

# EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE UNA ESTRUCTURA EN ALTURA EXPUESTA A LA INTEMPERIE

Alfredo Payer<sup>(1)</sup>, Carlos Gerbaudo<sup>(2)</sup>, Carlos Prato<sup>(3)</sup>

- (1) Ing. Civil. Profesor Titular del Departamento de Estructuras de la FCEFyN de la U.N.C.- Córdoba - Argentina.
- (2) M.Cs. Ing. Civil. Profesor Adjunto del Departamento de Estructuras de la FCEFyN de la U.N.C. Córdoba – Argentina.
- (3) Dr. Ing. Civil. Profesor Titular del Departamento de Estructuras de la FCEFyN de la U.N.C. Córdoba - Argentina.

## RESUMEN

En el presente trabajo se presentan los estudios y análisis realizados para la evaluación de la seguridad de una estructura de hormigón armado perteneciente al proyecto de una torre de departamentos expuesta por más de 20 años a la intemperie, con el objeto de evaluar su estado actual, márgenes de seguridad y factibilidad de reciclar la estructura para un nuevo proyecto de arquitectura que contempla su reutilización con los refuerzos y adecuaciones necesarias para alcanzar la funcionalidad y seguridad requerida.

A partir de los estudios realizados en gabinete y el campo, se concluyó en una serie de recomendaciones y medidas de acción tendientes a reparar los diferentes daños y defectos encontrados en el hormigón, y se formularon los refuerzos necesarios para alcanzar la seguridad requerida por los códigos vigentes.

Palabras Clave: Evaluación estructural, refuerzo, rehabilitación.

## ABSTRACT

*This paper presents the studies and analysis carried out for the evaluation of the concrete reinforced structure of a building corresponding to the project of a tower of departments that it was exposed to the action of the climatic agents for more than 20 years, in order to evaluating their current state, margins of security and feasibility of retrofit the structure for a new architecture project that contemplates their utilization with the reinforcements and necessary modifications to reach the functionality and required security.*

*Since studies and analysis of the current structure, it was concluded in a series of recommendations and measures of action in order to repair the different damages and defects found in the concrete, and the necessary reinforcements were formulated to reach the security required by the codes.*

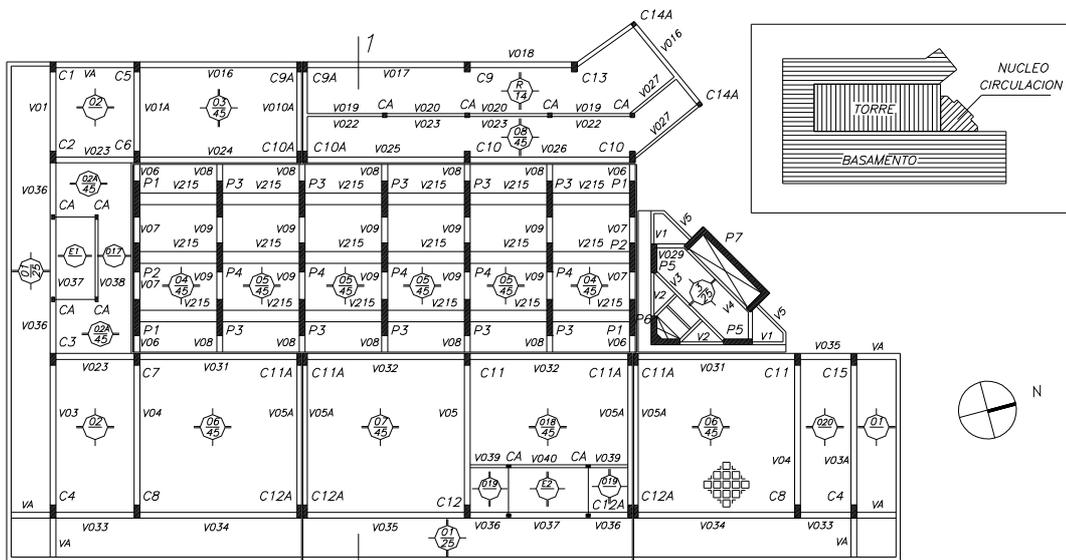
*Keywords: Structural evaluation, rehabilitation, retrofit.*

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se presentan los estudios y análisis realizados para la evaluación de la seguridad de una estructura de hormigón armado perteneciente al proyecto de una torre de departamentos expuesta por más de 20 años a la intemperie, con el objeto de evaluar el estado actual, márgenes de seguridad y factibilidad de reciclar la estructura para un nuevo proyecto de arquitectura que contempla su reutilización con los refuerzos y adecuaciones necesarias para alcanzar la funcionalidad y seguridad requerida.

