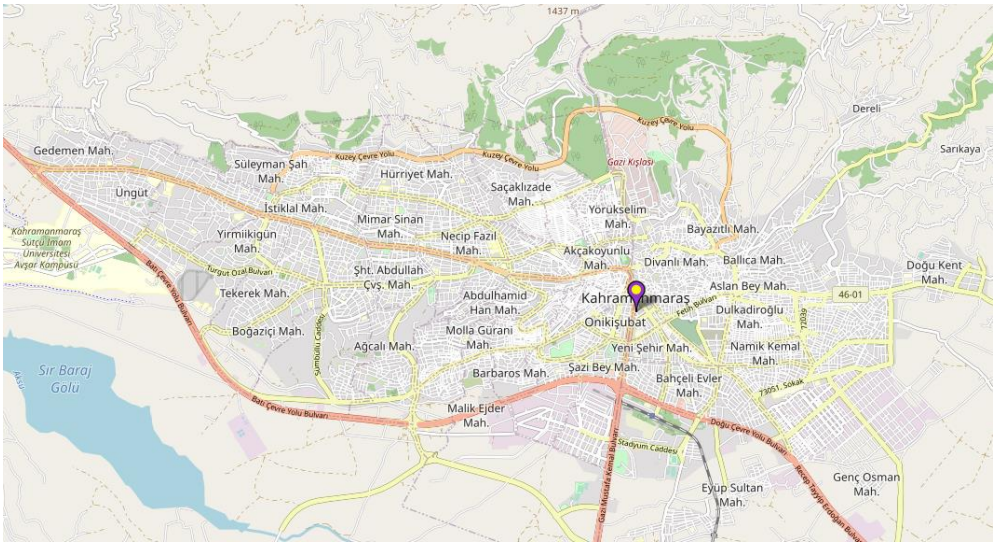
a) b)

Figura 4.27 Desplazamiento relativo entre el suelo y la edificación, y asentamiento del terreno. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

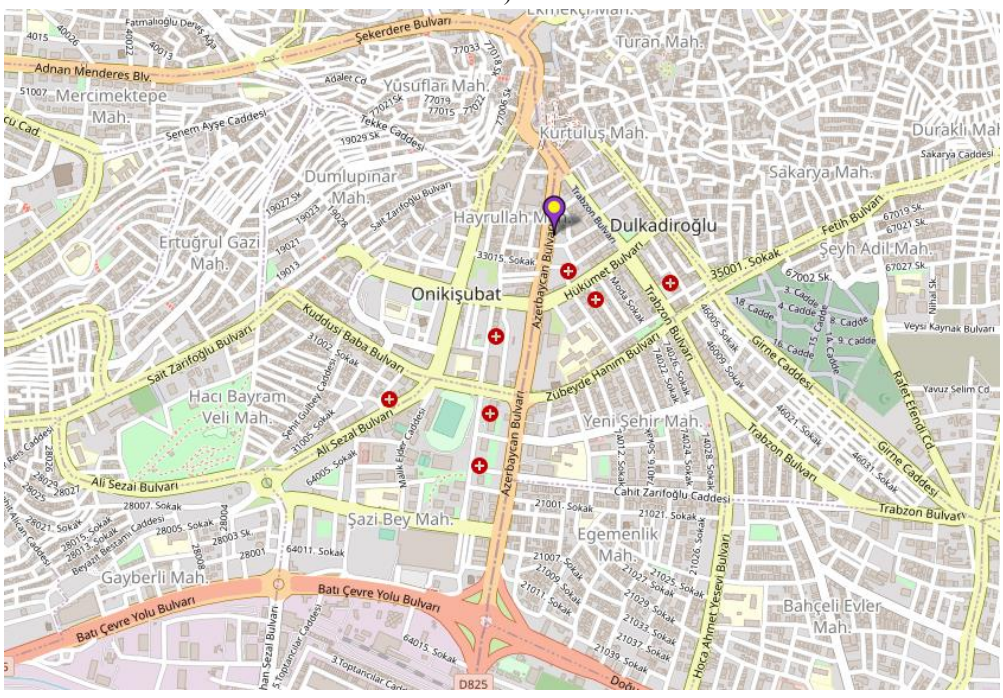
Figura 4.28 Asentamiento de aproximadamente 15 cm del terreno en el costado izquierdo de la edificación. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

4.2.3.2. Zona Comercial Kahramanmaras

En la zona comercial de Kahramanmaras (ver Figura 4.29a) y b)), en la parte central de la ciudad, se pudieron observar asentamientos alrededor de edificios, como se muestra en la Figura 4.30, producidos por densificación del terreno. En este edificio la magnitud del asentamiento observado no compromete la estabilidad de la estructura.



a)



b)

Figura 4.29 Localización del edificio en la ciudad de Kahramanmaraş. *Fuente: Elaboración propia con base en GeoSetter (2019b).*

Figura 4.30 Asentamiento del terreno en la periferia del edificio. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

4.2.4. Agrietamiento de suelos y pavimentos

4.2.4.1. Altinuzum

En la zona de Altinuzum (Figura 4.31) se encontraron unas grietas en el terreno que pueden ser la evidencia superficial de la falla que generó los sismos. La expresión de estas grietas evidencia un desplazamiento del terreno vertical y un desplazamiento en la dirección de la pendiente (Figura 4.32a) a e)). Este tipo de desplazamiento podría estar asociado a una cuña de deslizamiento que se empezó a movilizar.

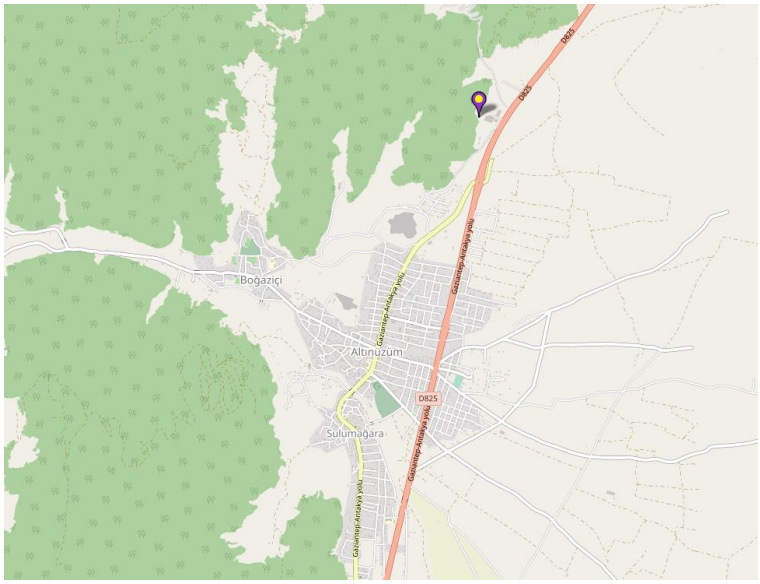


Figura 4.31 Localización del sitio del agrietamiento. *Fuente: Elaboración propia con base en GeoSetter (2019c).*

a)

b)

c)

d)

e)

Figura 4.32 Agrietamiento del terreno. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

4.2.4.2. Avenida Ataturk

En la avenida Ataturk en la ciudad de Izkerendun (Figura 4.33) se observaron grietas a lo largo del eje de la vía. Estas bien podrían ser generadas por asentamiento o por desplazamiento lateral del terreno, al encontrarse próximo a la línea costera (Figura 4.34a) y b)). Los desplazamientos laterales, como el observado, suelen estar asociados a la licuación de estratos arenosos subyaciendo la estructura de las vialidades y característicamente, se manifiestan por la aparición de agrietamientos paralelos a sus ejes longitudinales.

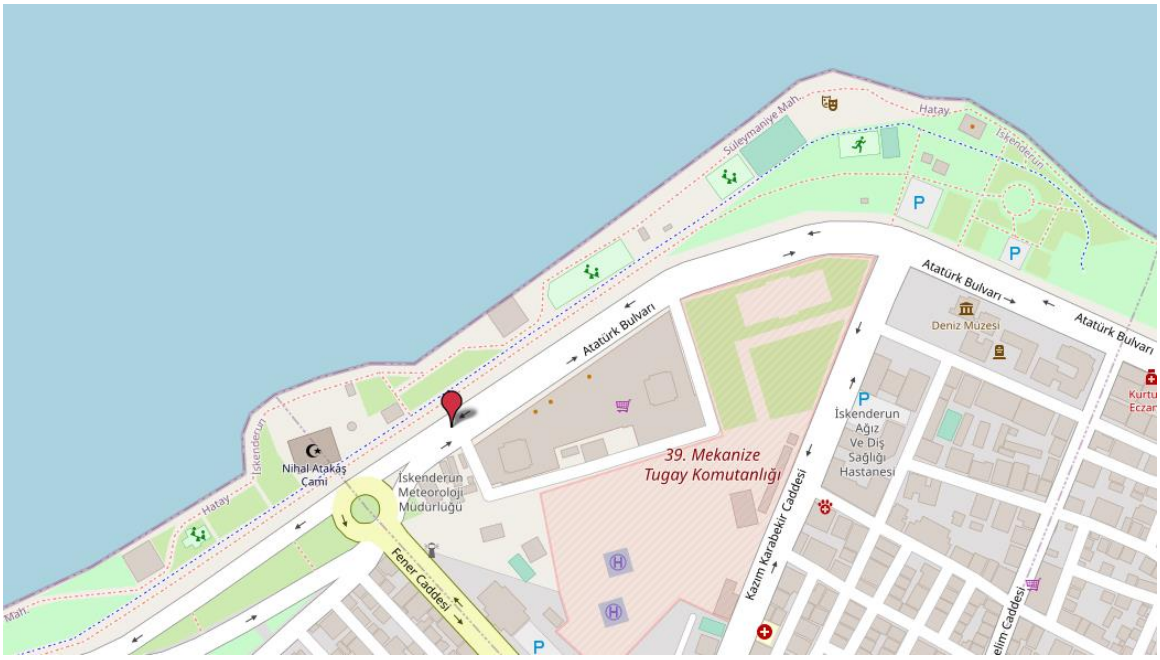


Figura 4.33 Localización del sitio del agrietamiento. *Fuente: Elaboración propia con base en GeoSetter (2019d).*

a) b)

Figura 4.34 Agrietamiento en la vía. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

4.2.5. Inestabilidad de taludes

En esta sección se muestran algunas fallas que se encontraron a lo largo de 1,600 km recorridos por carreteras principales y secundarias. En estas carreteras se observaron muchos sitios que habían sido reparados recientemente debido a desplazamientos de los taludes, hundimientos en la vía, agrietamientos y desplazamientos laterales.

