

---

## Relevamiento y análisis de edificios residenciales en altura dañados por el sismo de Chile de 2010

A. Payer<sup>1</sup>, G. Gerbaudo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, e-mail: apayer@arnet.com.ar, web: <http://www.efn.uncor.edu>.

<sup>2</sup> Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, e-mail: ggerbaudo@efn.uncor.edu, web: <http://www.efn.uncor.edu>.

### RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de uno de los edificios en altura más afectado por el sismo del 27 de febrero de 2010 en la Región del Maule (Chile). A partir del estudio de antecedentes de las estructuras, de un exhaustivo relevamiento de daños y de la modelación del comportamiento dinámico de las estructuras con y sin daño, se busca diagnosticar el nivel de daño y su potencial reparación, e identificar algunos factores de relevancia en el nivel de daño estructural observado. Se analizan aspectos de diseño, normativos, constructivos, calidad de materiales y de control de la construcción. Se identifican y agrupan los daños relevados, se estudian los daños típicos más frecuentes. En particular se observa falta de confinamiento en tabiques (muros) de hormigón armado, discontinuidades estructurales y baja capacidad de disipación de energía. Se analizan además algunos problemas en elementos no estructurales como cerramientos e instalaciones. Finalmente se presentan algunas propuestas tendientes a evitar o reducir la potencial ocurrencia de los tipos de falla observados para mejorar el comportamiento de edificios ante sismos severos.

**Palabras clave:** Cuantificación daños, Factibilidad reparación, Estabilización temporal.

### ABSTRACT

This paper analyzes the behavior of one of the tall buildings most affected by the earthquake of February 27, 2010 in the region of Maule (Chile). From the background study of the case, a in-depth damage survey and the modeling of the dynamic behavior of structures with and without damage, it is seeks to diagnose the level of damage and its repair potential, and identify important factors in the level of structural damage observed. Aspects such as design, regulatory, construction, quality of materials and construction control are analyzed. The surveyed damage are identified and grouped and the most frequent typical damages are studied. In particular, there is a lack of confinement in the shear walls, structural discontinuities and reduced capacity of dissipation. It also discusses some problems in non-structural elements such as lateral closings and facilities. Finally, some proposals to prevent or reduce the occurrence of potential failure modes observed to improve the performance of buildings against severe earthquakes are presented.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante la segunda mitad de 2010, un equipo de profesionales del DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile, profesionales de la empresa SIRVE S.A. de Santiago de Chile e ingenieros de SIRVE Argentina y de la Universidad Nacional de Córdoba realizaron un relevamiento exhaustivo y evaluación de daños estructurales en varias estructuras de hormigón fuertemente afectadas por el sismo del 27/02/2010. El Ministerio de Obras Públicas requería evaluar la factibilidad de reparación o conveniencia de demolición.

En este trabajo se presenta parte de la información relevada y algunas consideraciones realizadas durante el este estudio. En particular y por razones de extensión se presenta solamente El edificio Plaza del Río ubicado en la ciudad de Concepción.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El Edificio Plaza del Río se ubica en Calle Salas 1343, en la comuna de Concepción, Región del Bío-Bío (Figura 1). En la Figura 2 se muestra una planta del primer nivel de las Torres A y B del edificio Plaza del Río. Se destaca que estas torres están separadas por una junta (no comparten estructura resistente) que se ubica en el borde norte del bloque de circulación.

Durante el sismo del 27 de Febrero del 2010 la torre A sufrió graves daños, mientras que la torre B no experimentó ningún daño importante. Por este motivo sólo se estudia la torre A. Su estructura es de hormigón armado, la tipología dominante son muros con algunos marcos y los entrepisos son losas macizas de 12 cm de espesor.

La fundación es una losa de 0,40 m de espesor en casi toda la planta del edificio que no tiene subterráneo. En la zona de circulación vertical (escaleras y ascensores) donde hay un pequeño subterráneo, la losa tiene 0,80 m de espesor, las cotas de fundación son aproximadamente -2,00 m para la losa de 0,40 m y -3,00 m para la losa de 0,80 m de espesor (las cotas se refieren al piso del 1er nivel). En coincidencia con cada plano resistente muro a muro hay vigas de fundación de 0,25 m de ancho por 1,80 m de alto, salvo en la zona de subterráneo donde estas vigas tienen 0,25 m de ancho por 2,87 m de altura.



Figura 1: Vista General del Edificio Plaza del Río.