El proyecto de arquitectura fue realizado en el año 1975 por el Arq. Miguel Ángel Roca y forma parte del patrimonio cultural de la Ciudad de Córdoba, Argentina. Según los datos indicados en los Planos Constructivos, la construcción de las fundaciones de la obra comenzaron en el año 1976 y la estructura de la Torre fue concluida a finales del año 1982. El Basamento del edificio fue terminado y habilitado para uso comercial, y además se completó el cerramiento de los seis primeros pisos de la Torre, y el resto de los niveles de la estructura quedó expuesto a la intemperie desde su construcción hasta el año 2006, donde comenzaron las tareas de evaluación y rehabilitación.

Estructuralmente el edificio en estudio consta de tres unidades funcionales separadas por juntas constructivas que son el Basamento, la Torre y el Núcleo de Circulación. En la Figura 1 se presenta una planta general del edificio con la identificación de los diferentes componentes estructurales y en la Figura 2 se muestra una fotografía del estado actual de la estructura.



**Figura 1. Planta estructural del edificio en torre**

El Basamento está compuesto por 4 niveles: un subsuelo de cocheras y servicios, planta baja, primer y segundo piso. Fue diseñado con el criterio de plantas libres para ser adecuadas a diferentes tipos de uso y destinos. Se trata de una estructura de columnas y vigas aporricadas en las dos direcciones, de grandes luces con módulos típicos de 10.90 m x 11.10 m y 6.60 m x 11.10. Las losas son alivianadas de 45 cm de espesor, a excepción del techo del segundo piso que está constituido por un entramado de vigas altas con una losa maciza de 15 cm de espesor.

La Torre de gran esbeltez se eleva desde el nivel de fundación hasta el nivel +74.72 m sobre la cota de vereda. La planta de la Torre es rectangular con su eje principal ubicado en el sentido Norte-Sur. La estructura en la dirección transversal (Este-Oeste) corresponde a un conjunto de planos resistentes separados cada 5.4 m, constituidos por 3 tabiques acoplados con vigas, y en la dirección longitudinal (Norte-Sur) los tabiques forman 4 pórticos con vigas altas y cintas escondidas en el espesor de la losa nervurada de 0.45 m de espesor en los primeros 4 niveles de la torre, mientras que en los restantes niveles el espesor de la losa es de 0.35 m.

El Núcleo de Circulación vertical se ubica en el extremo Norte de la Torre y contiene la batería de ascensores, la escalera de servicios y un cuarto para materiales de limpieza y conducto para compactador. La estructura del núcleo de servicios está resuelta con un gran tabique en U rodeando la caja de ascensores y otros tabiques menores con vigas de acoplamiento configurando una planta triangular que se repite en toda la altura de la estructura, ubicándose en su parte superior el tanque de agua y la sala de máquinas. En el piso trece existe otro tanque de agua intermedio de hormigón armado.



**Figura 2.** Vista general del Edificio Torre VESINM en el año 2005



**Figura 3.** Vista del Edificio Torre VESINM en rehabilitación en el año 2007

## RECONOCIMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Las tareas de reconocimiento de la estructura consistieron, en primer lugar, en el estudio de los antecedentes y documentos disponibles compuestos por Memorias, Planos, Pliegos e Informes. Por otro lado se realizaron tareas de reconocimiento in situ, mediante el relevamiento e inspección visual de los elementos resistentes principales de la estructura, con el objeto de identificar defectos y patologías producidos por el prolongado tiempo de exposición de la estructura a la intemperie.

A los efectos de conocer el estado actual, características y propiedades de los materiales componentes de la estructura (hormigón y acero), se realizaron ensayos de compresión axial de probetas testigos de hormigón, ensayos de tracción de probetas de acero y un estudio de profundidad de carbonatación en el hormigón. También se realizaron ensayos de propagación de ondas elásticas para determinar el módulo de elasticidad de los diferentes hormigones de la obra, y ensayos

dinámicos para identificación de las frecuencias naturales de vibración de la estructura, los que fueron utilizados a posteriori para la calibración de los modelos numéricos formulados para la evaluación estructural.