Las carreteras recorridas se encontraban en pleno funcionamiento. Se tiene información que, a los pocos días de los sismos, éstas fueron puestas nuevamente en funcionamiento.

Las fallas de taludes que se presentan en la Figura 4.35a) a r) no presentan problemas para las vías debido a su magnitud, pero son testigo de la intensidad de los movimientos sísmicos.

a) Carretera Kahramanmaras – Gaziantep.

b) Gaziantep – Golbasi

c) Carretera Golbasi – Adiyaman

d) Carretera Golbasi – Adiyaman

e) Carretera Adiyaman – Malatya

f) Carretera Adiyaman – Malatya

g) Carretera Adiyaman – Malatya

h) Carretera Adiyaman – Malatya

i) Carretera Adiyaman – Malatya

j) Carretera Adama – Iskenderun

k) Fevzipasa

l) Fevzipasa

m) Carretera Nurdagi–Islahiye

n) Carretera Nurdagi – Islahiye

o) Carretera Gaziantep – Osmaniye

p) Mayo de 2021. *(Google Earth, 2023)*

q) Carretera Gaziantep – Osmaniye

r) Carretera Gaziantep – Osmaniye

Figura 4.35 Vistas de algunas fallas que se encontraron a lo largo de 1,600 km recorridos por carreteras principales y secundarias en pleno funcionamiento. *Fuente: p): Google Earth (2023k); a) – o), q) y r): Archivo personal de los autores.*

En la Figura 4.36a) y b) se presenta un puente de la carretera de cuota Gaziantep – Osmaniye, donde, además de la falla leve del talud, al lado izquierdo de la vía, se observó adicionalmente que los taludes de los apoyos cuarto y quinto, de izquierda a derecha, fueron reforzados por medio de anclajes, y no mostraron ninguna afectación (ver Figura 4.37). La estación cercana al sitio del puente registró una aceleración máxima del terreno de 602.7cm/s^2.

a) Carretera Gaziantep – Osmaniye

b) Noviembre 2022

Figura 4.36 Vistas del puente de la carretera de cuota Gaziantep – Osmaniye. *Fuente: a): Archivo personal de los autores; b): Google Earth (2023l).*

En la Figura 4.38a) a d) se muestra varios taludes de altura considerable que no presentaron problemas. En la Figura 4.38c) se presenta un talud que fue reforzado por medio de concreto lanzado y un muro reticular de concreto anclado que presentó un buen desempeño. En estas figuras se observan varios métodos para lograr la estabilidad de taludes como el concreto lanzado con anclas o clavos de anclaje, retículas de vigas con anclaje y también muros resueltos con tierra armada. En todos los casos los sistemas de estabilización funcionaron adecuadamente, a pesar de haber estado cerca de la zona epicentral. Las estaciones cercanas a los sitios presentados en la Figura 4.39a) y b), registraron aceleraciones máximas del terreno entre 250 cm/s^2 a 602.7cm/s^2

Figura 4.37 Apoyo del puente sobre la Carretera Gaziantep – Osmaniye. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

Figura 4.38 Taludes sobre la carretera Gaziantep – Osmaniye. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

La Figura 4.39a) y b) describe detalles del antes y después en la carretera Gaziantep – Osmaniye, donde se aprecia claramente un movimiento lateral en la vía, ocasionado por una de las fallas que generaron los sismos. Esos desplazamientos sugieren que ahí se localiza una falla geológica activa.

a)

b)

Figura 4.39 Carretera Gaziantep–Osmaniye. *Fuente: a): Google Maps (2023b); b): Archivo personal de los autores.*

4.3. Referencias

Cabalar, A. F., Canbolat A., Akbulut, N., Tercan S. H. & Isik H. (2019). Soil liquefaction potential in Kahramanmaras, Turkey. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10*(1), 1822-1838. 10.1080/19475705.2019.1629106 1142

Canpolat, A. (2017). Use of gis for evaluating the geotechnical properties in Kahramanmaraş, Turkey. [Tesis] Hasan Kalyoncu University, Graduate School of Natural & Applied Sciences.

Çetin, K. O., Ilgaç, M., Can, G. & Çakır, E. (Eds.). (2023). *Middle East Technical University Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023, Pazarcık Mw=7.7 and Elbistan Mw=7.6, Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes.* Earthquake Engineering Research Center.

GeoSetter. (2019a). [Localización de edificio en la ciudad de Kahramanmaraş]. Recuperado de: https://geosetter.de/en/main-en

GeoSetter. (2019b). Recuperado de: https://geosetter.de/en/main-en

GeoSetter. (2019c). [Localización de sitio]. Recuperado de: https://geosetter.de/en/main-en

GeoSetter. (2019d). Recuperado de: https://geosetter.de/en/main-en

Google Earth. (2023a). [Localización de Golbasi]. Recuperado de: https://earth.google.com/web

Google Earth. (2023b). Recuperado de: https://earth.google.com/web

Google Earth. (2023c). Recuperado de: https://earth.google.com/web

Google Earth. (2023d). Recuperado de: https://earth.google.com/web

Google Earth. (2023e). [Localización de sitio en Iskenderun]. Recuperado de: https://earth.google.com/web

Google Earth. (2023f). [Lozalización de zona en mapa]. Recuperado de: https://earth.google.com/web

Google Earth. (2023g). [Vista de edificio]. Recuperado de: https://earth.google.com/web
Google Earth. (2023h). Recuperado de: https://earth.google.com/web
Google Earth. (2023i). Recuperado de: https://earth.google.com/web
Google Earth. (2023j). [Vista de edificio, noviembre de 2022]. Recuperado de: https://earth.google.com/web
Google Earth. (2023k). [Vista de carreteras]. Recuperado de: https://earth.google.com/web
Google Earth. (2023l). [Vistas del puente de la carretera de cuota Gaziantep – Osmaniye]. Recuperado de: https://earth.google.com/web
Googla Maps. (2023a). [Localización del Hospital de Pazarcik]. Recuperado de: https://www.google.com
Googla Maps. (2023b). [Carretera Gaziantep–Osmaniye]. Recuperado de: https://www.google.com
Gülerce, Z., Askan, A., Kale, Ö., Sandıkkaya, A., Işık, N. S., İlhan, O., Can, G., Ilgaç, M., Ozacar, E. Sopacı, A. A., Çetin, K. Ö., Akbaş, B., Altındal, A., Guryuva, B., Kanun, O., Albayrak, K., Muratoglu, G., Okcu, O. S., Icen, A. & Aydin, M. F. (2023). Preliminary Analysis of Strong Ground Motion Characteristics. [Expanded version of Chapter 3]. February 6, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcik (Mw=7.7) and Elbistan (Mw=7.5) Earthquakes. https://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/CH4_Strong_Ground_Motion_Report_2023-02-20.pdf
Obermeier, S. F. (1996). Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis - An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. *Engineering Geology, 44,* 1-76.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

5.1.1. Aspectos sismológicos

Turquía está situada en un ambiente tectónico muy activo que se tiene muy bien estudiado. El mapa de peligro sísmico muestra claramente los lugares donde se esperan las mayores intensidades y que coinciden con las fronteras entre las placas tectónicas. Justamente en la frontera del bloque de Anatolia y la placa Arábiga es donde se presentaron los dos sismos de Mw 7.7 y Mw 7.6 del 6 de febrero de 2023.

Es de resaltar el esfuerzo que han realizado en la instalación y mantenimiento de las cuantiosas estaciones acelerográficas (más de 750) en todo el país. Llama la atención la distribución de una línea densa de estaciones instaladas prácticamente sobre la traza de la falla donde ocurrió el sismo de Paziantik-Kahramanmaras. Esto indica que en el diseño de la red se tomó en cuenta que esta falla se rompería generando un evento sísmico de magnitud importante. Sin embargo, en los estudios que se revisaron, las magnitudes esperadas para estas fallas eran inferiores, alrededor de 6.7, que las registradas en febrero de 2023.

La máxima PGA registrada por esta red fue de 1,367 gal en la estación 3129 en la ciudad de Hatay. Turquía cuenta con reglamento de construcciones aplicable a todo su territorio, lo cual resulta muy positivo ya que ha permitido uniformar criterios de diseño. Una deficiencia encontrada está en el criterio para considerar los efectos de sitio o de amplificación local con base en el parámetro VS30, el cual ha probado con ser insuficiente. Los espectros de respuesta de los registros de este evento en algunas estaciones sobrepasaron los previstos en el reglamento TBDY (2018) que es el más reciente. Esto parece ser el resultado en conjunto de considerar sismos de menor magnitud a la que se presentaron y de la forma en que incorporan los efectos locales basados en la VS30. Aun así, esto no es suficiente para explicar los daños que se produjeron en cuanto a pérdidas de vidas humanas y pérdidas económicas.