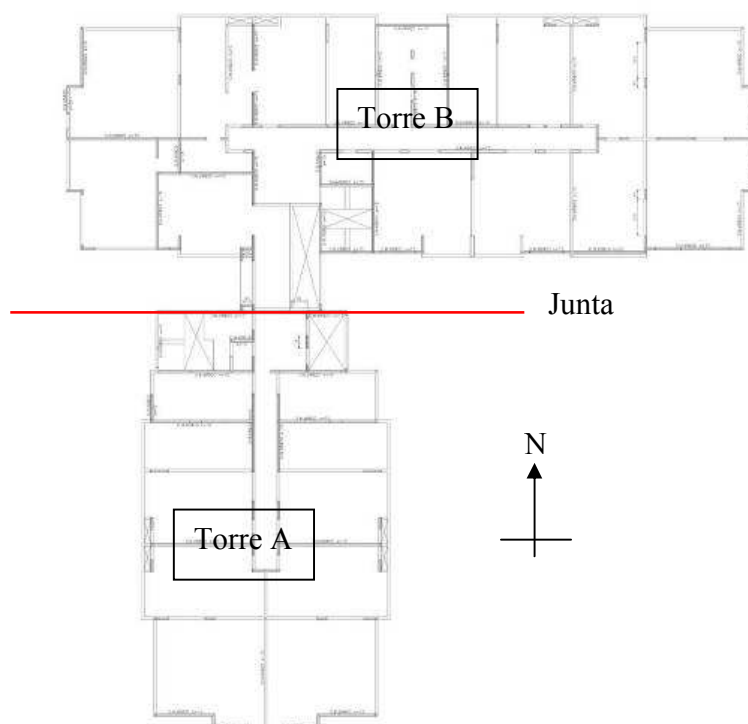


Figura 2: Planta de arquitectura del primer nivel

### 3. PRINCIPALES DAÑOS

Los daños más importantes se encuentran principalmente en el primer y segundo nivel de la torre A. En particular, la fachada sur del edificio es uno de los sectores que presenta mayores daños (Figura 3 y Figura 4).



a: Vista general de muros en eje W (vista exterior)



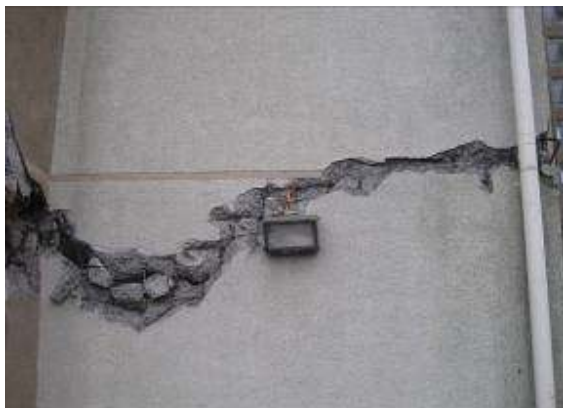
b: Muro eje W entre eje 29 y 31 (vista interior)



c: Muro eje W entre eje 27 y 5 (vista interior)

Figura 3: Daños en muros franja central fachada sur.

El muro que se encuentra en el extremo este de la fachada sur (Figura 4) muestra pérdida completa del hormigón en el extremo superior, y un desaplome estimado en 7.5 cm hacia el exterior.



**a:** Muro eje V entre ejes 31 y 34 (vista exterior)



**b:** Desaplome en muro (vista interior)

Figura 4: Daños en muro extremo oeste fachada Sur.

Por otro lado, el muro que se encuentra en el extremo oeste presenta los mayores daños en el extremo inferior (Figura 5) con pérdida total del hormigón con pandeo de las barras verticales del cabezal exterior y rotura de barras verticales en la malla de la zona central del muro.



**a:** Vista interior muro eje V entre ejes 24 y 28



**b:** Pandeo de barras verticales en extremo de muro.

Figura 5: Daños en muro eje V entre ejes 24 y 28 - Nivel 1.

Los muros cortos en el eje U que se encuentran en el lado Oeste del Edificio también presentan daños. El muro más perimetral presenta pérdida total del hormigón en el extremo superior con desplazamiento lateral (Figura 6b) y fisuras de tracción en toda su altura de un promedio de 4 mm en coincidencia con la ubicación de los estribos. También se ve afectada la viga en la unión con el muro corto con pérdida de hormigón y desprendimiento de la armadura longitudinal inferior de la viga (aparentemente empalme).