## **Resultados de la inspección visual**

Con el objeto de identificar el estado actual de la estructura, se realizó una campaña de reconocimiento e inspección visual de la estructura, destacándose que, en general, se observa un estado normal de conservación de la estructura, manteniendo la integridad de los elementos estructurales resistentes de hormigón, y no se observan a simple vista esquemas de fisuras que indiquen falencias estructurales, defectos o daños sistemáticos en la estructura de hormigón, salvo los que se mencionan a continuación:

1) Defectos de colado del hormigón en una cantidad importante de nervios de losas nervuradas o vigas con gran densidad de armaduras, donde esta ha quedado con escaso o nulo recubrimiento. Se ha podido constatar que el tamaño máximo del agregado utilizado en el hormigón es mayor que la abertura existente entre las barras, generándose una trabazón de los agregados en la armadura y el mal colado de la pieza de hormigón. En varias vigas y nervios se nota la reparación con mortero cementicio del recubrimiento del fondo de viga, hecho que confirma los problemas de colado del hormigón en las piezas delgadas con mucha densidad de armadura.

2) Se observan reventones y pérdida del recubrimiento del hormigón en algunas vigas delgadas con escaso recubrimiento, producto de la expansión generada por el proceso de oxidación en las armaduras, que en general presentan una corrosión superficial, y en algunos casos puntuales un grado más avanzado de corrosión con pérdida de sección de armadura.

3) En algunos sectores de la estructura propensos a la acumulación o percolación del agua de lluvia, como por ejemplo: losas rebajadas para baños, depresiones en la capa de compresión de las losas nervuradas, desagües provisorios realizados durante la construcción, se observa un cierto grado de corrosión en las armaduras producto de la exposición directa al agua y a ciclos de humedecimiento y secado. En general, en la mayoría de los casos se observa corrosión superficial de las armaduras, y en algunos casos puntuales un deterioro más importante de las armaduras por corrosión.

4) Algunos voladizos de balcones presentan deflexiones excesivas perceptibles a simple vista, producto de defectos en los encofrados, amplificadas por la fluencia del hormigón. No se observa ningún tipo de fisuración en estos voladizos.

## **Evaluación del nivel de carbonatación del hormigón**

Se determinó la profundidad de carbonatación del hormigón de la Torre que ha quedado expuesta a la intemperie durante varios años (a partir del Piso 8) mediante ensayos químicos en testigos de hormigón y en pequeñas calicatas realizadas en obra.

Los resultados de los ensayos de carbonatación indican que el nivel o profundidad de penetración de carbonatación es variable, presentándose las mayores profundidades de carbonatación, del orden de 15 a 20 mm, en los pisos bajos que se encuentran más expuestos a los agentes agresivos generados por los gases del tránsito urbano. En algunos de estos lugares donde el nivel de

carbonatación es importante se descubrieron las armaduras de elementos estructurales encontrándolas en perfecto estado de conservación.

### **Auscultaciones de armaduras y estudio de materiales**

Se realizaron auscultaciones en vigas y columnas de hormigón de la estructura de la Torre, Basamento y Núcleo de Circulación con el objeto de determinar la cantidad, diámetro y tipo de acero de las barras, y verificar la conformidad de las armaduras colocadas en obra respecto a la indicada en los planos del proyecto. En general, se pudo verificar un buen estado de conservación de las armaduras, protegidas por el recubrimiento de hormigón y, en el caso de armaduras expuestas, pasivadas por una delgada capa de óxido superficial, y además, se constató la compatibilidad entre la cantidad y disposición de armadura en obra con la indicada en los documentos de proyecto. Con respecto a la resistencia del hormigón se pudo determinar mediante el estudio del material una resistencia característica de 17 MPa.

## **ENSAYOS DINÁMICOS**

A los efectos de identificar las frecuencias naturales del edificio en su estado actual se realizó una campaña de medición de las vibraciones ambientales provocadas por el viento. Los registros se tomaron en la terraza de la Torre de 26 pisos, en ambas direcciones principales del edificio, utilizando acelerómetros inductivos de alta sensibilidad y un sistema de adquisición y registro de datos.

Se calcularon los espectros de potencia de los distintos registros y se promediaron las señales con el objeto de reducir la influencia de los errores aleatorios, y de esta forma se identificaron las frecuencias naturales de vibración del edificio que se presentan en la Tabla 1, que fueron utilizadas para ajustar el modelo numérico de cálculo de manera de reproducir el comportamiento real observado frente al viento.