5.1.2. Aspectos estructurales

5.1.2.1. Aspectos generales

- Turquía cuenta con un reglamento nacional de construcciones de muy buena calidad. Sin embargo, su cumplimiento no es uniforme en el país.
- Los edificios dañados y colapsados adolecían de una configuración estructural poco apta para resistir sismos (con exceso de flexibilidad lateral) y deficiente detallado.
- Los edificios estaban estructurados mediante marcos de concreto o bien mediante losas planas apoyadas en columnas. En general, las columnas eran rectangulares orientadas de modo de dejar los mayores claros hacia las fachadas.
- Los edificios mostraban entrepisos flexibles/débiles en la planta baja destinada a comercio.
- Los edificios contaban con muros de mampostería divisorios, conectados a la estructura, que exhibieron daños de consideración. Las piezas de mampostería eran, en muchos casos, de arcilla multiperforada con los huecos en la dirección horizontal.
- El detallado deficiente consistía, en general, en barras colocadas a una separación casi nula provocando la ausencia de concreto alrededor de ellas; bajas cuantías de refuerzo transversal y elevadas separaciones a lo largo del elemento; ausencia de estribos y/o grapas interiores o sobrepuestos; insuficiente o nula cuantía de refuerzo transversal en la unión viga-columna; traslapes cortos, entre otros.
- Fue común observar barras de refuerzo lisas en edificios presumiblemente anteriores al sismo de Kocaeli de 1999.
- La calidad de la construcción lucía claramente deficiente en edificios dañados y colapsados. Concretos de baja resistencia, porosos y mal compactados, algunos incluso con agregados tipo canto rodado; deficiente colocación del acero de refuerzo; estructuración inadecuada que generaba torsiones en las uniones viga-columna; congestionamiento de barras de pequeños diámetros (del no. 4 o 5), entre otros.
- Fue clara una baja calidad en los trabajos de supervisión y autorización de la construcción.
- Presumiblemente, los desarrollos inmobiliarios en zonas de la periferia de las ciudades, se explican por corrupción entre autoridades locales, federales, desarrolladores y constructores.
- Los hospitales modernos, de más de 100 camas y aislados sísmicamente, exhibieron un excelente comportamiento. Se registraron algunos daños no estructurales, de menor consideración, tal vez atribuibles a un mayor coeficiente de fricción estática que el de diseño.
- Los puentes carreteros tuvieron un buen comportamiento, a decir de aquellos que pudieron ser observados.

5.1.2.2. Estructuras de mampostería

Los daños observados en estructuras de mampostería simple son similares a los que ocurren en México ante la ocurrencia de un sismo fuerte. La mayoría de los daños se presentan en estructuras que fueron producto de la autoconstrucción, en donde es común la combinación de distintos materiales de construcción que no necesariamente son compatibles como el bloque multiperforado, el adobe y el concreto, además que se aprecia la falta de una asesoría técnica. Fue frecuente encontrar viviendas en donde la planta baja estaba construida con mampostería de adobe o piedra y en la planta alta con mampostería de bloque y elementos de concreto reforzado, ocasionando un cambio brusco de la rigidez y resistencia entre ambas plantas y también una incompatibilidad entre los materiales empleados. En las mezquitas la mayor parte de los daños se concentraron en los minaretes, los cuales son elementos

muy esbeltos y sin un adecuado diseño para resistir fuerzas sísmicas, lo que ocasionó que la mayoría colapsaran. Una situación similar ocurre en las iglesias mexicanas en donde los elementos más vulnerables ante un sismo fuerte, son los campanarios que al ser muy altos y esbeltos, tienden a sufrir severos daños e inclusive alcanzan el colapso.

5.1.2.3. Edificios tipo habitacional

Gran parte de las afectaciones se presentaron porque no se respetan los reglamentos de construcción y desafortunadamente se permite la autoconstrucción, de acuerdo como se comentó previamente.

Asimismo, los colapsos y daños en los edificios evidenciaron errores de diseño y detallado del refuerzo, longitudinal y transversal, consistentes con un comportamiento frágil, claramente indeseable y proscrito en zonas sísmicas. Además de ello, los materiales usados eran evidentemente de baja resistencia (como el concreto) y con características indeseables para resistir sismos (barras lisas, piezas de mampostería con huecos perpendiculares a la carga vertical). La calidad de la ejecución fue notoriamente deficiente; ello se evidenció en colados inadecuados, junteo incompleto de piezas de mampostería, dobleces de barras con longitudes y ubicaciones incorrectos, entre otros.

La mayoría de las edificaciones de concreto reforzado presentaron problemas estructurales debido al uso excesivo de marcos esbeltos muy deformables lateralmente, sin detallar adecuadamente los refuerzos longitudinales y transversales de las conexiones viga-columna, con daños importantes en los muros de mampostería simple (sin reforzar), existentes de relleno en las fachadas e interiores.

Los edificios altos de hasta 12 pisos que usan la planta baja para estacionamiento, quedaron muy debilitados estructuralmente, y muchas veces con colapsos, similar a lo observado anteriormente en Turquía, en el sismo de agosto de 1999. La mayoría de este tipo de edificios ya habían sido demolidos. Se observaron muchos daños en estructuras por efectos del impacto de edificios colindantes colapsados.

No obstante que, en la mayoría de las zonas visitadas, el suelo de desplante de los edificios es semejante al tipo Lomas de la Ciudad de México, no se detectaron estructuraciones con la ayuda de muros de cortante de concreto reforzado, colocados de forma estratégica para evitar torsiones y/o concentraciones de esfuerzos en zonas pequeñas. Asimismo, no se observaron edificios de estructura metálica, así como tampoco problemas por efectos de torsión en planta.

5.1.3. Aspectos geotécnicos

Los daños asociados a la licuación de arenas fueron los más ostensibles en lo que se refiere a los aspectos geotécnicos. La licuación de arenas se manifestó en muchos sitios, principalmente de las regiones de Hatay-Paşaköy, Hatay-İskenderun, Adıyaman-Gölbaşı, Adıyaman-Türkoğlu.

En el campo libre, se manifestó a través de emisiones de material granular, hundimientos del terreno y desplazamientos laterales en sitios con pendientes ligeras, principalmente cerca de las costas.

La licuación total de una arena implica su incapacidad absoluta de resistir esfuerzos cortantes y aunque eso ocurra temporalmente, por segundos o decenas de segundos, el fenómeno dio lugar a fallas

catastróficas de decenas de edificios. En muchos casos no se desarrolló la licuación total sino solamente excesos de presión de poro, los cuales, al reducir los esfuerzos efectivos actuantes redujeron, asimismo, la capacidad de carga del terreno lo cual se tradujo en que muchos edificios se inclinaran peligrosamente o se hundieran, provocando daños en la superestructura.

Al parecer la esbeltez de muchos edificios pudo haber influido en la aparición de inclinaciones permanentes o eventualmente, en casos extremos, en el volcamiento total de los edificios, ante una reducción siquiera parcial de la capacidad de carga del terreno granular y saturado. Este interesante aspecto merece estudios posteriores, pues en la visita de nuestra delegación pudimos constatar muchos de los daños antes referidos, principalmente en la región de Hatay-İskenderun, aunque también quedó claro que la evidencia de la licuación en el caso de muchos edificios demolidos quedó borrada y que también muchos de los sitios costeros que la experimentaron fueron reparados prontamente.

5.2. Recomendaciones

5.2.1. Aspectos sismológicos

En cuanto a las estimaciones de peligro sísmico es claro que la magnitud máxima que tenían prevista para esas fallas subestimó la magnitud que se presentó. Aunque se han hecho muchos estudios, tal perece que han resultado insuficientes para estimar esta magnitud. La recomendación es realizar más estudios y con ellos revisar las estimaciones de peligro sísmico.

Otra recomendación es que incorporen de mejor manera los efectos de amplificación local en lugar de seguir usando V_{S30}. Estimaciones de la estructura de velocidades de ondas de cortante hasta alcanzar el basamento ingenieril con $v_s > 720$ m/s sería lo ideal. Para esas exploraciones existen, además de los métodos tradicionales, varios métodos basados en la observación de vibración ambiental en arreglos instrumentales.

Para el caso de México, la experiencia turca apunta a la conveniencia de tener un reglamento modelo de construcciones moderno y de cobertura nacional. Tanto este reglamento como las estimaciones de peligro sísmico deberían tener una revisión periódica donde se incorporen los últimos hallazgos de las investigaciones en estos campos. Hacen falta muchos estudios de paleosismología para conocer con mayor certeza el potencial de muchas fallas activas. En el reglamento, los efectos de amplificación local deberían estar basados en la estructura de velocidades de ondas de cortante, hasta alcanzar el basamento ingenieril con $v_s > 720$ m/s.

5.2.2. Aspectos estructurales

5.2.2.1. Generalidades

- Dada la similitud en sistemas constructivos y retos en la implantación y observancia de normas y reglamentos de construcción, se recomienda establecer programas de cooperación técnica con universidades de Turquía.
- Se propone que la cooperación incluya, al menos:
  - Instrumentación y observación sísmica
  - Diseño y comportamiento de cimentaciones, especialmente en zonas con estratos licuables
  - Diseño y comportamiento de estructuras de concreto, con énfasis en el detallado dúctil de elementos estructurales
  - Diseño y comportamiento de estructuras de mampostería, con énfasis en la adopción de la modalidad de mampostería confinada
  - Evaluación y rehabilitación de edificios, con énfasis en desarrollo y transferencia de técnicas costo-efectivas
  - Sistemas de control de la respuesta, en especial para edificios de importancia
  - Evaluación de la vulnerabilidad y pérdidas de inventarios de edificios en ciudades, con énfasis en la identificación de edificios altamente vulnerables para su rehabilitación o demolición
  - Entrenamiento de ingenieros evaluadores de año mediante tecnologías inmersivas
  - Capacitación de ingenieros sobre la observancia de reglamentos.

5.2.2.2. Estructuras de mampostería

Los daños ocasionados por la acción de un sismo en estructuras de mampostería son muy recurrentes y demuestran que, a pesar de que ya se tiene un vasto conocimiento acerca de su comportamiento y modos de falla, no se implementan acciones que ayuden a incrementar su resistencia sísmica.

En México, la mayoría de este tipo de estructuras difícilmente son evaluadas anticipadamente para determinar su seguridad sísmica y solo, en algunos casos llegan a ser atendidas hasta que ya han sido afectadas por un sismo con propósito de rehabilitarlas y reforzarlas. Por tanto, es indispensable emprender campañas de evaluación estructural que permitan determinar el grado de vulnerabilidad de estas y cualquier tipo de estructuras, para poder implementar medidas que ayuden a incrementar la resistencia sísmica y así evitar daños tanto a los edificios como a sus ocupantes.

Por otra parte, es inevitable erradicar la autoconstrucción ya sea porque es una costumbre o porque no se tienen los recursos para hacer proyectos formales, sin embargo, deben buscarse medidas que permitan la capacitación técnica de quienes se dedican a esta actividad y así construir viviendas más seguras.