El muro corto interno presenta daño moderado (Figura 6c) con pérdida del hormigón de recubrimiento y pandeo incipiente de la armadura vertical. También puede observarse que el

daño se concentra en la intersección del muro corto con la viga donde aparentemente existe una junta constructiva.



a: Vista general fachada Oeste



b: Rotura muro Eje U entre Ejes 24 y 25.



c: Vista general muro Eje U - 27

Figura 6: Daños en muro Eje U.

Continuando con el recorrido en el lado oeste, el muro transversal que se encuentra en el eje T presenta daño severo con pérdida del hormigón en el extremo superior coincidente con su mitad del lado Oeste (Figura 7). El resto de los muros transversales (ejes S, Q y P) presentan fisuración leve menor a 0.05 mm. Los muros longitudinales sobre el eje 5 y 28 también muestran fisuración leve menor a 0.05 mm con daños moderados en los dinteles sobre las puertas que comunican el pasillo central con las cocheras.



Figura 7: Daño en muro Eje T.

El muro longitudinal sobre el eje 29 presenta daño elevado en los extremos en tanto que en su zona central el daño es leve. La Figura 18a muestra el daño de este muro entre los ejes S y T con pérdida del recubrimiento de hormigón y parte del hormigón del núcleo en su extremo superior. La Figura 8b muestra daño elevado entre los ejes P y Q.



a: Muro Eje 29 entre Ejes S y T.



b: Muro Eje 29 entre Ejes P y Q.

Figura 8: Daño en muro Eje 29.

En el costado Este encontramos daños más severos que los observados en el lado Oeste (Figura 9). Todos los muros transversales de este sector presentan daños severos con pérdida completa su capacidad resistente a excepción del muro sobre el Eje S que presenta daños moderados con pérdida parcial de la capacidad resistente.



Figura 9: Vista General Fachada Este.

La Figura 10 muestra el muro sobre el eje O. Se observa pérdida total del hormigón en el tercio inferior del muro, pandeo de barras verticales del extremo del muro y de la malla.





a: Muro O extremo Este desde pasillo

b: Muro O extremo Este desde ascensor.

Figura 10: Daños en muro Eje O entre Ejes 29 y 32.

La Figura 11 muestra el muro sobre el eje P. Este muro presenta un daño moderado en los primeros 2 metros adyacentes al muro longitudinal central y luego se encuentra seriamente dañado en el resto de su extensión con pérdida total de su capacidad resistente con pérdida total del hormigón, pandeo y corte de las barras verticales en el cabezal y en la malla interior.



a: Vista general muro Eje P

b: Vista cabezal externo

Figura 11: Daños en Muro Eje P.

En el Eje Q encontramos un muro corto en el borde exterior de la planta que presenta daños muy severos con pérdida total del hormigón en el extremo superior y pandeo de las barras longitudinales (Figura 12). No se observa rotura de las barras. Este muro presenta una inclinación vertical hacia el norte, alcanzando un desaplome en el extremo superior de 15 cm.



a: Vista general



b: Vista local

Figura 12: Daños en Muro Eje Q.

El muro sobre el Eje S es el único muro transversal en el lado Este con capacidad de tomar cargas. Su estado de daño es moderado con fisuras promedio de 0.5 mm.

Los muros cortos del Eje U presentan daño severo producto de una falla por compresión (Figura 13a). En el muro externo el daño ocurrió en la zona superior (Figura 13b) y en el muro interno el daño ocurrió en la zona inferior (Figura 13c). En ambos casos se observa pérdida total del hormigón, pandeo y rotura de las barras longitudinales. En el muro más externo también se observan fisuras de tracción espaciadas de acuerdo al espaciamiento de los estribos.



a: Vista general Eje U



b: Muro corto exterior



c: Muro corto interior.

Figura 13: Daños en Muros cortos Eje U.

#### 4. NIVEL DE DAÑO Y POTENCIAL REPARACIÓN

En esta sección se enumeran los daños más importantes que presenta con el objetivo de aportar elementos de juicio que permitan definir su destino en el sentido de su deconstrucción o eventual reparación y brindar información al proyecto de alzaprímado transitorio. A tales efectos



agruparemos a los daños en daños estructurales que requieren alzaprimado, daños estructurales que no requieren alzaprimado y daños no estructurales. La Figura 14 muestra un resumen de los daños observados en los niveles 1 y 2 del Edificio Plaza del Río.