**Tabla 1.** *Períodos y frecuencias naturales del edificio en su estado actual*

<b>Modo</b>	<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Período [seg]</b>	<b>Descripción de la forma modal</b>
1	0.51	1.96	1er modo traslación Dir. Norte-Sur
2	0.54	1.85	1er modo traslación Dir. Este-Oeste
3	0.68	1.47	2do modo traslación Dir. Este-Oeste
4	1.61	0.62	2do modo traslación Dir. Norte-Sur
5	2.27	0.44	1er modo de torsión

## **EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD**

La evaluación de la seguridad de las tres estructuras en su condición actual se realizó mediante un procedimiento convencional de cálculo a partir de modelos numéricos tridimensionales calibrados con los resultados de los ensayos dinámicos experimentales. Las cargas aplicadas fueron determinadas en función de las dimensiones de la estructura, peso de los materiales y las acciones indicadas por los códigos vigentes. La valoración de la resistencia de los distintos componentes

estructurales del edificio se realizó teniendo en cuenta las dimensiones, propiedades de los materiales y detalle de armaduras obtenidas de los documentos de proyecto y los estudios de campo.

### Verificación estructural de la Torre

En la Tabla 2 se resumen los resultados de la verificación estructural de la Torre del edificio.

Se destaca que, ante la ocurrencia de un sismo de diseño, la falla por corte de las vigas 206, 208, 212 y 213 que vinculan los tabiques en la dirección Este-Oeste del edificio, provoca las siguientes consecuencias:

**Tabla 2.** Verificación estructural de la Torre

Elemento	Evaluación estructural
Tabiques	Margen de seguridad aceptable en todos los niveles.
Vigas	Margen de seguridad aceptable en todos los niveles, salvo en las vigas 206, 208, 212 y 213 que no verifica al corte.
Losas	Satisfacen los requerimientos resistentes para las sobrecargas de uso previstas en el proyecto original.
Fundaciones	Capacidad geotécnica adecuada para las cargas de proyecto.

**1) Efecto de las cargas gravitatorias:** La falla por corte de la viga obliga a una redistribución de las cargas gravitatorias, que se canaliza por la losa nervurada hacia las vigas 203 o 204 y 215. Por lo tanto la estructura posee la capacidad estructural redundante y suficiente para soportar las cargas gravitatorias redistribuyendo las solicitaciones de elementos resistentes comprometidos a otros que presentan sobre resistencia.

**2) Efecto de las acciones sísmicas:** La falla por corte de las vigas mencionadas produce la pérdida de conectividad de los tabiques vinculados por dichas vigas, transformando un sistema de tabiques acoplados por un sistema de tabiques simples en voladizo, con los siguientes efectos: i) los esfuerzos de flexión en los tabiques aumentan significativamente y ii) aumenta la flexibilidad y distorsiones de piso de la estructura. Estos efectos fueron estudiados llegando a la conclusión que en el caso de la pérdida de conectividad de los tabiques, estos elementos tienen una capacidad adecuada para soportar las solicitaciones adicionales provocadas por la falta de aportamiento de las vigas de acoplamiento, mientras que las distorsiones de piso se mantienen en valores aceptables para la tipología del edificio.

Finalmente se concluye que la estructura de la Torre presenta un comportamiento general adecuado, tanto para las acciones gravitatorias como para las acciones sísmicas, ya que la mayoría de los elementos resistentes cumplen las condiciones de resistencia y de rigidez, con la única excepción de las vigas de acoplamiento de los tabiques, que deberán ser reforzadas.

## Verificación estructural del Basamento

En la Tabla 3 se resumen los resultados de la verificación estructural del Basamento del edificio.

Con respecto a las acciones sísmicas, se determina que si bien la estructura no fue diseñada con un criterio sismo resistente, las columnas con un adecuado margen de seguridad para las acciones gravitatorias, también poseen una seguridad adecuada frente a las acciones sísmicas.

