

LECCIONES APRENDIDAS EN LOS TERREMOTOS DEL 6 DE FEBRERO EN TURQUÍA Y SU RELACION CON EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN LA PROVINCIA DE SALTA

Kohan, Paul Hernán
Ingeniero Civil

I.C.M.A.Sa. - Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería.
Universidad Católica de Salta, Facultad de Ingeniería.
paulkohan@ing.unsa.edu.ar

RESUMEN

Los terremotos del 6 de Febrero en Turquía produjeron gravísimas consecuencias en termino de pérdidas humanas y materiales. La evolución a través de las últimas décadas de los reglamentos para el diseño de estructuras de hormigón armado en Turquía y Argentina son comparables. Las tipologías estructurales utilizadas en las zonas más afectadas son similares a las utilizadas en la Ciudad de Salta. Por lo tanto, resulta de importancia analizar los problemas encontrados en el comportamiento de las estructuras afectadas en Turquía y utilizar las lecciones aprendidas para discutir y analizar la realidad en nuestro medio. En el presente trabajo se presenta problemas estructurales encontrados en un relevamiento en el lugar y se analizan las razones que pueden justificar el daño estructural observado. En base a las lecciones aprendidas se discuten aspectos del diseño y construcción de estructuras sismorresistentes en la Ciudad de Salta que deberían considerarse para mejorar su desempeño ante un posible evento sísmico. En este análisis se hace hincapié en conceptos a considerar en el proceso de diseño propuesto por el nuevo reglamento Cirsoc 103.

ABSTRACT

The earthquakes of February 6 in Turkey produced very serious consequences in terms of human and material losses. The evolution over the last decades of the codes for the design of reinforced concrete structures in Turkey and Argentina are similar. The structural typologies used in the most affected areas are similar to those used in the City of Salta. Therefore, it is important to analyze the problems found in the behavior of the affected structures in Turkey and use the lessons learned to discuss and analyze the situation in our city. In this work, structural problems found in a survey at the site are presented and the reasons that may justify the observed structural damage are analyzed. Based on the lessons learned, aspects of the design and construction of earthquake-resistant structures in the City of Salta that should be considered to improve their performance in the event of a possible seismic event are discussed. In this analysis, emphasis is placed on concepts to be considered in the design process proposed by the new Cirsoc 103 code.

Organiza:

1. INTRODUCCIÓN

El 6 de Febrero del 2023 a las 4:17 y a las 13:24 dos eventos sísmicos de elevada magnitud se produjeron en la Falla de Anatolia Oriental. El primer evento de una magnitud (M_w) 7.7 tuvo su epicentro en Pazarcik, aproximadamente a 40km en dirección noroeste de Gaziantep y 33km al sureste de Kahramanmaraş, con una profundidad de 8.6 km. Nueve horas después, el segundo evento de magnitud (M_w) 7.6 tuvo su epicentro en Elbistan, aproximadamente a 98km al noroeste de Adiyaman y 62 km noreste de Kahramanmaraş, con una profundidad de 7.0km. Ambos eventos se produjeron por movimientos en la Falla de Anatolia Orienta, ubicados en la figura 1. En los días posteriores se produjeron numerosas replicas, más de 400 excedieron la magnitud (M_w) 5 y 6. Estos eventos afectaron principalmente las ciudades de Kahramanmaraş, Adiyaman, Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Kilis, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya, Adana, and Elazığ donde viven más de 15 millones de personas. Se produjeron más de 50000 muertes y más de 200000 edificios colapsaron o experimentaron daño severo. La intensidad del movimiento sísmico junto a la mala calidad de construcción y a deficiencias en el diseño estructural explican el mal desempeño de las estructuras y la magnitud del daño generado. En las siguientes secciones se discuten algunas razones que explican la severidad de lo sucedido en base a relevamientos realizados en el lugar por el autor de este trabajo y a otras fuentes encontradas en la literatura.

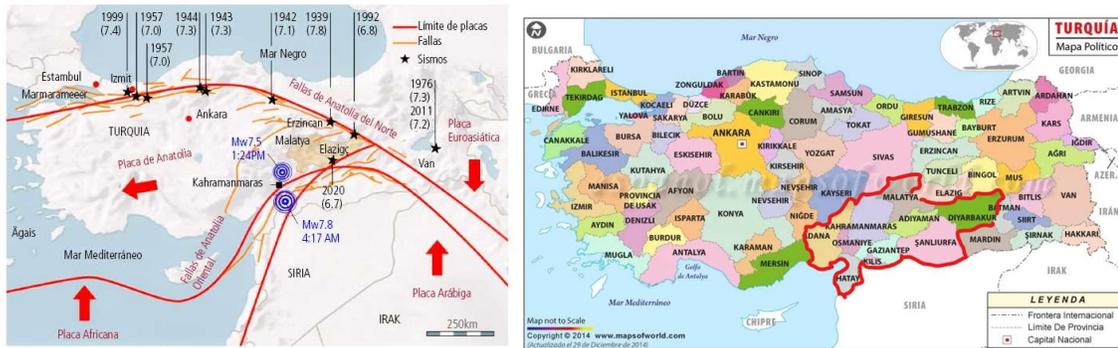


Figura 1. Epicentro de sismos del 6 de febrero 2023¹

2. DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS DE HA EN TURQUIA

Según diversos relevamientos, al menos el 80% de las estructuras en Turquía son de Hormigón Armado. La tipología estructural observada en las zonas afectadas consiste en su inmensa mayoría estructuras que incluyen pórticos de hormigón armado y Organiza:

tabiques, generalmente en las cajas de ascensores. En la mayoría de los casos, por razones de proyecto arquitectónico, las columnas presentan secciones alargadas. Los cerramientos están constituidos por muros de ladrillos cerámicos huecos, dispuestos sin ningún tipo de junta con la estructura de hormigón armado. Habitualmente se dispone en planta baja locales comerciales, por lo que este nivel tiene más altura que los superiores y se prescinde de divisiones de mampostería. La figura 2 muestra algunos ejemplos.



Figura 2. Vistas de construcciones típicas en la zona afectada

El diseño de las estructuras de hormigón armado sismorresistente es ordenado y limitado por reglamentos cuyo desarrollo en distintos países se basan conclusiones sobre investigaciones académicas, tanto teóricos como experimentales, y en lo aprendido de la respuesta de las estructuras a eventos sísmicos que han sucedido a lo largo del tiempo. La evolución de estos reglamentos en el mundo se ha desarrollado en termino generales de manera similar y paralela.

En el caso de Turquía, se han publicado reglamentos en los años 1940, 1944, 1947,
Organiza:

1953, 1961, 1968, 1975, 1998, 2007 y 2018. Entre estos reglamentos se señala particularmente la importancia del TEC-1998², que ha introducido cambios significativos. Entre ellos, por primera vez se define un espectro de diseño elástico con un 5% de amortiguamiento considerando distintas clases de suelos, y se incluyen consideraciones diferenciadas para estructuras distintos niveles de ductilidad. A partir de este reglamento se incluyen también conceptos del diseño por capacidad, como la condición de columna fuerte viga débil, y disposiciones especiales para lograr la ductilidad supuesta, como exigencias en las armaduras transversales. También, se prohíbe el uso de barras lisas y se vuelve obligatorio el uso de acero³.

Con la evolución de los reglamentos las exigencias mínimas de calidades de hormigón fueron aumentado, variando de 14MPa en estructuras diseñadas con los reglamentos existentes hasta el del año 1975, a 16MPa para el reglamento TEC-1998, 20 MPa para el TEC-2007⁴ y 25MPa para el TBEC-2018⁵.

El reglamento TEC-1998 entra en vigencia efectiva en el año 2000. Teniendo en cuenta la importancia de los cambios introducidos, este año permite clasificar las estructuras en dos grupos en función de su año de construcción. La figura 3 clasifica las edificaciones en las ciudades más afectadas según su año de construcción. Puede observarse que aproximadamente el 50% ha sido construida antes del año 2000. Teniendo en cuenta la evolución de los criterios de diseño el daño observado en estas estructuras. Sin embargo, también se ha observado daño severo e incluso colapso en las estructuras más nuevas.

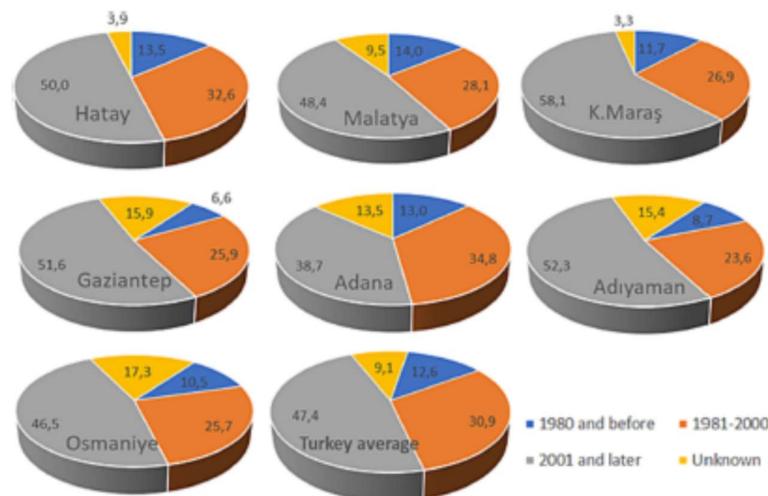


Figura 3. Clasificación de las construcciones según su año de construcción³

Organiza:

3. CARACTERÍSTICAS EXTRAORDINARIAS DEL EVENTO SISMICO

El diseño de estructuras residenciales en Turquía, de acuerdo con los reglamentos desde el año 1998 en adelante, se realiza considerando un espectro con un periodo de retorno de 475 años. Este criterio es similar al utilizado en nuestro país. El objetivo de los reglamentos es, en caso de la ocurrencia de un evento, evitar colapsos y daños que pongan en peligro a las personas. El escenario sucedido el 6 de Febrero del 2023 en Turquía, donde dos sismos de gran magnitud se sucedieron con una diferencia de 9 horas, excede las hipótesis de los reglamentos y ha creado una demanda extraordinaria en las estructuras. Algunos edificios que sufrieron daño severo debido al primer sismo han colapsado como consecuencia del segundo, o debido a las numerosas replicas que los sucedieron.

Otro aspecto importante a considerar es la magnitud de las aceleraciones registradas frente a las demandas de los espectros de diseño. La figura 4 compara espectros de aceleraciones horizontales y verticales determinados en base a los registros de aceleraciones medidos en diferentes puntos de la zona afectada con los espectros de diseño del reglamento TBEC-2018 correspondientes a periodos de recurrencia de 2475 (DD1), 475 (DD2), 72 (DD3) y 43 años (DD4). Para el diseño de edificios residenciales el reglamento exige el uso del espectro para 475 años de recurrencia (en color verde) mientras que los otros espectros son utilizados en edificios de gran importancia. Puede observarse que los demandas medidas exceden a las de diseño en distintos rangos de periodos tanto para las componentes horizontales como las verticales.

4. DAÑOS EN ESTRUCTURAS OBSERVADOS

Puede considerarse que el objetivo del diseño estructural es primordialmente evitar el colapso de las estructuras cuidando en las vidas humanas. En este sentido el comportamiento de estructuras como la que se presenta en la figura 5 y 6 puede considerarse exitoso. La estructura no ha colapsado, y se ha desarrollado daño en los extremos de vigas respetando el mecanismo de falla esperado. Muchas estructuras en las zonas afectadas han tenido una respuesta similar, que debe considerarse exitosa, aunque la estructura quede inutilizable. Sin embargo, una enorme cantidad de edificaciones han desarrollado formas de falla no deseadas que provocaron su colapso o niveles de daño que requieren su demolición. En muchos casos los mecanismos de falla observados se deben a ya han sido identificados en eventos anteriores y que podrían haberse evitado de respetarse los reglamentos y los criterios de diseño vigentes en las últimas décadas. En otros casos, el daño estructural puede deberse a mecanismos de falla no contemplados en los procesos típicos de diseño y que probablemente motiven modificaciones en las futuras reglamentaciones. A continuación, se describen las formas de daño observadas.

Organiza:

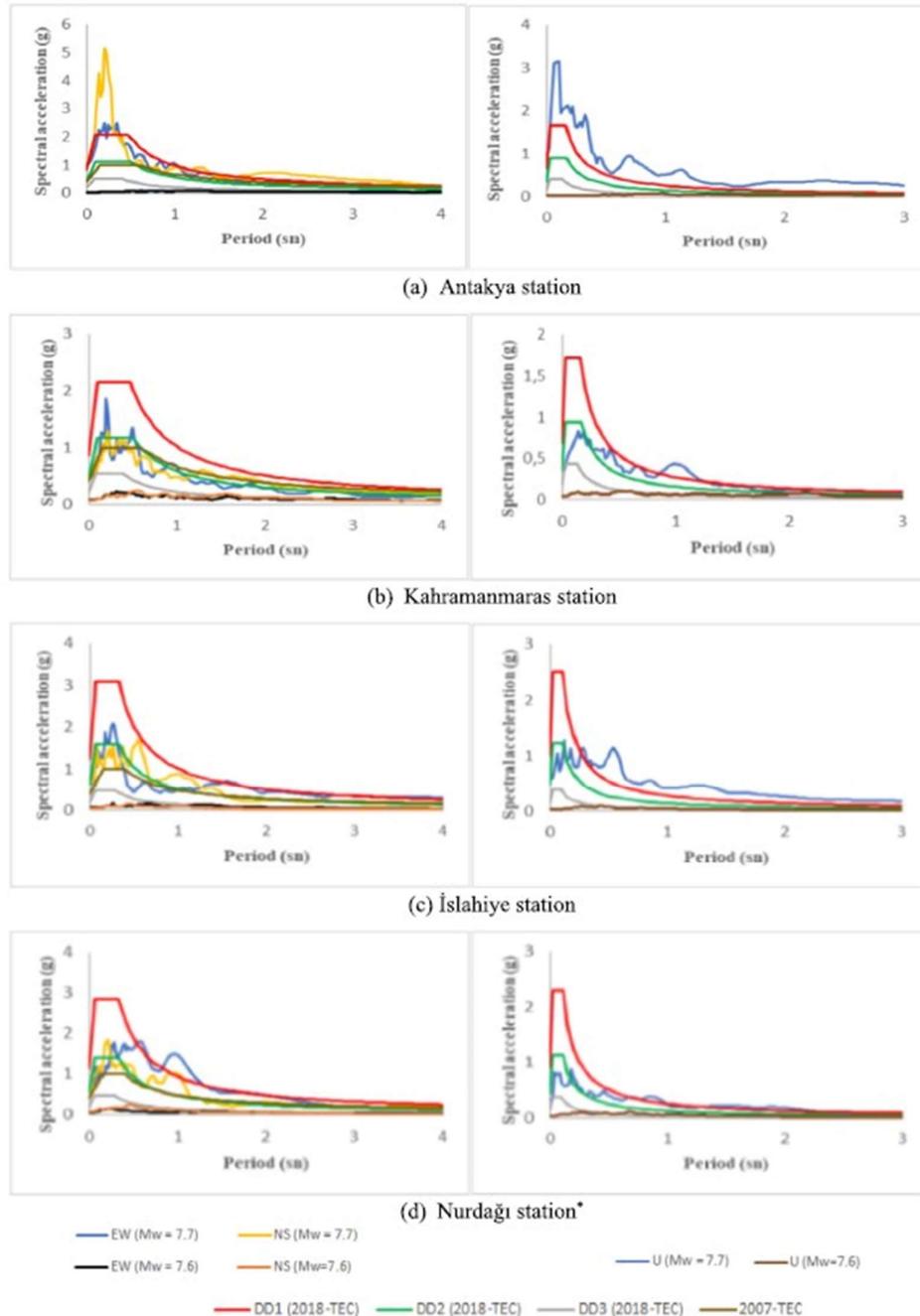


Figura 4. Comparación de los espectros elásticos de diseño para componentes horizontales y verticales con los espectros de respuesta debido a las acciones generadas por el sismo en distintas localidades³

Organiza:



Figura 5. Ejemplo de edificio con daño severo



Figura 6. Ejemplo de daño en pie de columna en planta baja y extremos de vigas

4.1. MALA CALIDAD DE MATERIALES

Una de las justificaciones de la mala respuesta estructural más mencionada en la literatura es la mala calidad del hormigón en las construcciones, señalando esta cuestión como una de las principales responsables del nivel de daño especialmente en estructuras previas al año 1998⁶. La resistencia a compresión medida en testigos extraídos en diversos edificios alcanza valores de 10MPa, muy por debajo de los límites exigidos por las normativas. La baja calidad del hormigón afecta a la capacidad axial de las columnas, cuyas solicitaciones han superado los valores de diseño en función de la componente vertical de la acción sísmica, y también la su resistencia al corte. La figura 7 ilustra estos caos.

Organiza:

También se han observado fallas frágiles por corte o tracción en barras nervuradas en construcciones posteriores al año 2000, como se aprecia en la figura 8. Estas fallas merecen atención ya que el comportamiento dúctil de las estructuras depende en gran parte de las propiedades del acero.



Figura 7. Ejemplo de problemas en columnas por mala calidad de hormigón



Figura 8. Ejemplo de falla frágil en acero⁶

4.2. DEFICIENCIAS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

4.2.1. RELACIÓN COLUMNA FUERTE – VIGA DÉBIL

El reglamento TEC-1998 introdujo en Turquía los conceptos del diseño por capacidad. De manera similar a lo exigido por el ACI-318⁷, se exige que la relación de resistencia de las columnas supere la resistencia de las vigas que llegan a un nudo de pórtico. Esta verificación resulta vital para lograr el correcto comportamiento de estructuras aporticadas basado en un mecanismo de colapso en el que el daño se concentra en los extremos de vigas. Teniendo en cuenta el año en que este requerimiento comienza

Organiza:

a exigirse, resulta esperable encontrar fallas indeseadas en las estructuras construidas antes de 1998. Sin embargo, también se han encontrado fallas de este tipo en estructuras nuevas, atribuibles al no cumplimiento de los estándares de diseño. En la figura 9 vemos un ejemplo de esta situación.

Durante el relevamiento realizado en las zonas afectadas este fue el problema encontrado con mayor frecuencia y el que despertó mayor preocupación en los equipos de trabajo relacionados. El criterio de evaluación del nivel de daño utilizado para clasificar a las edificaciones después del evento indicaba necesidad de demolición en estos casos. Debe tenerse en cuenta que la visita fue realizada en el mes de agosto, varios meses después de la catástrofe, y que las estructuras con mayor peligro de colapso ya habían sido demolidas.