5.2.2.3. Edificios tipo habitacional

Las autoridades turcas deberían revisar cuál es el estado sismorresistente de aquellos edificios que han soportado los sismos de 1999 y 2023, y que seguramente, la mayoría, fue diseñados bajo las especificaciones del Reglamento versión TDY 1975; así, de acuerdo con ese tipo de estudios, se deberá proporcionar la resistencia y rigidez lateral adicional. Por tanto, el suministro de la rigidez y resistencia lateral adicionales deberá estar soportado por la versión última del Reglamento (TBDY 2018), así como de las pruebas necesarias de materiales que garanticen el comportamiento estructural exigido en los próximos sismos importantes, sin dejar a un lado una supervisión de obra adecuada, evitando la autoconstrucción. Lo anterior aplica para edificios nuevos.

Los efectos sísmicos por considerar deberán ser tomados en cuenta, según el sitio de interés. Se debería redimensionar y estructurar con la participación ~~ayuda~~ de muros de concreto reforzado que ayuden a proporcionar la rigidez y resistencia lateral no existentes en los diseños estructurales actuales, éstos a base de marcos esbeltos. Se deberán evitar estructuraciones de planta baja flexible y/o cambios geométricos en planta y elevación, para evitar zonas débiles.

Sería muy importante, en los edificios por reforzar y en las estructuras nuevas, que se implementara un programa permanente de mediciones de vibración ambiental, para fines de darle seguimiento al comportamiento dinámico (periodos de vibración) de cada uno de los edificios de interés.

5.2.3. Aspectos geotécnicos

La bondad de las cimentaciones profundas con pilas o pilotes para evitar o mitigar considerablemente los efectos nocivos de la licuación de arenas fue evidente, al igual que el uso de aisladores sísmicos, como se pudo constatar en al menos dos importantes hospitales. En Turquía es común cimentar los edificios de vivienda con zapatas aisladas desplantadas a poca profundidad, de lo cual se infiere que se diseñan considerando que los terrenos arenosos de desplante son capaces de proveer la capacidad de carga necesaria. Sin embargo, esta práctica los deja expuestos a sufrir los efectos nocivos de la licuación de arenas. En nuestro país hay muchas regiones y zonas en las que se ha manifestado reiteradamente la licuación de arenas, principalmente, pero no exclusivamente, a lo largo de las zonas costeras. Al igual que en Turquía, Japón, Chile, Nueva Zelanda y muchísimos países más, los daños inducidos por este fenómeno han sido en ocasiones catastróficos, han costado centenas de vidas y han tenido enormes costos económicos. Urge emprender un esfuerzo a nivel nacional para identificar, primero, los sitios más expuestos a sufrir por este fenómeno y luego dedicar recursos para identificar y, en su caso, desarrollar métodos prácticos para prevenirlo o al menos para mitigar sus efectos. En nuestro país las recomendaciones de diseño expuestas en manuales como el de la Comisión Federal de Electricidad ya incluyen previsiones a este respecto, pero es necesario tener presente que deberán someterse a revisiones y actualizaciones periódicas. Lo mismo deberá ocurrir con los lineamientos de organismos como PEMEX o como los de las secretarías de estado involucradas en temas afines, así como las autoridades estatales y municipales.

El temblor de Turquía también produjo fallas en taludes carreteros, tanto en cortes como en rellenos, algunos de consideración. Es altamente destacable la rapidez y la eficiencia con la que actuaron las autoridades turcas para restablecer la circulación en las vías de comunicación. También, se identificaron algunos taludes de aproximación a puentes o pasos elevados que se resolvieron con la técnica de tierra armada. En ninguno de estos se pudieron apreciar daños o signos de mal comportamiento pues, al parecer, no sufrieron daños, ni siquiera aquellos localizados en la cercanía de la zona epicentral. Es importante revisar los métodos y procedimientos de diseño de estas estructuras empleados en Turquía para aprender de ellos. Finalmente, observamos estructuras de retención, muros de gravedad de poca altura, principalmente en carreteras, qué si bien sufrieron desplazamientos, no indujeron inconvenientes de consideración para la operación de las vías de comunicación. A este respecto, también, conviene revisar los aspectos organizativos que ejercieron las autoridades turcas para restablecer con tanta prontitud la operación de las vialidades.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Anexo 1

A.1.1. Reporte fotográfico de daños por el sismo Kocaeli de agosto-1999

El temblor ocurrió el 17 de agosto de 1999 (Mw= 7.4), al noroeste de Turquía, sacudiendo toda la región del Mar Mármara y algunas de las zonas más industrializadas y pobladas del país. El epicentro se localizó en la región de Kocaeli, cuya capital es Izmit, con consecuencias graves en distritos de Estambul, Golkuk, Derince, Darica, Adapazari y Yalova, entre otros sitios. Según lo observado, dominaron: fallas en edificios con planta baja flexible; malos diseñosy detallados sismorresistentes, con requisitos nulos de marcos dúctiles, debido a la escasez de refuerzo transversal en las uniones viga-columna y en extremos de columnas, sin estribos y/o grapas interiores; daños por impacto de edificios colindantes; problemas por efectos de licuación de arenas; concretos de mala calidad y barras lisas; etc. Como referencia, en la Figura A1 se muestran varios detalles geográficos y sísmicos de las zonas afectadas.

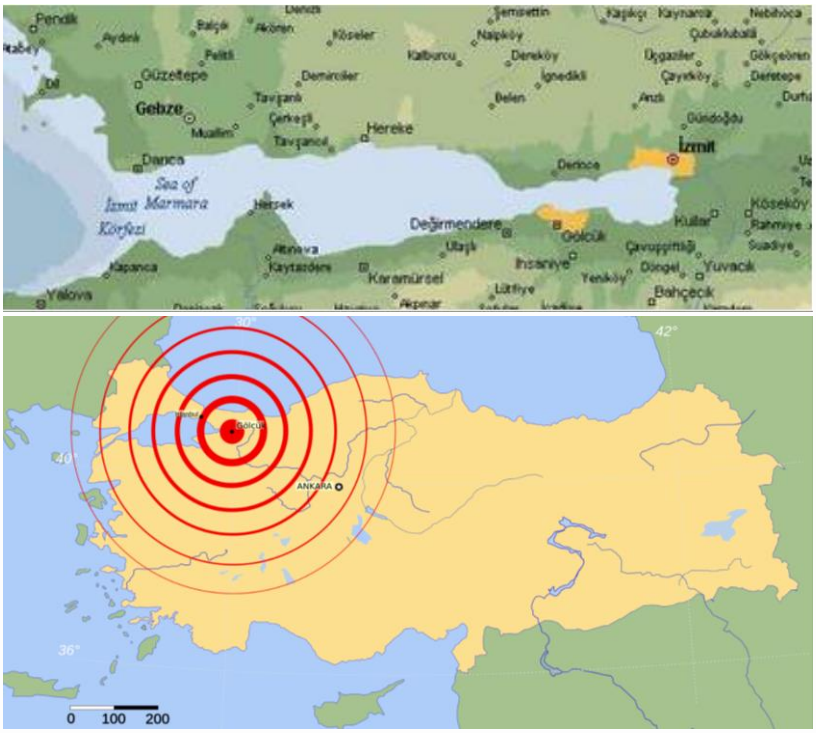


Figura A1. Algunos detalles de la zona de interés afectada por el sismo de Kocaeli, 1999. *Fuente: Google Maps (2023a).*

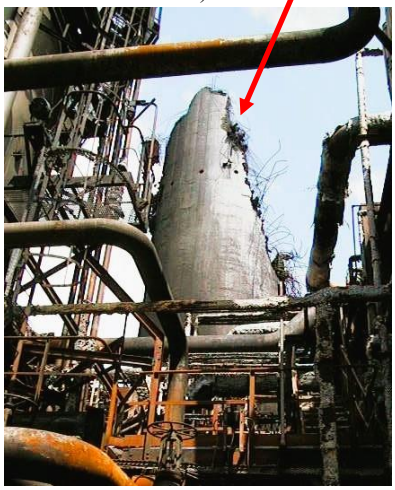
A.1.2. Daños en Izmit

La Figura A1.2.1a) a d) describe los daños observados en varias estructuras tipo industrial de la zona de la refinería Tüpraş, donde se tardaron varios días para controlar el fuego del combustible derramado, a raíz del gran sismo ocurrido. Posteriormente, en la Figura A1.2.2 a A1.2.6 se presenta daños característicos observados en varios edificios de la ciudad de Izmit.

a)

b)

c)



d)

Figura A1.2.1 Daños en la refinería Tüpraş**.** *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b) c)

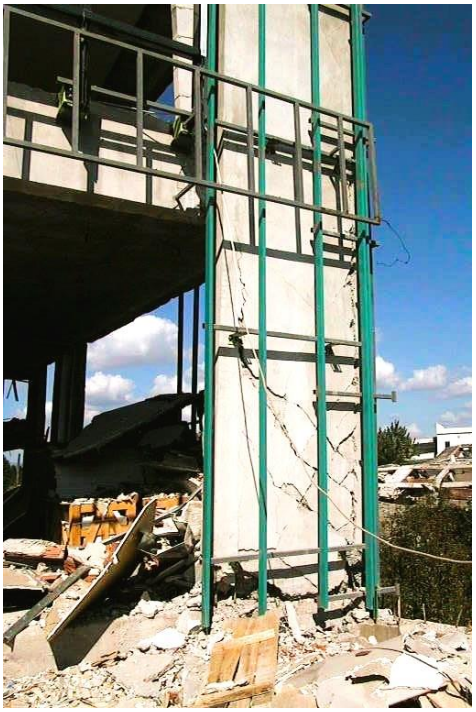
Figura A1.2.2 Edificio 1 con fallas por impacto, y diseños con detallados sismorresistentes inadecuados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura A1.2.3 Edificio 2 con falla por planta baja flexible. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)



d)

e)

Figura A1.2.4 Edificio 3 con fallas por diseños y detallados sismorresistentes inadecuados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

e)

f)

g)

h)

Figura A1.2.5 Varias vistas de los daños observados en el Edificio 4, con fallas por diseños y detallados sismorresistentes inadecuados. *Fuente: Archivo personal de los autores*.

a)

b)

Figura A1.2.6 Edificio 5 con fallas de piso por diseños y detallados estructurales inadecuados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En las Figuras A1.2.7 a A1.2.10 se muestran los daños observados en otros edificios de unidades habitacionales, localizados en la misma ciudad de Izmit, nuevamente con fallas estructurales por diseños y detallados sismorresistentes inadecuados.

a)

b)

c)

d)

e)

f) g)

Figura A1.2.7 Edificio de 13 niveles. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

Figura A1.2.8 Colapsos en varios edificios de 4 niveles por problemas de falla de planta flexible. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c) d)

e)

Figura A1.2.9 Edificio de 5 niveles con daños importantes por fallas de planta baja flexible, con diseños y detallados estructurales inadecuados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

e)

f)

g)

h)

i)

j)

k)

l)

m)

n)

Figura A1.2.10 Edificio de 6 niveles con fallas por diseños y detallados estructurales inadecuados. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

La Figura A1.2.11a) a c) describe el estado observado en varios edificios tipo que no manifestaron daños, algunos de ellos en etapa de construcción y otros existentes, sin estructuración a base de planta flexible debil.