**Tabla 3.** Verificación estructural del Basamento

<b>Elemento</b>	<b>Evaluación estructural</b>
Columnas	Margen de seguridad insuficiente en columnas C12, C11, 12A y C8 correspondiente a los niveles de Subsuelo y Planta Baja. En el resto de las columnas, en todos los niveles del basamento el margen de seguridad es aceptable.
Vigas	Verifica los requerimientos de seguridad para cargas gravitatorias y presenten deficiencias en puntos singulares para las combinaciones de carga con sismo
Losas	Satisfacen los requerimientos resistentes para las sobrecargas de uso previstas en el proyecto original.
Fundaciones	Capacidad geotécnica adecuada para las cargas de proyecto.

Por otra parte las columnas con un insuficiente margen de seguridad para cargas gravitatorias indicadas en la Tabla 3 tampoco presentan una adecuada seguridad para solicitaciones sísmicas, por lo que deberán ser reforzadas.

Se reconoce que las vigas fueron diseñadas para resistir principalmente solicitaciones inducidas por las acciones gravitatorias, por esta razón existen secciones con deficiencias estructurales para resistir las acciones sísmicas. Estos defectos se observan en lugares puntuales de las vigas y se considera que la sobre resistencia e hiperestaticidad del resto de la estructura permiten predecir una redistribución de esfuerzos y garantizar un adecuado comportamiento sismorresistente de las vigas, llegando a la conclusión que las vigas no requieren ninguna adecuación estructural.

## Verificación estructural del Núcleo de Circulación

En la Tabla 4 se resumen los resultados de la verificación estructural del Núcleo de Circulación del edificio.

Del estudio de los antecedentes disponibles y verificaciones estructurales realizadas se concluye que la estructura del Núcleo de Circulación no fue diseñada para cargas sísmicas. Se ha podido comprobar que las vigas, losas y tabiques satisfacen los requerimientos resistentes para las cargas gravitatorias, pero las vigas que conectan los tabiques no son capaces de resistir las solicitaciones provocados por las fuerzas de sismo.

**Tabla 4.** Verificación estructural del Núcleo de Circulación

<b>Elemento</b>	<b>Evaluación estructural</b>
Tabiques	Satisface los requerimientos resistentes con márgenes de seguridad superiores a los mínimos establecidos en los reglamentos vigentes.
Vigas	Todas las vigas del núcleo resisten adecuadamente las solicitaciones debido a las cargas gravitatorias, tanto en flexión como corte. Para las combinaciones de carga con sismo, las vigas de acoplamiento V2 presentan defectos importantes de armadura de flexión y corte, en todos los niveles de la estructura.
Losas	Satisface los requerimientos resistentes para las sobrecargas de uso previstas en el proyecto original.
Fundaciones	Capacidad geotécnica adecuada para las cargas de proyecto.

Sin embargo, la configuración estructural del núcleo formada por importantes tabiques dispuestos en forma perimetral a la estructura brinda la posibilidad de rehabilitar la estructura a partir de generar una adecuada conectividad entre los tabiques.

Se destaca que, con una estructura básicamente de tabiques en ménsulas a partir de la degradación de la rigidez flexional de las vigas de acoplamiento, no es posible aprovechar la sobre resistencia que poseen los tabiques frente a las acciones sísmicas, por la alta flexibilidad que presenta esta configuración estructural. En efecto, para esta condición se producen grandes desplazamientos laterales y distorsiones de piso aumentando significativamente el riesgo de inestabilidad global de la estructura frente al sismo de diseño.

## **CONCLUSIONES**

La estabilidad general de la estructura frente a las acciones gravitatorias y sísmicas se considera aceptable, ya que el planteo estructural es adecuado, y con un mínimo de intervenciones se logró alcanzar las condiciones de resistencia y rigidez establecidas por las normativas vigentes.

El estado de conservación que presentaba la estructura y las patologías encontradas fueron las esperadas para una construcción que estuvo expuesta a la intemperie durante más de veinte años. Estas deficiencias pudieron ser reparadas de acuerdo a las técnicas convencionales de rehabilitación de estructuras de hormigón armado.

De acuerdo a las verificaciones estructurales realizadas, se recomendó proceder al refuerzo de algunas columnas en el Basamento y de las vigas de acoplamiento de los tabiques en la Torre y en el Núcleo de Circulación.

El nuevo proyecto arquitectónico requirió la revisión del proyecto estructural en los casos de modificación del destino de uso de la construcción, proveyendo los refuerzos necesarios para satisfacer los nuevos requerimientos estructurales. Finalmente, en el año 2006 se comenzó con las tareas de completamiento y puesta en valor del edificio actualmente en construcción según se muestra en la Figura 3 del presente trabajo.