Figura 9. Ejemplo de falla concentrada en extremos de columnas

4.2.2. PISO DÉBIL

Muchos edificios en Turquía incluyen en planta baja espacios abiertos para locales comerciales eliminando los cerramientos de mampostería dispuestos en los niveles superiores. Si bien esta mampostería no es portante, al estar constituida por ladrillos cerámicos huecos sin ninguna junta con la estructura principal, introducen rigidez y resistencia no tenidos en cuenta en el diseño. El piso más bajo de estos edificios se comporta como un piso débil generando colapsos como los ilustrados en la figura 10.



Figura 10. Ejemplo de falla por piso débil³

Organiza:

4.2.3. COLUMNA CORTA

Cuando el desplazamiento lateral de una columna se encuentra restringido en parte de su altura y es sometida una acción horizontal se produce una concentración de esfuerzos de corte de gran magnitud en el segmento no restringido. Esta situación se encuentra habitualmente en construcciones donde en paredes de mampostería se colocan ventanas que ocupan todo el ancho superior del paño. Si este efecto no es tenido en cuenta en el diseño de las columnas, o si no se toman medidas especiales que separen la mampostería de la estructura, la generación de una falla por corte es esperable.



Figura 10. Ejemplo de falla por columnas cortas³

4.2.4. MARTILLO POR FALTA DE JUNTA SÍSMICA

La disposición de una junta entre dos construcciones adyacentes es necesaria es necesaria para evitar su colisión o martilleo debido a los desplazamientos laterales generados bajo la acción sísmica. Los reglamentos turcos previos al TEC-1998 no incluían indicaciones específicas para prevenir este efecto. La figura 11 muestra un ejemplo de daño generado, que es acentuado por la falta de coincidencia entre los niveles de losas de los edificios adyacentes.



Figura 11. Ejemplo de falla por falta de juntas sísmicas³

Organiza:

4.2.5. ERRORES DE DETALLADO

Errores de detallado por excesiva separación de estribos en columnas y tabiques, insuficiente longitud de anclaje y empalmes y armado inadecuado de nudo de pórtico, se repiten en gran cantidad de estructuras observadas. La figura 12 muestran algunos ejemplos. Estas deficiencias se encuentran tanto en estructuras anteriores al a 1998, como en estructuras nuevas demostrando negligencia en el diseño o en la ejecución de obra.



Figura 11. Ejemplos de errores de detallado

4.3. DEFICIENCIAS EN ESTRUCTURAS NUEVAS

En diversos trabajos realizados después de los eventos se señala que en general las estructuras diseñadas y construidas después del año 2000, siguiendo las nuevas reglamentaciones, mostraron un mejor comportamiento⁸. Sin embargo, una gran cantidad de estas edificaciones sufrieron niveles de daño severo e incluso colapso. Gran parte de los problemas coinciden con los encontrados en las estructuras previas al año 2000, discutidos en secciones anteriores. Teniendo en cuenta las indicaciones de las normativas, los daños ocasionados en estos casos deben atribuirse a negligencias en el diseño o en la construcción. Particularmente llama la atención la reiteración de concentración de daño en extremo de columnas y no de vigas, errores de detallado como excesiva separación de estribos en elementos comprimidos, y problemas de piso débil asociados a la irregularidad de rigidez generada en edificios con ausencia de mampostería en planta baja y presencia de mampostería en pisos superiores.

También se ha observado niveles de daño elevado o colapso en estructuras nuevas diseñadas en conformidad a los nuevos códigos⁹, asociadas a tipos de falla no previstos hasta el momento en los reglamentos. Por ejemplo, se ha encontrado edificios que han colapsado por vuelco con columnas y tabiques de planta baja

prácticamente sin daño, arrancadas de las fundaciones. También en columnas y tabiques de planta baja se ha observado fallas frágiles del acero nervurado. Otro ejemplo es el mal desempeño observado en sistemas de losas alivianadas consideradas como un diafragma rígido, pero donde la delgada capa de compresión ha demostrado no ser adecuada para transferir los esfuerzos a las columnas y tabiques.

Vuran y otros⁹ discuten el comportamiento de una estructura cuya planta se ilustra en la figura 12 y que ha sufrido colapso. La configuración estructural se basa en columnas y tabiques perpendiculares a las fachadas conectados a tabiques en U y en L en el centro de la planta. Los autores señalan que las conexiones entre los elementos verticales a través de las vigas son ineficientes, ya que en la mayoría de los casos generan vinculaciones excéntricas y discontinuas a través del eje débil de los elementos. Esta distribución estructural resulta muy difundida en la zona, y aunque no es apropiada desde un criterio ingenieril puede considerarse que cumple con las disposiciones de los reglamentos.

Por último, diversos autores señalan el uso de software de diseño sin juicio ingenieril como una fuente adicional de problemas^{8,9}.