Edificio de 4 niveles en proceso de construcción, aparentemente sin daños tras el sismo ocurrido en agosto de 1999 en Turquía, con estructuración a base de muros de concreto reforzado en el entrepiso inferior para evitar la planta baja flexible, pero con muros de mampostería, en el resto de entrepisos, sin reforzar y sin confinar totalmente en puertas y ventanas, etc.

a)

Edificio de 6 niveles en proceso de construcción, aparentemente sin daños tras el sismo ocurrido en agosto de 1999 en Turquía, con estructuración a base de muros y columnas de concreto reforzado en toda la altura, incluyendo el entrepiso inferior para evitar la planta baja flexible, pero con muros cortos ligados de mampostería en ventanas, etc.

b)

Varios edificios existentes de 6 niveles, sin daños tras el sismo ocurrido en agosto de 1999 en Turquía, con estructuración a base de muros de concreto reforzado en toda la altura, incluyendo el entrepiso inferior para evitar la planta baja flexible.

c)

Figura A1.2.11 Edificios tipo sin daños, estructurados con planta baja resistente. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

A.1.3. Daños en Yalova

En la Figura A1.3.1a) a e) se presentan varias vistas de los daños tipo en la zona de Yalova, en la costa Este del mar de Mármara, donde hubo zonas inundadas por desplazamientos laterales del suelo y daños en edificaciones, con planta baja flexible, y malos diseños y detallados estructurales, tras el sismo ocurrido el 17 de agosto de 1999 en Turquía.

a)

b)

c)

d)

e)

Figura A1.3.1 Daños tipo en la zona de Yalova. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

A.1.4. Adapazari

En la Figura A1.4.1a) a w) se muestran los diferentes daños observados en edificios de la ciudad de Adapazari (al noroeste de Turquía y noreste del lago Sapanca), donde la mayoría de los colapsos fueron por efectos de la planta baja flexible y/o diseños y detallados sismorresistentes inadecuados.

a)

b)

c)

d)

e)

f)

g)

h)

i)

j)

k)

l)

m)

n)

o)

p)

q)

r)

s)

t)

u)

v)

w)

Figura A1.4.1 Vistas de daños observados en edificios de la ciudad de Adapazari. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la Figura A1.4.2a) a d) se presentan varios detalles de las fallas estructurales observadas en edificios colapsados, a raíz de los efectos del sismo Kocaeli de agosto de 1999.

a)

b)

c)

d)

Figura A1.4.2 Detalles de fallas en otros edificios colapsados en la ciudad de Adapazari. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En la Figura A1.4.3a) a i), A1.4.4a) a d), A1.4.5a) a e) y A1.4.6a) a d), se presentan los tipos de daños detectados en varios edificios colapsados, localizados hacia el Centro de la ciudad de Adapazari.

a)

b)

c)

d)

e)

f)

g)

h)

i)

Figura A1.4.3 Detalles de fallas en otros edificios colapsados, hacia el Centro de la ciudad de Adapazari. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

Figura A1.4.4 Detalles de fallas en otros edificios colapsados en la ciudad de Adapazari. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura A1.4.5 Detalles de fallas en otros edificios colapsados en la ciudad de Adapazari. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

a)

b)

c)

d)

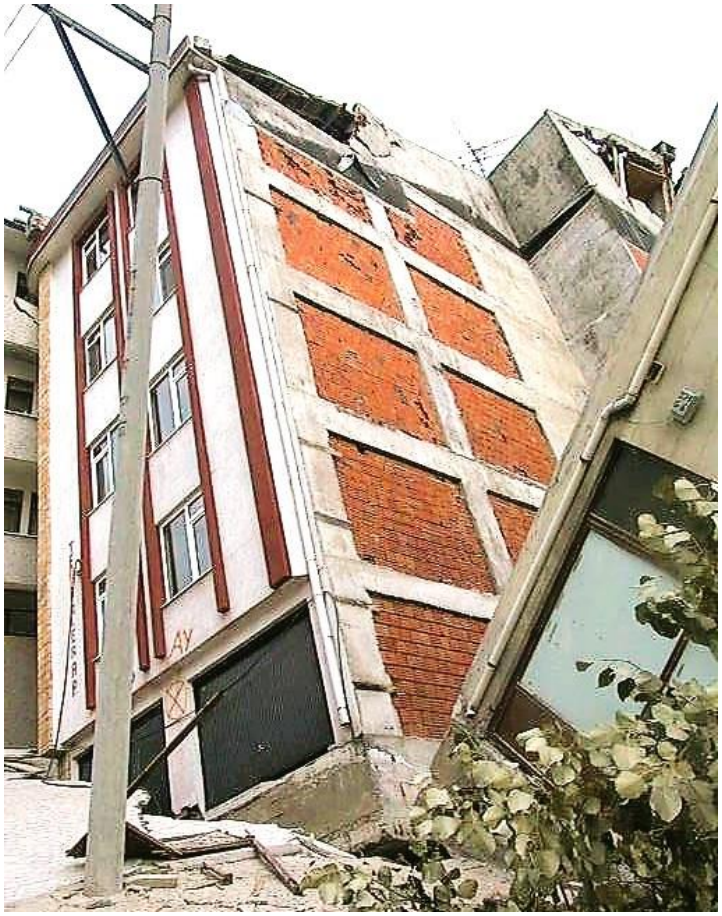
Figura A1.4.6 Colapsos adicionales en edificios con estructuración de planta baja flexible, deficientes diseños y detallados estructurales. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Figura A1.4.7 Estructuración no deseable con proyecto arquitectónico inadecuado, con distribución irregular en elevación de muros de concreto, problemas de columnas cortas inducidas por no coincidir los niveles en la misma rasante, entre otros. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

En las Figuras A1.4.8a) a g) y A1.4.9a) y b), se muestran varios edificios volcados, diseñados con cimentaciones poco profundas, por problemas de licuación de arenas.

a)

b)



c)

d)

e)

f)

g)

Figura A1.4.8 Volteo de dos edificios por problemas de licuación de arenas. *Fuente: Archivo personal de los autores*.

a)

b)

Figura A1.4.9 Volteo de otro edificio alto con mala cimentación (cajón de profundidad somera), por efectos de licuación de arenas. *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Finalmente, en la Figura A1.4.10 se presenta una pequeña construcción antigua de 2 niveles con daños sísmicos nulos, estructurada a base de dobles muros de mampostería con refuerzo de madera, continuos en toda la altura.

Figura A1.4.10 Estructura antigua de 2 niveles sin daños sísmicos**.** *Fuente: Archivo personal de los autores.*

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Anexo 2. Información sobre los movimientos fuertes del terreno registrados en las estaciones situadas a distancias menores de 100 km de la ruptura

De izquierda a derecha se reportan en cada columna, el código de la estación, la ciudad, el Distrito, la latitud y longitud de la estación, la distancia a la ruptura (Rrup), el parámetro V_{S30}, la clasificación del sitio, la componente, la aceleración pico (PGA), la velocidad pico (PGV), la intensidad de Arias, la intensidad de Housner y la velocidad absoluta acumulada. Se reproducen las tablas tal y como fueron reportadas por Gülerce *et al.* (2023).

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup(km)	V_{S30} (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
119	Adana	Karataş	36.5680	35.3900	83.80	485	ZC	E-W	44.340	19.01	46.72	9.82	32.62	519.19
								N-S	42.835	8.48	58.2	6.51	20.73	442.90
								U-D	25.275	10.41	63.94	3.84	18.92	356.94
120	Adana	Yumurtalık	36.7701	35.7901	59.60	439	ZC	E-W	115.866	24.82	57.05	42.49	48.39	1034.78
								N-S	112.469	33.93	56.51	42.89	62.43	1051.25
								U-D	103.266	13.14	54.74	13.77	26.65	613.47
122	Adana	Kozan	37.4339	35.8202	86.10	501	ZC	E-W	52.378	8.32	52.43	15.09	20.16	666.06
								N-S	57.323	13.00	52.06	15.21	22.66	666.19
								U-D	33.184	8.94	51.44	4.73	17.19	368.11
125	Adana	Ceyhan	37.0152	35.7958	69.80	216	ZD	E-W	83.225	26.62	60.04	49.21	67.31	1216.86
								N-S	128.556	33.14	60.51	71.87	91.53	1377.95
								U-D	35.141	8.99	60.69	8.70	29.78	536.04
127	Adana	Feke	37.8162	35.9204	95.80	583	ZC	E-W	50.876	4.50	45.5	14.82	15.09	632.92
								N-S	55.088	8.21	41.62	12.79	18.90	550.08
								U-D	39.237	7.51	44.94	4.63	15.62	351.01
130	Adana	İmamoğlu	37.2519	35.6710	90.30	NA	NA	E-W	68.272	14.40	61.76	20.72	43.12	796.49
								N-S	81.197	17.33	55.05	25.44	53.69	856.36
								U-D	35.334	8.28	62.99	7.89	25.56	524.20
131	Adana	Saimbeyli	37.8566	36.1153	84.70	NA	NA	E-W	159.420	6.73	41.93	74.79	12.87	1360.83
								N-S	146.618	7.06	42.53	75.98	15.64	1383.10
								U-D	50.274	7.42	45.19	8.38	13.12	477.19
132	Adana	Saimbeyli	37.8559	36.1149	84.70	NA	NA	E-W	32.476	4.68	47.92	5.27	14.02	382.34
								N-S	37.774	6.05	46.47	6.90	15.19	433.59
								U-D	29.678	7.54	47.95	4.37	14.15	345.90
133	Adana	Feke	37.7455	35.8640	96.30	NA	NA	E-W	74.206	5.60	43.11	17.22	19.40	661.44
								N-S	77.882	6.88	44.02	10.91	21.21	517.13
								U-D	39.694	7.39	44.8	4.41	16.05	341.86
134	Adana	Feke	37.7443	35.8645	96.20	NA	NA	E-W	45.842	5.89	46.98	6.81	15.98	429.43
								N-S	68.712	7.32	42.35	12.43	21.72	555.86
								U-D	38.623	7.20	46	4.23	15.81	336.96