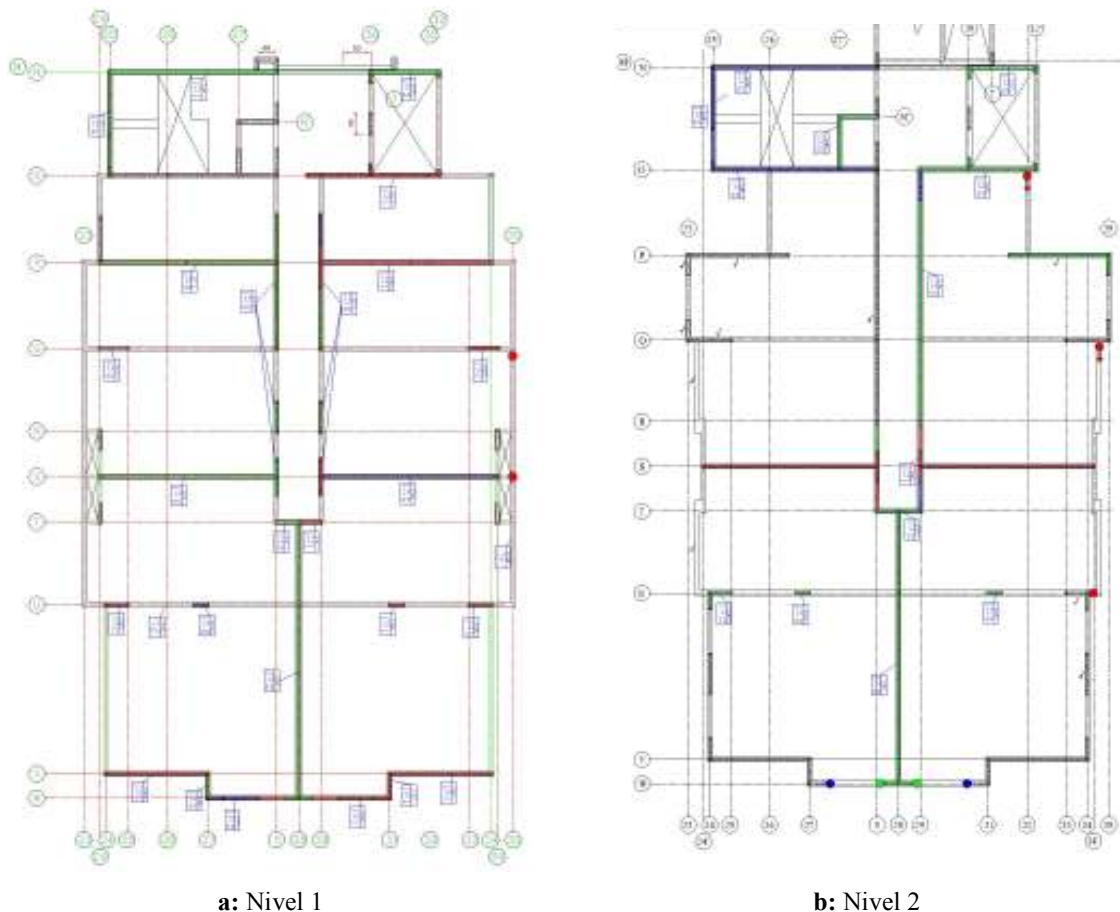


Figura 1: Resumen de Daños en Nivel 1 y 2.

**a) Daños estructurales que requieren alzaprimado:** Elementos que han perdido casi toda su resistencia y rigidez (color rojo) y comprometen la estabilidad global del edificio tanto para acciones gravitatorias como sísmicas. En 1er Nivel: Muros de ejes W y V en toda su longitud, Machones en ejes U-34 y U-24, Machones en ejes T-29 y S-29, Machones en ejes Q-34, Muro eje P entre 29 y 34, Muro eje O entre 29 y 32. En 2º Nivel: Muros eje S en toda su longitud.

**b) Daños estructurales que no requieren alzaprimado:** Elementos que han perdido gran parte de su resistencia y rigidez (color rojo y azul) pero no comprometen la estabilidad global de la estructura para acciones gravitatorias y sísmicas: Vigas de acoplamiento de eje W en niveles 1 y 2, Dinteles de ejes 5 y 29 en toda su altura, Viga en eje 35 en 1er Nivel, Viga-Losa y extremo de muros en eje N (junta) en niveles superiores.

**c) Daños no estructurales:** En general y como consecuencia de las grandes deformaciones experimentadas por la estructura durante el sismo del 27/02/2010, como así también por los saqueos producidos después del mismo, todo el edificio presenta importantes daños en toda la

tabiquería de cerramiento, en algunas carpinterías (puertas y ventanas) y también en las instalaciones de agua, electricidad y calefacción, las que al estar dentro de los muros deberán ser reemplazadas. Dado que las instalaciones en muchos casos están dentro en los muros y estos han fallado, la evaluación de su condición resulta una condición indispensable a evaluar en cuanto a la factibilidad de reparación.