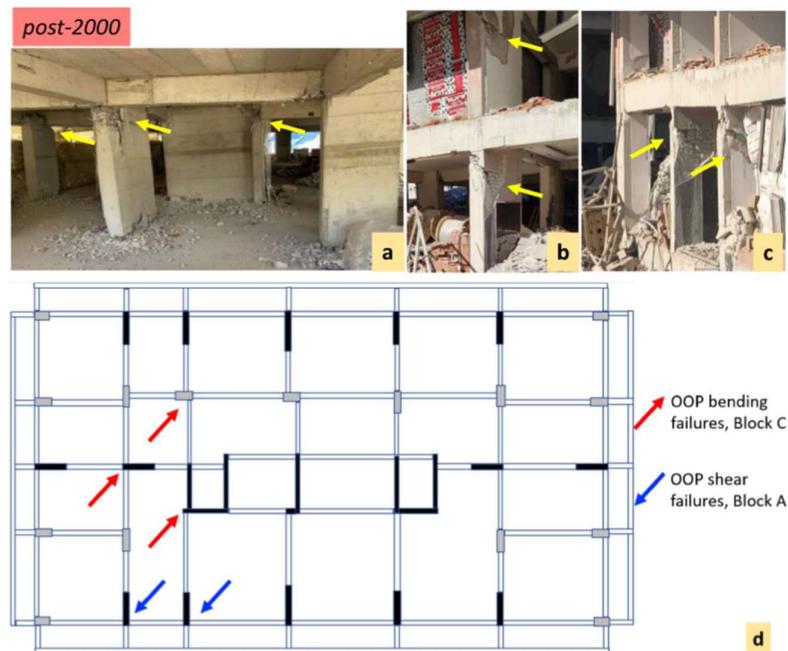


Figura 12. Planta de tipología estructural típica⁹

Organiza:

5. PROBLEMAS EN CUMUN CON EL DISEÑO SISMORRESISTENTE EN SALTA

El estado del diseño y construcción de estructuras sismorresistentes en la ciudad de Salta y en Turquía, particularmente en las zonas afectadas por el terremoto de febrero del 2023, presenta una notable similitud. Podemos destacar tres aspectos comparables: el desarrollo histórico de los reglamentos de diseño, las tipologías estructurales utilizadas, y la potencialidad de que se generen los mismos mecanismos de falla.

De manera análoga a la ocurrido en Turquía, en Argentina se han desarrollado distintos reglamentos después de la mitad del siglo XX. Un punto de inflexión importante es la aparición de los reglamentos Cirsoc 201-1982¹⁰ y INPRES-CIRSOC 103-1983¹¹, con sus correspondientes actualizaciones. En estos, cuestiones como el uso del acero nervurado y la introducción de espectros de diseño se adelantan casi 20 años a las reglamentaciones en Turquía. Sin embargo, recién en la serie de reglamentos INPRES-CIRSOC 103¹² introducidas a partir del 2013 se incorpora en Argentina los conceptos del diseño por capacidad, varios años después que en Turquía. La evolución de los reglamentos en Argentina da lugar a una clasificación de estructuras utilizadas habitualmente en Salta dividiéndolas entre aquellas construidas antes y después del año 83. Teniendo en cuenta esto, es razonable esperar que las construcciones construidas en Salta antes del año 83 tengan un desempeño similar a las construidas en Turquía antes del año 2000.

La tipología estructural observada en las zonas afectadas consiste en su inmensa mayoría estructuras que incluyen pórticos de hormigón armado y tabiques, generalmente en las cajas de ascensores. En la mayoría de los casos, por razones de proyecto arquitectónico, las columnas presentan secciones alargadas. Los cerramientos están constituidos por muros de ladrillos cerámicos huecos, dispuestos sin ningún tipo de junta con la estructura de hormigón armado. Como se ha discutido en secciones anteriores, habitualmente se dispone en planta baja locales comerciales, por lo que este nivel tiene más altura que los superiores y se prescinde de divisiones de mampostería. Las construcciones en la Ciudad de Salta comparten todas estas características.

A la similitud en el sistema constructivo se puede sumar la similitud en el nivel de control de ejecución, resultando en incertidumbres en las calidades de hormigón, incorrecta ubicación de empalmes y en la distribución de estribos que garantizan ductilidad y arriostramiento de la armadura longitudinal, presencia de potenciales columnas cortas (especialmente en edificios educativos), etc.

En base a lo expuesto puede considerarse que la situación actual de las construcciones es extremadamente similar, por lo tanto, es razonable esperar que se generen los mismos problemas ante un evento sísmico.

Organiza:

5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO POR CAPACIDAD EN SALTA

Con el objeto de mejorar el potencial desempeño de las estructuras en la Provincia de Salta, resulta de gran importancia la implementación de los conceptos del diseño por capacidad que se incorporan en la nueva versión del reglamento INPRES-CIRSOC 103. Si bien este reglamento se encuentra legalmente vigente, el diseño estructural en la provincia de Salta se encuentra en un periodo de, dentro del cual está permitido el diseño sismorresistente basado en el INPRES-CIRSOC 103-1991. Este periodo tiene como objetivo permitir a los profesionales capacitarse en la implementación de los nuevos conceptos. Quizás una de las novedades más importantes es la rigurosidad en la verificación de la relación columna fuerte – viga débil. Esta condición quedaba débilmente implícita en el reglamento del 91, al amplificar los momentos flectores en el diseño de columnas, pero no era necesariamente verificada. Esta situación resulta peligrosa debido a la falta de verificación de que el mecanismo de colapso supuesto pueda generarse, afectando a la ductilidad supuesta y a la demanda sísmica asociada considerada en el diseño.