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup(km)	VS30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
2104	Diyarbakır	Ergani	38.2644	39.7590	99.70	NA	NA	E-W	88.006	13.13	46.3	17.75	66.55	694.58
								N-S	62.542	22.13	59.86	13.24	44.82	649.38
								U-D	42.838	8.70	72.97	6.72	28.38	500.67
2107	Diyarbakır	Çermik	38.1459	39.4838	74.70	NA	NA	E-W	112.283	16.51	43.8	28.72	66.62	858.16
								N-S	74.733	28.24	49.25	26.07	50.27	859.21
								U-D	44.231	7.88	56.72	8.13	32.05	489.21
2302	Elazığ	Maden	38.3923	39.6754	95.60	907	ZB	E-W	219.562	14.59	11.75	24.51	32.80	505.08
								N-S	197.116	14.05	13.23	20.65	24.32	491.13
								U-D	109.449	7.30	24.07	8.56	21.99	394.05
2308	Elazığ	Sivrice	38.4506	39.3102	68.90	450	ZC	E-W	163.792	29.35	37.31	35.35	98.63	808.03
								N-S	322.464	38.52	21.17	59.69	114.56	907.76
								U-D	400.053	11.53	10.14	39.50	32.90	600.52
2309	Elazığ	Keban	38.7991	38.7273	74.20	860	ZB	E-W	35.257	8.40	34.11	3.61	19.33	284.03
								N-S	36.858	6.67	40.39	4.19	14.58	326.56
								U-D	25.505	7.00	44.52	2.44	20.71	244.77
2310	Elazığ	Baskil	38.5727	38.8245	51.40	NA	NA	E-W	51.169	8.08	29.485	8.84	22.56	427.23
								N-S	60.480	14.85	22.055	10.56	33.19	443.03
								U-D	48.889	7.86	30.11	3.84	21.35	289.21
2703	Gaziantep	Şahinbey	37.0580	37.3500	51.40	758	ZC	E-W	160.131	16.67	53.08	120.01	49.54	1692.03
								N-S	150.388	13.32	52.5	114.58	43.44	1672.19
								U-D	80.294	8.02	52.08	31.18	29.32	882.75
2708	Gaziantep	İslahiye	37.0993	36.6484	4.00	523	ZC	E-W	1089.439	144.37	37.32	1154.32	488.24	3813.58
								N-S	812.734	126.86	39.91	963.64	361.96	3767.00
								U-D	977.012	55.92	20.57	439.64	149.64	2146.77
2711	Gaziantep	Yavuzeli	37.3174	37.5604	35.20	NA	NA	E-W	97.302	17.48	51.76	62.69	36.67	1251.38
								N-S	107.008	17.03	51.99	66.85	45.07	1270.04
								U-D	61.580	9.73	50.82	24.64	30.40	791.01
2712	Gaziantep	Nurdağı	37.1840	36.7328	1.00	NA	NA	E-W	602.742	110.46	33.96	744.30	332.38	3020.43
								N-S	555.436	83.02	36.7	628.04	197.28	2916.20
								U-D	343.814	26.90	38.09	237.04	97.04	1799.69

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup(km)	VS30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
2715	Gaziantep	İslahiye	36.8554	36.6856	9.80	NA	NA	E-W	340.021	55.52	46.99	132.07	82.08	1527.35
								N-S	457.193	36.99	45.29	110.24	66.06	1364.71
								U-D	76.072	13.61	49.12	14.02	44.61	533.71
2716	Gaziantep	İslahiye	36.8564	36.6883	10.00	NA	NA	E-W	228.890	55.57	48.72	232.49	147.00	2145.88
								N-S	255.463	60.13	49.91	266.12	142.58	2318.36
								U-D	164.684	17.00	50.73	100.29	54.05	1502.64
2717	Gaziantep	İslahiye	36.8555	36.6910	10.30	NA	NA	E-W	117.462	53.05	44.41	38.46	90.55	768.68
								N-S	138.367	32.96	49.92	29.18	58.59	703.65
								U-D	80.703	14.54	49.24	17.16	47.21	568.71
2718	Gaziantep	İslahiye	37.0078	36.6266	1.70	NA	NA	E-W	643.745	119.42	20.7	439.19	255.31	2229.45
								N-S	702.091	80.05	13.49	436.39	206.49	2125.73
								U-D	584.255	62.79	20.84	227.50	171.93	1564.41
3115	Hatay	Belen	36.5463	36.1646	19.10	424	ZC	E-W	211.134	50.82	37.52	172.62	153.67	1971.07
								N-S	274.824	42.12	29.65	321.62	166.45	2534.31
								U-D	214.353	20.58	30.79	114.75	78.51	1591.15
3116	Hatay	İskenderun	36.6162	36.2066	18.70	868	ZB	E-W	165.557	37.02	33.34	85.09	84.52	1216.03
								N-S	160.424	43.16	31.95	79.14	89.72	1227.89
								U-D	162.787	19.99	28.82	45.33	46.49	928.49
3123	Hatay	Antakya	36.2142	36.1597	14.40	470	ZC	E-W	594.043	101.98	17.68	754.41	401.08	3208.75
								N-S	655.302	188.44	13.58	935.11	579.51	3433.49
								U-D	868.061	52.67	14.09	487.14	215.76	2416.68
3124	Hatay	Antakya	36.2387	36.1722	11.70	283	ZD	E-W	637.793	101.28	18.86	776.20	391.19	3376.79
								N-S	572.431	113.10	21.39	622.95	444.00	3148.01
								U-D	577.756	42.70	17.08	317.40	144.70	1945.50
3125	Hatay	Antakya	36.2381	36.1326	14.60	448	ZC	E-W	1123.242	108.87	16.65	779.44	279.41	3057.58
								N-S	823.509	75.69	17.38	663.81	234.87	2956.75
								U-D	1136.121	65.49	9.74	823.35	144.35	2705.33
3126	Hatay	Antakya	36.2202	36.1375	15.40	350	ZD	E-W	1028.770	93.15	25.21	1134.59	274.03	4204.90
								N-S	1210.189	110.34	19.98	2096.96	380.30	5349.18
								U-D	1070.168	78.84	9.73	1288.69	207.89	3406.55

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup(km)	Vs30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
3129	Hatay	Defne	36.1912	36.1343	17.90	447	ZC	E-W	1199.782	75.59	14.93	1829.59	286.96	4148.83
								N-S	1367.690	170.73	10.72	2501.64	545.19	4712.24
								U-D	826.167	43.85	10.22	705.19	165.12	2536.52
3131	Hatay	Antakya	36.1912	36.1633	16.20	567	ZC	E-W	339.689	44.24	8.98	164.62	222.30	1190.85
								N-S	349.297	51.49	9.06	127.52	168.36	974.83
								U-D	144.616	19.15	13.86	33.61	83.30	591.49
3132	Hatay	Antakya	36.2067	36.1716	14.40	377	ZC	E-W	514.114	53.85	17.58	439.50	221.47	2407.39
								N-S	515.074	67.69	13.52	372.47	294.44	2210.57
								U-D	353.840	34.28	13.64	193.77	154.21	1528.61
3133	Hatay	Reyhanlı	36.2432	36.5736	27.90	471	ZC	E-W	142.749	24.56	51.43	59.88	85.89	1215.67
								N-S	219.023	29.20	42.56	91.09	129.74	1387.28
								U-D	86.844	15.51	52.89	27.99	34.06	894.20
3134	Hatay	Dörtyol	36.8276	36.2049	28.20	374	ZC	E-W	203.742	41.95	45.6	127.59	108.57	1656.12
								N-S	245.988	40.58	45.58	143.25	136.27	1742.43
								U-D	140.627	19.87	43.68	57.74	46.07	1152.38
3135	Hatay	Arsuz	36.4089	35.8831	36.40	460	ZC	E-W	1367.456	66.09	22.78	688.44	232.35	2898.33
								N-S	741.091	51.94	23.33	558.60	183.14	2696.45
								U-D	589.311	37.45	25.25	244.53	95.77	1913.14
3136	Hatay	Altınözü	36.1159	36.2472	21.60	344	ZD	E-W	394.823	56.98	32.73	361.28	152.23	2619.67
								N-S	533.957	53.85	27.45	398.90	212.21	2604.43
								U-D	220.511	30.09	30.39	114.82	100.36	1469.17
3137	Hatay	Hassa	36.6929	36.4885	1.00	688	ZC	E-W	842.924	77.21	16.25	371.12	227.93	2183.54
								N-S	451.834	78.15	16.71	363.89	208.80	2239.28
								U-D	498.957	40.10	16.66	231.53	132.42	1760.51
3138	Hatay	Hassa	36.8026	36.5112	2.00	618	ZC	E-W	746.680	216.85	11.76	600.51	508.34	2281.25
								N-S	888.978	135.31	15.18	789.88	479.04	2596.21
								U-D	1068.095	83.22	4.99	325.55	331.92	1410.33
3139	Hatay	Kırıkhan	36.5838	36.4144	0.30	272	ZD	E-W	504.504	150.09	28.21	702.16	462.69	3216.46
								N-S	576.865	156.95	36.86	865.65	499.45	3675.59
								U-D	378.286	54.27	14.98	310.28	218.17	2078.78

