

## EJE 3. ENSEÑANZA

### 3.4.- TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN

#### INNOVACIONES EN LA CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL

**GONORAZKY, Sara; PRADOS, Silvina Inés; PONSSA, Carolina;  
ALVAREZ, Guadalupe; CAFFARO, Gerónimo**

[silvinaprados@hotmail.com](mailto:silvinaprados@hotmail.com); [caroponssa@hotmail.com](mailto:caroponssa@hotmail.com)

Cátedra Estructuras IIB – Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad  
Nacional de Córdoba – Av. Vélez Sarsfield 264 – CP 5000 -  
Córdoba – Argentina

**Palabras claves: Estructuras, Diseño, Herramientas digitales**

**Resumen:** La evolución en el desarrollo de las herramientas digitales y la fácil accesibilidad a las mismas, posibilita hoy en día que el estudiante de arquitectura, como así también, los profesionales las implementen en sus procesos de diseño.

La incorporación de estas herramientas facilita la elaboración de modelos en 3D como apoyo al diseño conceptual de la estructura, con la ventaja de visualizar la interacción estructura-arquitectura durante todo el proceso de diseño. Como ejemplo, se ilustra con el análisis de dos edificios emblemáticos de nuestro medio: Torre Ministerios del Centro Cívico (2011) y Torres Capitalinas (en ejecución).

En la selección de los edificios se ha valorado el logro de volumetrías originales y estructuras eficientes con la utilización de la tecnología local.

**Introducción:** La arquitectura actual está caracterizada por una sucesión de cambios paradigmáticos producidos en sus procesos proyectuales a partir del uso de herramientas digitales. El empleo de las mismas ha revolucionado el modo de concebir el diseño permitiendo desarrollar un proceso generativo a partir de la evaluación de múltiples variables y relaciones que intervienen en la modelación de un proyecto. Se diversifican las respuestas y posibles soluciones, aumentando la capacidad de realizar cambios controlados en la búsqueda de la mejor alternativa a las premisas de diseño.

Para ejemplificar el proceso de diseño en la actualidad donde además del uso de las herramientas digitales se rescata la interacción entre el equipo de diseñadores y el equipo de estructuralistas, se exponen a continuación dos obras emblemáticas de la ciudad de Córdoba.

### Torre Ministerios del Centro Cívico

El proyecto ha sido realizado por el estudio GGMPU SRL (Gramática-Guerrero-Morini-Pisani-Urtubey) + Lucio Morini. El cálculo estructural lo realizó también un estudio local: Fragueiro & Novillo S.A y la construcción se realizó en los años 2010/2011.

**El planteo volumétrico de la Torre:** El edificio constituye un prisma de 10 pisos por encima del terreno con una rotación alrededor de un eje central de su planta en altura. Además posee un subsuelo que para el análisis que se plantea en este trabajo no se considera.

La rotación en altura se consigue partiendo de una planta cuadrada de 26m de lado en el nivel  $\pm 0.00$ . La misma es girada  $20^\circ$  en el nivel +16.23m (nivel de cintura) y recupera su posición inicial en el nivel de coronamiento (+44.70m). Esto hace que se generen planos de fachada inclinados y que las caras del prisma regular, se dividan conformando triángulos. Las cuatro fachadas obtenidas resultan iguales simplificando posteriormente la tarea de diseño y resolución estructural (Fig. 1).

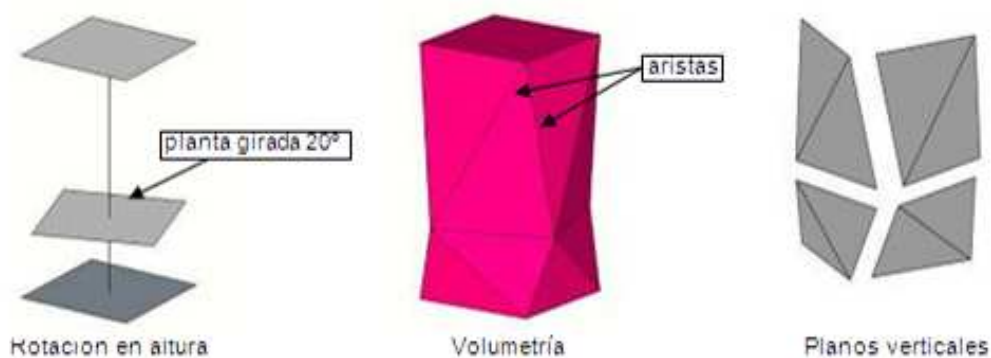


Fig. 1 - Conformación volumétrica

**Los planos horizontales:** La altura de planta baja se resuelve de 4.32m y de los pisos restantes de 3.99m para poder generar un espacio técnico por debajo de la losa. Si bien las plantas en el arranque, en la cintura y en el coronamiento son cuadradas de 26m de lado, todas las demás plantas resultan geoméricamente diferentes ya que se generan por la intersección de los planos horizontales con los planos verticales antes descriptos (Fig. 2).

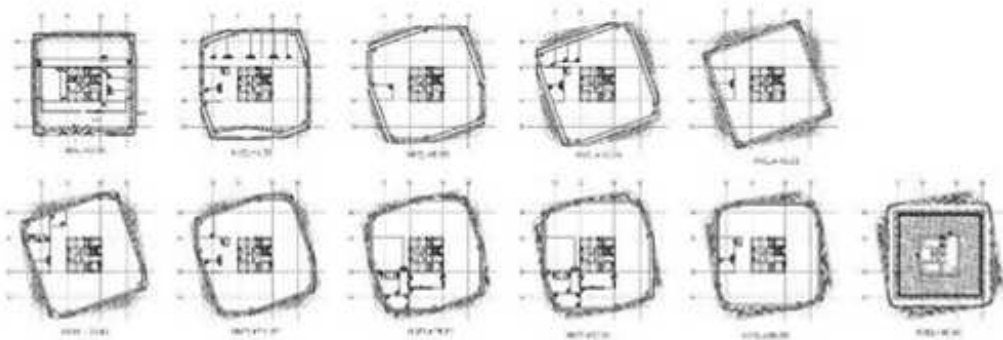


Fig. 2 - Plantas de arquitectura

En las primeras propuestas de los arquitectos se proyectaron plantas libres con una estructura conformada por un doble tubo estructural: uno interno compuesto por tabiques de hormigón armado de 30cm de espesor de 9mx9m donde se alojaban las circulaciones y los servicios y uno externo compuesto por una piel estructural también de hormigón armado de 40cm de espesor. La piel exterior además poseía cualidades estéticas ya que constituía la fachada del edificio.

**La piel estructural de fachada:** La piel planteada originalmente era una piel ligera compuesta por una serie de rombos que daban el efecto de cubos fugados (Fig. 3).



Fig. 3 - Generación de la piel estructural

Una de las condicionantes del proyecto fue el espesor propuesto para la piel (40cm) por ser necesario para lograr el efecto de sombras buscadas en la fachada. Con la idea planteada por el equipo de arquitectos los ingenieros estructuralistas modelaron el objeto con el programa Ram Elements.

**Primera etapa de modelado:** Planteada la distribución de rombos en la piel portante se generaron barras en coincidencia con los lados de los mismos. Los rombos, al no ser figuras indeformables, producen solicitaciones importantes tanto en las barras que los conforman como en las aristas del prisma que son las encargadas de resistir los empujes que dichos rombos producen al intentar deformarse (Fig. 4).

Para estudiar el comportamiento de la estructura a las acciones horizontales se realizaron modelos del objeto con y sin la piel estructural obteniéndose períodos tres veces menores cuando la piel estructural era considerada.

Debido a esto, en las aristas, se obtienen además esfuerzos normales ya que conforman un modelo rígido frente a las acciones horizontales porque las mismas funcionan como arriostramientos a base de triángulos (figura indeformable).



Fig. 4 - Resultados computacionales.

Esta primera secuencia de modelado dió como resultados valores de momento y esfuerzos normales en aristas y en las barras que conforman los rombos muy grandes, por lo que se requirió disminuir la incidencia de carga de las losas en la fachada. Los estructuralistas propusieron ubicar 8 columnas metálicas a 6,60m del núcleo central, y alineadas con los tabiques externos del núcleo, para obtener áreas de influencia menores a las iniciales sobre la fachada (Fig. 5).



Fig. 5 - Ajuste en la planta original con la incorporación de columnas metálicas

**Segunda etapa de modelado:** Con este nuevo esquema los momentos en las barras que conforman los rombos disminuyeron considerablemente obteniéndose valores razonables. A partir de aquí se pudieron ajustar seccionalmente teniendo como variable siempre el ancho de las barras, como se mencionó anteriormente.

Las losas se resolvieron nervuradas armadas en dos direcciones de 45cm de espesor condicionado por las vigas que vinculan las columnas metálicas ya que resultan de 9m de largo y con cargas importantes. Las aristas, solicitadas a flexión oblicua, por los empujes de las dos caras que concurren a la misma, seguían siendo uno de los puntos críticos del proyecto. Lograr secciones capaces de resistir dichas solicitaciones hizo que el equipo de arquitectos tuviera que reformular las fachadas generando zonas macizadas en coincidencia con las mismas.

Los estructuralistas fueron quienes prefijaron la mínima sección necesaria para que el

equipo de arquitectos reubique la disposición de rombos (Fig. 6). De esa forma se lograron secciones que resistan eficientemente las solicitaciones no sólo de flexión oblicua sino también de esfuerzos normales.

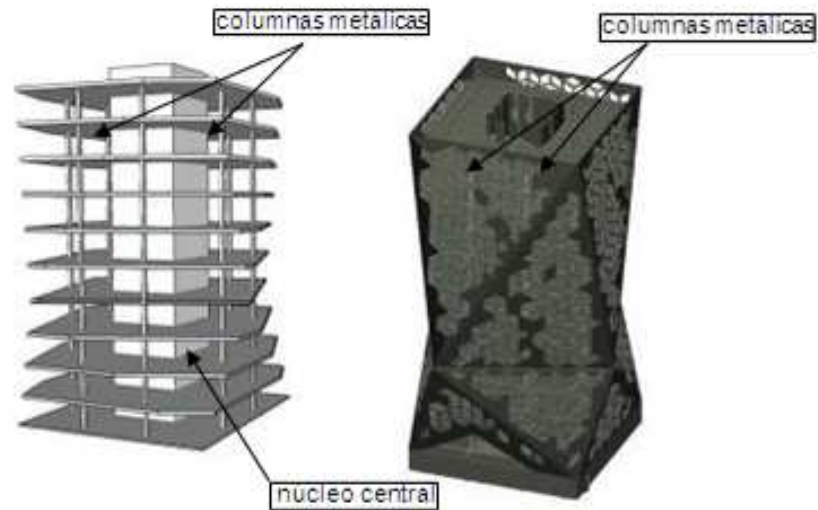


Fig. - 6 Modelo Estructura final

**Materialidad:** Para sistematizar el trabajo en obra se identificaron una serie de nudos tipo, los cuales eran pre armados y montados in-situ, uniéndose mediante soldadura de las barras de acero para disminuir la cuantía en las zonas de empalme. Esto requirió la necesidad de usar acero ADN 420 S (Fig. 7).

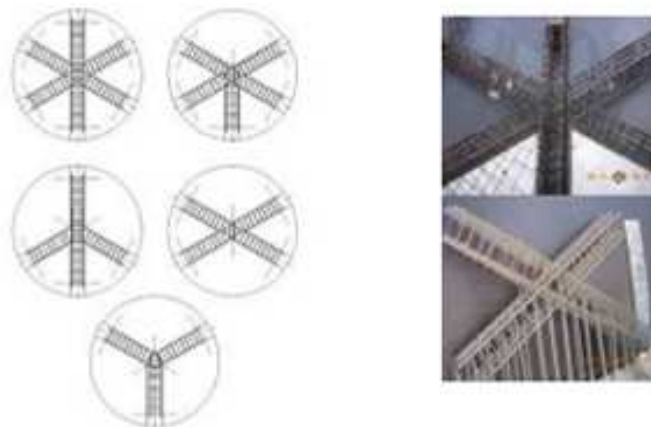


Fig. 7 - Nudos tipo en fachada

Las formas rómbicas en la fachada se lograron mediante grandes molones de poliestireno de alta densidad, recuperables y debidamente reforzado en sus bordes (Fig. 8). Para garantizar un correcto llenado del hormigón y una adecuada terminación (hormigón visto), se utilizó hormigón autocompactante de calidad H30.



Fig. 8 - Figuras rómbicas en fachada

## Las Torres Capitalinas

Ubicadas en el macrocentro de la ciudad de Córdoba, en la confluencia de La Cañada y Avda. Humberto Primero, el complejo está conformado por dos edificios bajos -de 6 pisos y dos subsuelos- y dos torres de 130m de altura -38 niveles y dos subsuelos-. El proyecto pertenece al estudio GNI SA, de los arquitectos Faucher, Deinguidard y Lenti. El cálculo estructural al estudio del Ing. Carlos Larsson (Fig. 9).



en construcción



Imagen final

Fig. 9 - Torre Capitalinas

**El planteo volumétrico:** Solo una de las torres proyectadas se está construyendo en la actualidad, conformando un prisma triangular de lados curvos de 32m por 33m de lado y una superficie por nivel de 767m<sup>2</sup>. El núcleo central de circulaciones y servicios, también de forma triangular es de hormigón armado, como las tres fachadas que constituyen pórticos (Fig. 10) y quedarán ocultas tras la envolvente de piel de vidrio. Tiene previstos múltiples usos: centro de convenciones, sala de reuniones, pileta, gimnasio, entre los pisos 1º y 3º, oficinas corporativas entre los pisos 4º y 21º, y el Hotel Radisson a partir del piso 22º hasta el piso 37º.

Esta torre está fundada a una profundidad de -8.00m, sobre una platea de hormigón armado de 1,50m de espesor y una superficie de 913m<sup>2</sup>. La particularidad de esta torre es el uso de encofrados deslizantes para la ejecución de los tabiques centrales. Luego se construyen los pórticos perimetrales y simultáneamente se avanza con la colocación de los paneles prefabricados doble T que conforman el entrepiso horizontal de cada nivel.

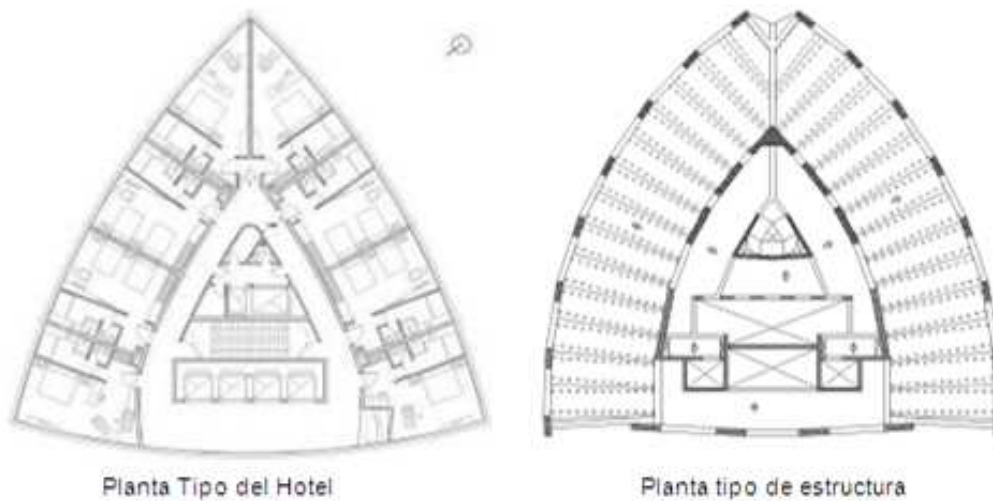


Fig. 10 - Esquema arquitectónico y estructural

**Optimizaciones proyectuales:** Las decisiones proyectuales que se adoptaron conjuntamente con el diseño estructural llevaron a proponer:

- En función del plazo de ejecución de la estructura: construir el núcleo de hormigón armado con encofrado deslizante, fundaciones superficiales y entresijos de paneles prefabricados doble T.
- En función de la eficiencia estructural y las exigencias arquitectónicas: se fijaron luego de varias etapas de evaluaciones del comportamiento estructural, las dimensiones finales de los pórticos periféricos (columnas de 1.45m y vigas de 0.90m), y los tabiques cuyas aberturas responden a un estricto requerimiento mínimo de los vanos necesarios para circulación. El espesor de los pórticos y de los tabiques varían en altura desde 0,45m a 0.25 en los niveles superiores.
- En función de optimizar los elementos prefabricados: garantizar el uso de un único molde para la generación de los paneles doble T de un largo de 7,50m con dos nervios paralelos distanciados 1,50m. Se obtiene con el paralelismo entre la generatriz curva del pórtico y de los tabiques que constituyen el apoyo de dichos paneles. La forma trapezoidal se logra variando el ancho de las alas –de 1,90m a 2,45m- ubicadas a ambos lados de los nervios.

**Modelado de la estructura:** La torre fue modelada en 3 dimensiones utilizando el software RAM Advance. Las cargas sísmicas fueron consideradas en el programa mediante el método estático equivalente y corroborado por el método dinámico.

De dicha modelación en 3D (Fig. 11)., se pueden obtener los resultados de los distintos elementos componentes: para la columna tipo –de dimensiones 1.45m por 0.45m- las solicitaciones últimas de esfuerzo normal -1150,5tn, el momento flector 49,6tm y el corte 11,9tn. Para el tabique –con dimensiones 5.20m por 0.45m- el esfuerzo normal es de -2191,8tn, el momento flector 1517,8tm y el corte 140,6tn. Verificando todas las secciones a los esfuerzos máximos.

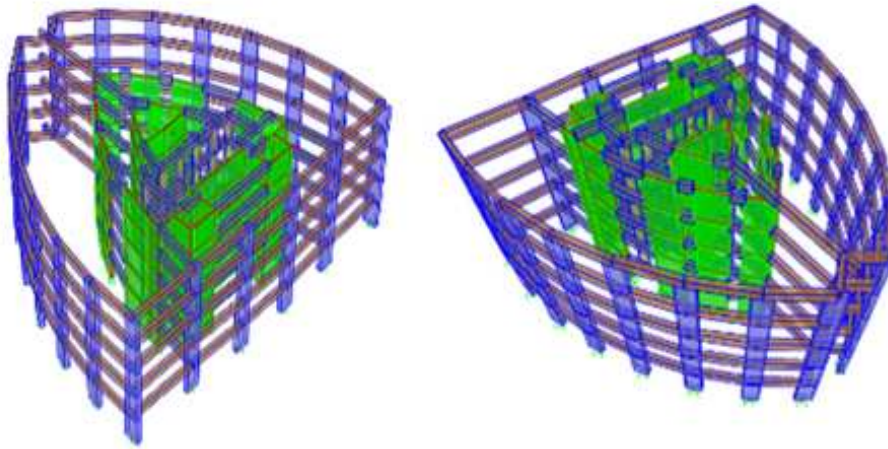


Fig. 11 – Vistas de un sector del modelo pórtico-tabique

De igual modo que con las solicitaciones, se puede obtener los desplazamientos totales de la estructura, del orden de los 15cm, como sus distorsiones, 0.00115. Estos valores son sumamente aceptables para una estructura de las características mencionadas (Fig. 12).

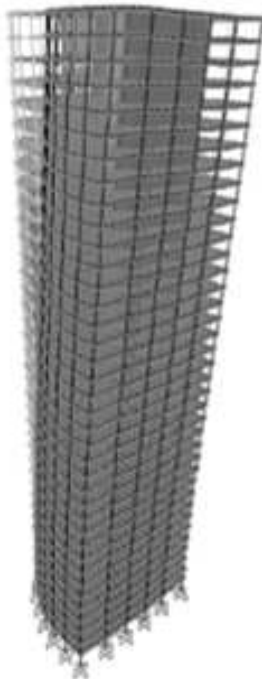


Fig. 12 – Desplazamientos de la estructura



**Materialización de entrepisos:** El punto más importante a resaltar es la innovación en la construcción y materialización de la estructura resistente del edificio radicando en la vinculación de los entrepisos con los tabique y pórtico (Fig. 13). Esto tiene que garantizar no solo la materialización de un nivel o piso rígido para que el conjunto tabique-pórtico trabajen solidariamente en conjunto, sino también garantizar la transferencia por corte, que ronda en el orden de las 5tn por nervio de panel doble T (Fig. 14).



Fig. 13 – Materialización de la vinculación entrepiso tabique pórtico

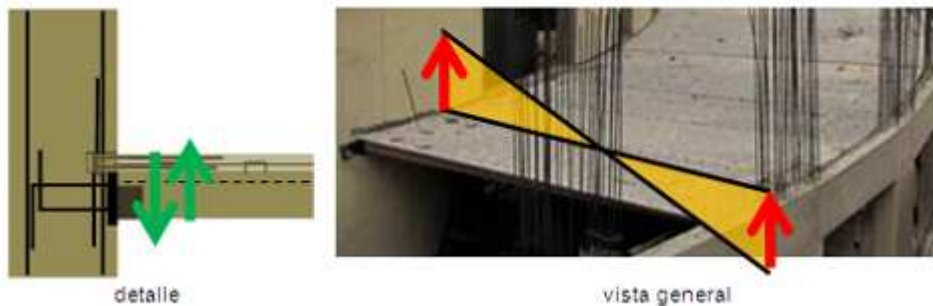


Fig. 14 – Transferencia de corte del entrepiso rígido

## Conclusiones

El auge de las nuevas tecnologías y con ellas el desarrollo de las herramientas digitales ha generado cambios sustanciales en la forma de concebir la arquitectura y la estructura portante de un objeto arquitectónico. Estos cambios agilizan y optimizan el proceso de diseño, el desarrollo y la ejecución de los proyectos de arquitectura. Paralelamente demandan una fluida interacción entre los distintos equipos disciplinarios que abarca la obra, principalmente, Arquitectos e Ingenieros.

Estamos convencidos que estos cambios deben motivarnos a replantear los métodos de enseñanza vigentes adaptándolos e incorporando el uso de herramientas digitales, hoy, al alcance de todos

El desafío sigue siendo estimular la imaginación y la creatividad en nuestros estudiantes para que utilizando tecnologías disponibles en el medio, puedan implementarlas de manera innovadora generando nuevos y modernos conceptos en el camino de diseñar y materializar obras.

## Bibliografía

- FRAGUEIRO, Agustín; NOVILLO, Narciso; CARRER, Jorge. “Torre Centro Cívico” ie ingeniería estructural. Publicación de la Asociación de Ingenieros Estructurales. Numero 49. Abril 2012

- MORINI, Lucio. "La Torre de los Ministerios del Nuevo Centro Cívico de Córdoba". Conferencia VIII Congreso de sistemas y tecnologías de cerramientos de edificios (SISTECCER). Rosario – Santa Fé. Agosto 2012.
- <http://www.capitalinas.com>
- <http://www.skyscrapercity.com>