Conviene destacar que el edificio presenta importantes deformaciones en la dirección Este – Oeste. Esto se refleja en deformaciones en los elementos verticales (Muros y Machones) del orden de 1 % como así también en importantes desniveles de algunas losas que resultan incompatibles con la funcionalidad del edificio. La magnitud de este desplome es inaceptable para la funcionalidad estructural y su eliminación en el escenario de una reparación estructural requerirá estudio de factibilidad.

Una evaluación técnico-económica de este edificio determinó la conveniencia de deconstrucción y estabilización temporaria hasta el momento de dicha demolición. La estabilización de este edificio se ejecutó a comienzos de 2011 y la reconstrucción finalizó a mediados de 2012.

## 5. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS

Podemos agrupar los daños observados en este edificio de la siguiente manera:

- 1) Daños en tabiques en los niveles inferiores (1º, 2º, y 3º)
- 2) Daños en elementos fusibles como vigas de acoplamiento y dinteles
- 3) Daños en juntas sísmicas
- 4) Daños en juntas constructivas (juntas frías) principalmente de tabiques
- 5) Daños generales en elementos no estructurales e instalaciones

Las causas que han provocado estos daños además de la intensidad y características del sismo pueden atribuirse a:

- Niveles de excitación sísmica superiores a las previsiones reglamentarias.
- Errores de proyecto: tanto de análisis como de diseño, lo que se refleja en malas configuraciones estructurales tanto en planta como en elevación con importantes irregularidades en los niveles inferiores (discontinuidad de tabiques en planta baja debido a la presencia de los estacionamientos).
- Defectos de construcción: por ejemplo, mala ejecución de juntas constructivas, errores en colocación de armaduras, recubrimientos insuficientes.
- Comportamiento frágil del hormigón: esto es debido a la falta de confinamiento por ausencia de armadura transversal (sobre todo en muros), cuantías altas de armaduras longitudinales y dimensiones insuficientes de algunos elementos, por ejemplo el espesor de los muros que resulta en secciones muy esbeltas con poca sección de núcleo confinado.
- Pandeo de las barras verticales de los tabiques: no hay armadura transversal (ganchos o ramas de estribos) para evitar el pandeo las barras verticales y confinar el hormigón. También se observa una excesiva armadura vertical en los extremos de los tabiques con cuantías del orden del 6% y muy escasa armadura vertical en las zonas centrales (cuantías del orden del 3‰).

- Mal dimensionado de juntas sísmicas: presentan un espesor insuficiente provocando el impacto (martilleo) de los distintos bloques de la construcción, principalmente en los niveles altos.
- Falta de anclaje en extremos de vigas perpendiculares a muros.

## 6. RECOMENDACIONES

Con la intención de evitar o minimizar algunos de los daños observados y considerando cuales han sido las causas que los provocaron se considera recomendable:

- Reconsideración de espectros de diseño
- Revisión de la Normativa de Hormigón Armado en lo referido a: los requerimientos de confinamiento en zonas críticas, de las cuantías máximas y mínimas de las armaduras longitudinales y dimensiones mínimas de muros.
- Controles en obra.
- Control de deformaciones
- Estudios de vulnerabilidad a nivel proyectos y a nivel de edificios existentes.

La ingeniería sísmica chilena ya ha tomado medidas preventivas para mejorar los niveles de seguridad de las estructuras que se construyan en varios de los aspectos mencionados.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile, a la empresa SIRVE S.A. de Santiago de Chile y a la empresa SIRVE Argentina, por permitir su participación en este proyecto.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Westenek, B., de la Llera, J. C., Besa, J. J., Jünemann, R., Moehle, J. P., Lüders, C., Inaudi, J. A., Riddell, R., and Jordan, R., 2011. Seismic response in RC buildings in Concepción during the February 27, Maule Earthquake. Part I: Information analysis, to be published in Earthquake Spectra's special issue.

[2] Westenek, B., de la Llera, J. C., Besa, J. J., Jünemann, R., Moehle, J. P., Lüders, C., and Inaudi, J. A., 2011. Seismic response in RC buildings in Concepción during the February 27, Maule Earthquake. Part II: Qualitative analysis and interpretation, to be published in Earthquake Spectra's special issue.