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup(km)	Vs30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
3140	Hatay	Samandağ	36.0816	35.9498	38.30	210	ZD	E-W	218.637	81.35	37.12	203.96	199.22	2117.51
								N-S	194.597	64.15	33.09	228.03	231.90	2174.74
								U-D	176.663	30.02	36.1	86.03	132.72	1381.62
3141	Hatay	Antakya	36.3726	36.2197	6.90	338	ZD	E-W	852.265	124.52	13.24	1535.79	409.43	4356.39
								N-S	944.346	83.15	16.02	1348.14	294.33	4356.39
								U-D	618.780	43.22	13.92	631.82	148.17	2808.10
3142	Hatay	Kırıkhan	36.4980	36.3661	0.40	539	ZC	E-W	746.416	76.48	12.01	606.18	208.40	2614.65
								N-S	647.205	87.84	11.65	568.60	214.84	2466.31
								U-D	503.662	30.59	12.97	224.09	74.89	1630.69
3143	Hatay	Hassa	36.8489	36.5571	0.40	445	ZC	E-W	351.295	106.44	26.4	252.12	253.16	1907.24
								N-S	381.318	129.53	23.32	273.54	272.79	1852.69
								U-D	411.649	28.96	18.2	171.59	107.58	1479.06
3144	Hatay	Hassa	36.7569	36.4857	2.10	535	ZC	E-W	763.724	138.98	39.83	386.29	250.32	2532.92
								N-S	611.555	138.07	31.9	356.72	271.92	2157.42
								U-D	452.311	80.17	15.92	138.31	235.81	1249.10
3145	Hatay	Kırıkhan	36.6454	36.4064	3.70	533	ZC	E-W	696.562	157.69	11.14	657.04	398.21	2350.18
								N-S	599.876	116.51	13.68	386.67	235.53	2053.54
								U-D	660.538	64.79	10.59	315.71	233.36	1713.35
3146	Hatay	Belen	36.4908	36.2270	11.50	NA	NA	E-W	346.000	54.23	17.68	330.91	117.21	1780.37
								N-S	481.686	39.20	15.83	494.37	124.40	2140.70
								U-D	340.118	19.07	18.91	205.62	73.36	1439.78
3147	Hatay	Yayladağı	35.9024	36.0644	48.80	NA	NA	E-W	47.500	27.15	34.59	8.28	42.59	439.66
								N-S	56.468	14.90	55.08	7.33	37.06	427.90
								U-D	29.130	8.12	43.22	4.15	28.59	324.59
4404	Malatya	Pütürge	38.1959	38.8739	22.30	1380	ZB	E-W	136.236	15.11	21.99	19.53	39.40	561.83
								N-S	135.323	21.21	21.29	20.68	42.58	580.56
								U-D	95.803	10.62	29.06	9.47	34.42	425.68
4405	Malatya	Hekimhan	38.8107	37.9396	94.50	579	ZC	E-W	126.383	15.88	21.91	19.27	26.12	537.06
								N-S	90.736	8.27	26.79	13.63	24.49	498.48
								U-D	77.207	7.55	26.47	9.81	26.90	424.74

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup(km)	Vs30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
4406	Malatya	Akçadağ	38.3439	37.9738	47.50	815	ZB	E-W	131.322	29.17	40.21	33.07	75.67	827.57
								N-S	108.849	14.16	46.01	24.16	36.53	757.00
								U-D	49.838	12.31	45.8	11.43	35.80	528.86
4407	Malatya	Arguvan	38.7807	38.2641	78.40	735	ZC	E-W	33.083	8.41	57.45	6.63	32.83	452.77
								N-S	43.351	13.41	52.11	8.31	34.17	494.37
								U-D	19.328	7.06	53.29	2.68	21.35	284.76
4408	Malatya	Doğanşehir	38.0962	37.8873	27.00	654	ZC	E-W	137.188	35.73	25.96	43.45	74.74	834.86
								N-S	100.331	24.95	28.43	23.98	46.41	665.23
								U-D	96.811	22.86	26.66	23.03	64.05	632.99
4409	Malatya	Darende	38.5606	37.4908	88.90	NA	NA	E-W	28.488	10.01	55.96	3.54	15.39	328.41
								N-S	38.057	7.34	51.24	4.71	19.69	365.29
								U-D	27.983	6.97	52.32	2.97	18.09	293.85
4412	Malatya	Yazıhan	38.5969	38.1839	63.50	NA	NA	E-W	68.867	48.20	50.09	45.56	71.11	1141.01
								N-S	63.657	27.18	45.2	31.35	68.41	970.82
								U-D	55.550	27.27	53.73	25.02	51.08	893.72
4611	Kahramanmaraş	Çağlayancerit	37.7472	37.2843	18.50	731	ZC	E-W	320.401	40.08	43.62	267.64	118.32	2349.00
								N-S	349.470	42.52	42.58	281.65	117.18	2371.06
								U-D	173.891	15.69	45.71	83.16	50.23	1331.88
4612	Kahramanmaraş	Göksun	38.0240	36.4819	79.70	246	ZD	E-W	122.210	14.90	55.12	127.63	65.19	1999.99
								N-S	140.979	20.54	56.74	102.01	59.11	1801.96
								U-D	54.192	5.24	57.98	20.14	18.80	808.91
4613	Kahramanmaraş	Andırın	37.5701	36.3574	48.80	NA	NA	E-W	153.576	10.87	40.18	63.02	28.89	1183.87
								N-S	146.858	15.80	41.11	50.95	27.48	1079.53
								U-D	75.032	14.33	42.27	21.59	17.23	710.82
4615	Kahramanmaraş	Pazarcık	37.3868	37.1380	10.30	484	ZC	E-W	581.134	131.96	47.1	605.26	314.76	3263.48
								N-S	583.931	152.43	46.65	584.93	247.03	3188.66
								U-D	664.518	77.88	35.66	305.41	159.44	2106.71
4616	Kahramanmaraş	Türkoğlu	37.3755	36.8384	2.30	390	ZC	E-W	505.824	87.46	41.03	387.30	202.84	2544.91
								N-S	615.281	97.90	41.8	658.17	224.19	3200.42
								U-D	398.751	25.86	39	226.83	72.11	1881.56

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup(km)	Vs30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
4617	Kahramanmaraş	Onikişubat	37.5855	36.8303	22.20	574	ZC	E-W	114.831	28.24	44.49	57.19	72.96	1136.16
								N-S	145.430	29.44	44.33	74.46	83.33	1221.48
								U-D	110.736	20.70	45.61	47.88	48.26	1039.63
4620	Kahramanmaraş	Onikişubat	37.5857	36.8985	19.30	484	ZC	E-W	320.589	38.65	44.77	262.99	84.29	2259.75
								N-S	300.302	32.80	42.41	233.33	77.20	2070.83
								U-D	185.071	15.93	46.18	116.64	51.40	1552.32
4624	Kahramanmaraş	Onikişubat	37.5361	36.9177	13.70	280	ZD	E-W	319.801	62.40	45.84	437.35	201.39	2960.10
								N-S	357.389	60.48	45.96	389.34	199.05	2739.93
								U-D	161.694	35.76	43.39	112.44	82.91	1522.63
4625	Kahramanmaraş	Dulkadiroğlu	37.5387	36.9819	11.10	346	ZD	E-W	484.376	67.12	41.52	468.82	179.44	2815.40
								N-S	448.106	79.80	38.15	429.77	225.64	2702.33
								U-D	367.233	28.98	31.82	233.97	93.09	1989.10
4628	Kahramanmaraş	Afşin	38.2412	36.9228	81.90	337	ZD	E-W	82.565	11.91	58.19	56.67	28.65	1334.30
								N-S	91.116	9.74	55.09	44.83	22.60	1176.45
								U-D	55.744	4.10	57.43	10.22	11.99	548.17
6303	Şanlıurfa	Siverek	37.7524	39.3291	74.70	986	ZB	E-W	114.461	21.71	35.04	20.09	67.92	658.33
								N-S	117.418	17.11	40.51	17.22	56.21	610.16
								U-D	38.915	10.44	67.83	8.48	26.27	561.84
6304	Şanlıurfa	Bozova	37.3651	38.5132	70.70	376	ZC	E-W	237.995	16.55	46.29	181.45	54.76	2187.95
								N-S	210.759	21.30	44.07	152.30	63.06	1962.59
								U-D	89.436	11.23	53.65	34.88	23.26	1018.96
8002	Osmaniye	Bahçe	37.1916	36.5620	15.20	430	ZC	E-W	202.594	41.44	41.48	126.09	79.36	1558.71
								N-S	242.513	45.00	36.08	241.39	142.78	2089.51
								U-D	335.052	18.41	33.78	167.12	61.90	1669.63
8003	Osmaniye	Osmaniye Merkez	37.0842	36.2694	34.20	350	ZD	E-W	185.872	28.60	39.62	115.09	102.30	1587.76
								N-S	141.600	31.33	38.88	91.13	113.60	1363.10
								U-D	139.941	19.59	41.22	63.66	65.90	1159.75
8004	Osmaniye	Kadirli	37.3799	36.0976	61.20	426	ZC	E-W	178.978	22.00	44.16	96.90	70.54	1483.75
								N-S	168.388	19.05	41.88	80.42	58.55	1316.69
								U-D	71.815	12.04	51.62	18.86	36.19	718.60
NAR	Kahramanmaraş	Pazarcık	37.3919	37.1574	10.70	NA	NA	E-W	613.878	104.40	40.77	366.97	223.00	2494.04
								N-S	765.851	90.45	38.49	393.03	212.27	2484.29
								U-D	482.223	46.27	33.81	230.63	108.15	1868.44

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup (km)	Vs30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s²)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
127	Adana	Feke	37.8162	35.9204	73.70	583	ZC	E-W	62.75	13.98	37.36	11.09	25.76	476.64
								N-S	56.07	16.16	39.62	8.04	21.29	406.54
								U-D	38.25	14.97	35.05	4.13	15.77	289.93
129	Adana	Tufanbeyli	38.2592	36.2109	55.40	965	ZB	E-W	172.34	15.85	23.97	33.59	24.02	700.45
								N-S	154.48	19.38	25.61	37.60	27.95	747.15
								U-D	85.49	14.49	28.42	13.35	22.38	455.09
131	Adana	Saimbeyli	37.8566	36.1153	56.00	NA	NA	E-W	331.27	27.35	16.16	91.60	26.80	1023.91
								N-S	397.23	27.44	14.21	120.83	31.20	1111.82
								U-D	83.37	18.65	23.30	11.38	26.20	415.91
132	Adana	Saimbeyli	37.8559	36.1149	56.10	NA	NA	E-W	59.45	14.02	31.21	5.12	17.08	305.73
								N-S	65.34	21.25	25.79	6.30	20.85	304.53
								U-D	53.67	17.42	26.92	6.45	26.08	318.86
133	Adana	Feke	37.7455	35.8640	80.80	NA	NA	E-W	80.24	18.23	33.42	13.07	23.24	491.70
								N-S	47.33	14.42	42.44	6.34	23.55	359.03
								U-D	36.93	13.14	42.31	3.77	16.75	282.31
134	Adana	Feke	37.7443	35.8645	80.80	NA	NA	E-W	46.53	18.86	38.42	6.13	22.36	343.00
								N-S	52.13	13.20	36.89	8.01	25.85	395.68
								U-D	35.49	13.83	41.51	3.49	17.00	271.08
138	Adana	Kozan	37.7049	35.7234	93.90	NA	NA	E-W	22.89	12.54	37.55	1.96	14.17	205.84
								N-S	25.02	12.56	40.50	1.61	13.98	185.09
								U-D	18.85	10.06	47.83	1.60	14.27	195.23
205	Adıyaman	Kahta	37.7918	38.6160	90.60	660	ZC	E-W	54.65	22.13	40.82	14.53	50.06	613.56
								N-S	44.88	16.00	47.30	12.16	48.73	579.42
								U-D	32.93	10.75	56.32	7.92	28.62	480.97
213	Adıyaman	Tut	37.7967	37.9296	39.90	NA	NA	E-W	126.66	24.00	29.76	79.91	102.01	1227.56
								N-S	121.24	26.68	30.35	73.64	83.89	1189.88
								U-D	71.36	9.93	31.81	18.33	30.87	594.91
3802	Kayseri	Sarız	38.4781	36.5036	59.00	305	ZD	E-W	220.92	27.65	47.84	111.97	138.82	1610.08
								N-S	196.54	25.73	44.60	122.52	113.17	1647.43
								U-D	121.64	12.59	57.00	44.66	63.26	1052.04

Station Code	City	District	Lat.	Long.	Rrup (km)	Vs30 (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s²)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
3804	Kayseri	Pınarbaşı	38.7227	36.3779	88.30	637	ZC	E-W	37.97	6.62	34.96	3.52	19.88	252.56
								N-S	34.55	8.54	44.31	3.02	17.06	251.90
								U-D	27.89	4.81	45.80	2.13	13.48	220.64
4405	Malatya	Hekimhan	38.8107	37.9396	85.30	579	ZC	E-W	156.98	14.62	20.48	22.13	33.61	549.93
								N-S	152.09	7.96	20.30	22.85	34.37	571.37
								U-D	119.33	8.55	20.02	12.49	25.61	418.75
4406	Malatya	Akçadağ	38.3439	37.9738	41.00	815	ZB	E-W	410.95	36.95	17.42	287.52	97.76	1784.12
								N-S	472.03	22.36	18.37	326.12	94.34	1955.80
								U-D	315.16	19.11	16.98	144.70	62.52	1274.76
4409	Malatya	Darende	38.5606	37.4908	55.00	NA	NA	E-W	76.99	18.56	31.17	15.15	45.44	510.97
								N-S	72.04	9.19	27.40	15.17	33.30	511.09
								U-D	53.53	6.80	31.56	7.89	25.80	386.26
4410	Malatya	Kuluncak	38.8668	37.6790	87.70	NA	NA	E-W	127.27	17.64	25.61	25.78	48.18	659.64
								N-S	112.08	10.03	26.57	19.04	43.18	582.30
								U-D	54.04	5.36	31.38	7.03	24.49	382.82
4412	Malatya	Yazıhan	38.5969	38.1839	74.20	NA	NA	E-W	126.37	28.65	35.05	45.11	91.57	979.39
								N-S	158.97	39.50	35.32	50.21	101.56	1002.06
								U-D	79.91	29.18	52.34	37.08	63.22	1000.96
4611	Kahramanmaraş	Çağlayancerit	37.7472	37.2843	32.30	731	ZC	E-W	138.66	38.36	32.77	68.55	78.22	1080.46
								N-S	194.41	14.19	35.09	56.78	49.96	996.46
								U-D	69.66	11.35	35.43	14.90	30.36	532.72
4612	Kahramanmaraş	Göksun	38.0240	36.4819	22.70	246	ZD	E-W	523.19	75.57	25.33	317.38	314.81	1919.10
								N-S	635.48	174.05	20.01	417.35	410.67	2070.85
								U-D	367.81	55.89	9.99	89.83	129.34	875.16
4614	Kahramanmaraş	Pazarcık	37.4851	37.2978	61.30	541	ZC	E-W	203.92	34.77	33.63	51.91	33.49	952.45
								N-S	160.92	13.38	32.39	63.00	25.68	1081.29
								U-D	89.17	5.48	34.67	14.20	17.03	508.92
4615	Kahramanmaraş	Pazarcık	37.3868	37.1380	70.20	484	ZC	E-W	73.58	30.44	39.73	13.88	35.02	549.36
								N-S	44.44	10.99	39.04	8.73	20.99	426.76
								U-D	41.63	6.64	42.74	3.95	14.98	293.52

Station Code	City	District	Lat.	Long.	R_{rup} (km)	V_{S30} (m/s)	Site Class*	Comp.	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	Significant Duration (s)	Arias Intensity (cm/s)	Housner Intensity (cm)	Cumulative Absolute Velocity (cm/s)
4616	Kahramanmaraş	Türkoğlu	37.3755	36.8384	67.80	390	ZC	E-W	53.42	14.71	35.45	9.60	16.94	432.47
								N-S	57.55	10.69	37.61	11.35	16.67	479.10
								U-D	28.04	5.44	39.97	3.09	13.16	261.15
4617	Kahramanmaraş	Onikişubat	37.5855	36.8303	44.60	574	ZC	E-W	82.56	28.47	37.21	27.30	77.74	728.53
								N-S	55.90	23.46	39.76	19.15	60.60	642.67
								U-D	54.76	13.54	44.86	12.24	53.54	540.45
4620	Kahramanmaraş	Onikişubat	37.5857	36.8985	45.40	484	ZC	E-W	81.18	25.19	45.54	19.64	59.58	651.81
								N-S	66.83	21.99	37.52	15.83	50.54	583.58
								U-D	57.04	13.62	40.51	8.89	44.94	446.19
4624	Kahramanmaraş	Onikişubat	37.5361	36.9177	51.10	280	ZD	E-W	79.83	19.24	45.46	25.12	52.11	765.68
								N-S	65.03	18.78	42.96	26.06	65.10	770.11
								U-D	38.60	9.04	44.38	6.69	30.09	391.69
5807	Sivas	Gürün	38.7269	37.2475	76.10	445	ZC	E-W	71.85	17.86	33.78	17.60	47.48	571.91
								N-S	90.60	10.61	32.94	23.84	33.54	668.98
								U-D	41.84	7.43	39.05	9.11	29.98	444.45
8002	Osmaniye	Bahçe	37.1916	36.5620	89.00	430	ZC	E-W	45.52	18.16	36.32	6.51	23.88	387.75
								N-S	65.88	7.74	32.27	11.68	29.08	474.35
								U-D	28.81	6.81	47.19	4.02	16.28	317.22
NAR	Kahramanmaraş	Pazarcık	37.3919	37.1574	69.90	NA	NA	E-W	109.90	27.50	32.16	11.75	21.97	404.07
								N-S	126.47	8.65	28.54	9.79	17.30	362.86
								U-D	82.38	4.76	29.04	5.45	9.99	264.15

Anexo 3. Información de fotos de portada

Edificios dañados en la ciudad de Nurdagi

Edificio dañado con deficiente estructuración y mala calidad de materiales en la ciudad de Kahramanmaras

Daños por efectos de licuación en la ciudad de Gölbasi

Hospital aislado sísmicamente en la ciudad de Osmaniye, sin daño

Las Series del Instituto de Ingeniería describen los resultados de algunas de las investi gaciones más relevantes de esta institución. Con frecuencia son trabajos in extenso de artículos que se publican en revistas especializadas, memorias de congresos, etc.

Cada número de estas Series se edita con la aprobación técnica del Comité Editorial del Instituto, basada en la evaluación de árbitros competentes en el tema, adscritos a insti tuciones del país y/o el extranjero.

Actualmente hay tres diferentes Series del Instituto de Ingeniería:

SERIE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Incluye trabajos originales sobre investigación y/o desarrollo tecnológico. Es continua ción de la Serie Azul u Ordinaria, publicada por el Instituto de Ingeniería desde 1956, la cual actualmente tiene nueva presentación y admite textos en español e inglés.

SERIE DOCENCIA

Está dedicada a temas especializados de cursos universitarios para facilitar a estu diantes y profesores una mejor comprensión de ciertos temas importantes de los programas de estudio.

SERIE MANUALES

Abarca manuales útiles para resolver problemas asociados con la práctica profesional o textos que describen y explican el estado del arte o el estado de la práctica en ciertos temas. Incluye normas, manuales de diseño y de laboratorio, reglamentos, comenta rios a normas y bases de datos.

Las Series del Instituto de Ingeniería pueden consultarse gratuitamente desde la dirección electrónica del Instituto http://www.ii.unam.mx (http://aplicaciones.iingen.unam.mx/ConsultasSPII/Buscarpublicacion.aspx) y pueden grabarse o imprimirse en formato PDF desde cualquier computadora.