Una de las razones en las que se justifica la dificultad en la aplicación del concepto columna fuerte – viga débil, es el incremento de cuantías en columnas que se genera al aplicar el INPRES-CIRSOC-2021 respecto al reglamento del 91. Para ilustrar este problema se presentan los resultados del diseño en columnas de un edificio tipo cuyas características se resumen en la figura 13. Las armaduras longitudinales necesarias en la columna central se comparan en la figura 14, donde puede apreciarse la diferencia.

De lo expuesto puede concluirse que la verificación de la relación columna – fuerte viga débil de acuerdo al reglamento vigente implica un mayor nivel de seguridad, pero demanda cuantías mayores a las acostumbradas hasta el momento en la práctica profesional. Resulta interesante comparar los requerimientos del reglamento argentino con los equivalentes en el reglamento americano ACI-318. Según este la relación entre la suma de los momentos nominales a flexión de las columnas y las vigas que llegan a un nudo debe ser mayor a 6/5:

$$\frac{M_n^{c1} + M_n^{c1}}{M_n^{b1} + M_n^{b1}} \geq \frac{6}{5} \quad (1)$$

Según el reglamento argentino, el factor de sobrerresistencia debe calcularse como:

$$\phi_o^b = \frac{\sum M_o^b}{\sum M_E^b} = \frac{\lambda_o \sum M_n^b}{\sum M_E^b} \quad (2)$$

Si se considera que el efecto de las acciones gravitatorias es despreciable respecto a las sísmicas y la armadura adoptada es exactamente igual a la requerida, se puede considerar:

Organiza:

$$\phi_o^b \geq \frac{\lambda_o \frac{\sum M_E^b}{\phi}}{\sum M_E^b} = \frac{\lambda_o}{\phi} \quad (4)$$

El momento de diseño en las columnas es:

$$M_u = \phi_o^b \omega M_E^c - 0.3 h b V_u \quad (5)$$

Ahora es posible determinar la relación de resistencias entre columnas y vigas de la siguiente manera:

$$\frac{M_n^{c1} + M_n^{c1}}{M_n^{b1} + M_n^{b1}} \geq \frac{\phi_o^b \omega M_E^{c1} + \phi_o^b \omega M_E^{c2}}{\frac{M_E^{b1}}{\phi} + \frac{M_E^{b2}}{\phi}} = \frac{\lambda_o \omega (M_E^{c1} + M_E^{c2})}{\frac{M_E^{b1}}{\phi} + \frac{M_E^{b2}}{\phi}} = \frac{\lambda_o \omega (M_E^{c1} + M_E^{c2})}{M_E^{b1} + M_E^{b2}} \quad (6)$$

Teniendo en cuenta que el equilibrio de momentos en el nudo debe satisfacerse, resulta:

$$\frac{M_n^{c1} + M_n^{c1}}{M_n^{b1} + M_n^{b1}} \geq \lambda_o \omega \quad (7)$$

Considerando una columna en planta baja en un pórtico espacial, el factor de amplificación dinámica ω vale 15, y siendo que λ_0 es igual a 1.4, la relación de resistencias entre columnas y vigas valdrá como mínimo 2.1. Este requerimiento es claramente superior al propuesto en el reglamento americano.

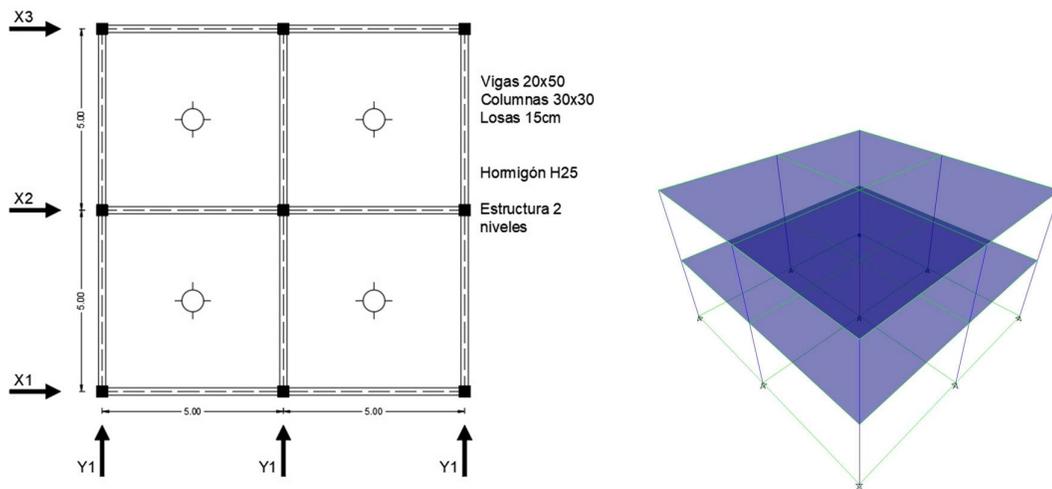


Figura 13. Características del ejemplo analizado

Organiza:

INPRES-CIRSOC-103 – 2013

INPRES-CIRSOC-103 – 1991



Figura 14. Comparación en las cuantías determinadas en la columna central

6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados presentados en este trabajo pueden elaborarse las siguientes conclusiones:

- El terremoto del 6 de Febrero del 2023 en Turquía ha generado un nivel de daño extremo, alcanzando niveles de destrucción de gran escala y, más importante aún, un elevado número de pérdida de vidas humanas. Este hecho puede explicarse en función de las características inusuales del evento y de problemas asociados al diseño y construcción de las estructuras afectadas.
- Es posible destacar dos particularidades de las acciones sísmicas asociadas al nivel de daño observado. En primer lugar, la ocurrencia de dos eventos de magnitud extraordinarias con nueve horas de diferencia, cuando los reglamentos actuales tienen como hipótesis la posibilidad de un evento. En segundo lugar, la magnitud del evento superó las esperadas por los reglamentos.
- Se describen los mecanismos de falla observados. Para esto puede dividirse el conjunto de las edificaciones entre aquellas construidas antes y después del año 2000, en función de cambios importantes en los reglamentos realizados en esos años. Entre los daños observados se destacan mala calidad de hormigón, problemas de detallado, piso débil en planta baja y fallas en columnas que no satisfacen el criterio columna fuerte – viga débil.
- El estado de las construcciones en la Provincia de Salta y la zona afectada por el terremoto en Turquía presenta gran similitud. En base a esto es razonable esperar los mismos tipos de falla en caso de un terremoto de diseño. Por esta razón resulta de gran importancia trabajar en la implementación del diseño por capacidad en las construcciones nuevas.

Organiza:

- Por último, se discute una de las dificultades encontradas en la práctica profesional para la implementación del reglamento INPRES-CIRSOC 2021, relacionada con el diseño de columnas. Se subraya diferencias de exigencias con el reglamento ACI-318 respecto a los requerimientos de resistencias entre columnas y vigas que llegan a un nudo

7. Referencias

1. Torres Álvarez, C. R. (2023) “Los sismos de Turquía del 6 de Febrero de 2023”. Geotecnia Vol. 267. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, México.
2. TEC-1998. Turkish Earthquake Code, Specification for structures to be built in disaster areas. Ministry of Public Works and Settlement Government of Republic of Turkey
3. Ozturk, M., Arslan, M. H., Korkmaz, H. H. (2023) “Effect on RC buildings of 6 February 2023 Turkey earthquake doublets and new doctrines for seismic design”. Engineering Failure Analysis, Vol. 153.
4. TEC-2007, Turkish Earthquake Design Code, Ministry of Public Works and Settlement, Ankara.
5. TBEC-2018, Turkey Building Earthquake Code, Republic of Turkey Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Authority, Ankara.
6. Turan, A. I., Celik, A., Kumbasaroglu, A. Yalciner, H. (2024) “Assessment of reinforced concrete building damages following the Kahramanmaras, earthquakes in Malatya, Turkey (February 6, 2023)” Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 54.
7. ACI 318–19, Building Code Requirements For Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2019.
8. Binici, B., Yakut, A., Cnbay E., Demirel I. O., Kahraman, M., Erberik, A. Yaman, I. O., Baran, E. Canbolat, A., Kadas, K. Öztaşkın, O, Aktaş, S. (2023) “Performance of Residential Structures”, Chapter 5, Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023, Pazarcık Mw=7.7 and Elbistan Mw=7.6, Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes, Middle East Technical University.
9. Vuran, E., Serhatoğlu, C., Timurağaoğlu, M., Smyrou, E., Bal, I., Livaoğlu, R. (2024) “Damage observations of RC buildings from 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence and discusión on the seismic code regulations”. Bull Earthquake Eng.
10. Reglamento Cirsoc 201 – 1982 – “Proyecto, Calculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón armado y Pretensado” – INTI-CIRSOC
11. Reglamento INPRES-CIRSOC 103 – 1983 – “Normas Argentinas para construcciones sismorresistentes” – INPRES-CIRSOC-INTI
12. Reglamento INPRES-CIRSOC 103 – 2013 – “Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes” – INPRES-CIRSOC-INTI

Organiza: