

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO ESTRUCTURAL EN LA EXPRESIÓN DEL EDIFICIO EN ALTURA

Arq. H. Bonaiuti; Ing. Civil E.D.U. A. Elicabe; Arq. I. Simonetti; Ing. Civil A. Adler; Arq. R. Fabre; Arq. G. Asis Ferri; Arq. G. G. Gonzalez; Arq. C. Ponsa; Ing. Civil E. Vergara - FAUDI - UNC - Córdoba

Resumen:

Se expone una experiencia didáctica innovadora de la Cátedra de Estructuras III de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, y los resultados obtenidos. Esta experiencia consiste en utilizar la estructura como configurante y calificante del objeto arquitectónico, sin dejar de lado las condicionantes reglamentarias para lograr su adecuado comportamiento frente a las acciones horizontales.

Para introducir el tema se realiza el análisis cualitativo del mecanismo estructural a través de modelos didácticos y gráficos de solicitaciones correspondientes a ejemplos relevantes de la arquitectura. Esto despierta el interés del estudiante lo cual se manifiesta en la elaboración de distintas propuestas.

En el proceso se cuida de fundir el objeto arquitectónico con los resultados del análisis estructural, utilizando superposición de ambas imágenes, de modo que cobre cuerpo y sentido el esquema usado en el modelado. La informática facilita una búsqueda que conjuga los diversos requerimientos del diseño.

Abstract

We present an innovative didactic experience developed in Structures III of the Faculty of Architecture, Cordoba National University, and its results. This experience consists in giving the structure a qualifying and relevant place as part of the architectural object, without leaving away the code provisions in order to obtain an appropriate behaviour. This experience consists in utilizing the structure as a relevant and qualifying architectural object, without leaving aside the code provisions in order to achieve its adequate behaviour surrounded by horizontal actions.

In order to introduce the subject a qualitative analysis of the structural mechanism is carried out by means of didactic models and graphic results of relevant architectural examples. This arouses interest on the student, which is shown by the preparation of different proposals.

In all the process the architectural object and the results of its structural analysis are blended, using graphics superposition, in such a way that the structural model becomes intelligible. The software used helps to find a solution that covers all the different requirements.

En la Cátedra de Estructuras III se aborda, entre otros temas, el diseño de mecanismos sismorresistentes con el objetivo de desarrollar en el alumno la habilidad para comprender el comportamiento del mecanismo estructural de un edificio considerando al mismo como una unidad a su imagen y estructura y teniendo en cuenta que el diseño estructural es una variable presente desde las etapas iniciales del proceso del diseño arquitectónico.

Para promover en los alumnos, el desarrollo de capacidades y habilidades en la resolución de problemas no estructurados, que son los más comunes en el desempeño profesional, el abordaje didáctico empleado por la cátedra, fruto de un trabajo continuo de actualización, incluye diversas estrategias pedagógicas con la intención de enfocar el problema desde distintos puntos de vista; se facilita así su aprehensión por parte de los alumnos con distintos tipos de inteligencia y conocimientos previos evitando el seguimiento de un único camino.

Estas metodologías abarcan:

- El empleo de modelos didácticos con filmaciones desarrolladas en algunos casos con la colaboración del Departamento Medios Audiovisuales de la casa y en otros realizada por el propio cuerpo docente. Lo filmado son experiencias ejecutadas tanto con modelos analógicos como modelos en miniatura ensayados a rotura para visualizar su comportamiento, todos elaborados por docentes de la cátedra. Estas experiencias generan un compromiso vivencial en los estudiantes a la par que facilitan su aprendizaje. (figs. 1 y 2)

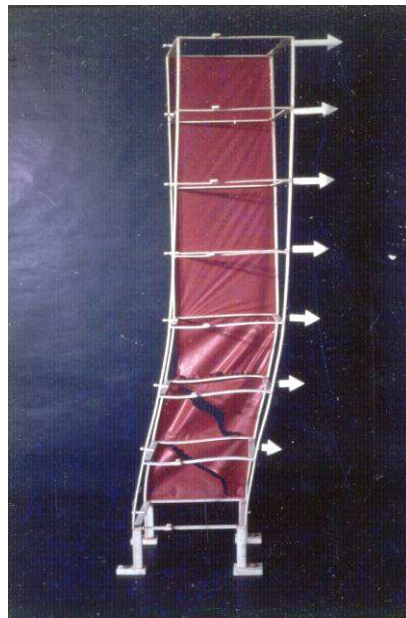


Fig. 1



Fig. 2

- En ejemplos de arquitectura reconocidos y relacionados con el tema tratado, se realizan análisis cualitativos del comportamiento estructural, utilizando modelos didácticos, tanto analógicos como a escala, diagramas de solicitaciones superpuestos con fotos tanto de obras existentes, como de modelos y maquetas. (figs 3)



Fig. 3

Se intenta así desarrollar la habilidad del alumno para comprender el comportamiento de la estructura de un edificio como un todo en forma cualitativa, utilizando a tal fin las herramientas informáticas propias del trabajo profesional, aquellas que a un ob-

servador entrenado le permiten realizar un mínimo de verificaciones numéricas a fin de constatar lo apropiado de su diseño. Numerosos especialistas recalcan el hecho de que un buen diseño inicial es preferible a un recargado análisis. Es decir se intenta un aprendizaje significativo, que utilice todos los conceptos tratados en los sucesivos cursos de estructuras, facilitando su utilización en un problema concreto y recurriendo a imágenes sintéticas, propias del lenguaje de la disciplina.

Por lo expuesto anteriormente, es que dentro del objetivo general de la Cátedra, se induce al alumno a la búsqueda del adecuado y responsable diseño de la estructura en la obra de arquitectura, estimulándolo a desarrollar su propio juicio crítico y su capacidad de investigación, poniendo en juego sus habilidades para poder captar y comprender el comportamiento del mecanismo estructural.

Esta metodología comprende el diseño, por los alumnos, de un edificio en zona sísmica. Se fija como requerimiento la búsqueda de una estructura que juegue un rol relevante en la morfología del edificio y que satisfaga los límites admisibles de distorsión. También se evalúa la eficiencia de la estructura, a fin de evitar su sobredimensionamiento.

El ciclo comprende las reformulaciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos propuestos. La búsqueda implica un proceso de reflexión sobre el porque de los resultados obtenidos y una modificación del diseño tendiente a superar los inconvenientes que se presentaron. Todo el proceso de cálculo se ejecuta con programas de resolución de estructuras, por lo que no exige una dedicación desmedida. Se da preferencia a los resultados gráficos, que permiten aprehender el comportamiento de la estructura en su conjunto. De su visualización el alumno debe sacar las conclusiones necesarias, cuestión que es sistemáticamente abordada en las evaluaciones.

El trabajo presentado corresponde a un ciclo de reformulación llevado hasta el cumplimiento del objetivo propuesto dentro de los tiempos que dispone el alumno en esta asignatura. Todo el proceso se ve enriquecido cuando los grupos comparten sus experiencias de diseño y tienen oportunidad de exponer sus logros ante sus compañeros.

Planillas de cálculo elaboradas por la cátedra permiten la verificación final de algunos elementos estructurales, de modo de garantizar su resistencia con cuantías aceptables. Del mismo modo se estudian las fundaciones, incursionando un vez más en el equilibrio y mostrando las ventajas de la redundancia y el aumento de rigidez que se logran al combinar las bases.

De este modo incluso el diseño de una fundación deja de ser una cuestión aislada para convertirse en una variable que influye en la rigidez del todo.

Este abordaje significativo de cada decisión de diseño genera una actitud crítica en el alumno a la par de un interés por el impacto que los aspectos tecnológicos producen en la morfología y la posibilidad de articular distintas disciplinas en el logro de un producto armónico y funcional.

Los aspectos emotivos de este aprendizaje conducen a un mejor entendimiento interdisciplinario, dejando de lado los antagonismos fruto de la incompreensión sobre el trabajo de los especialistas. Además el proyectista estará abierto a la consulta e intercambio de opiniones desde las ideas preliminares, ya que esa fue su escuela.

Esta actitud comprende una disposición favorable ante los avances científicos, en el convencimiento de que existe una provisoriedad en lo aprendido que seguramente será superada por el continuo avance del conocimiento.

El lenguaje gráfico, aún referido a diagramas de esfuerzos, puede ser el vehículo comunicacional adecuado entre profesionales de distintas especialidades. Quizás debiera procurarse esta integración también desde las escuelas de ingeniería, de modo de concretar un punto de encuentro donde todos aportan al proyecto, en lugar de abocarse a lo suyo.

El equipo docente que conforma la cátedra está integrado por profesionales de distintas ramas, contribuyendo cada uno con su aporte a la enseñanza. Vale decir que no es una mera sumatoria sino una verdadera integración de conocimientos en torno a la búsqueda de una metodología adecuada para la transmisión de los contenidos conceptuales y actitudinales que se consideran apropiados.

Un aspecto a considerar es el de ejercitar a los alumnos en tareas de predimensionado rápido, que abarquen tanto el cálculo de la sección necesaria para una columna, la que dejará de ser un punto en el anteproyecto para ocupar el área que efectivamente requiere, como también el planteo de los planos resistentes y su posible morfología. Estos recaudos que el profesional incorpora con la experiencia también pueden ser enseñados y facilitarán la resolución final del proyecto.

A continuación se reproduce un trabajo práctico realizado por alumnos en el curso de Estructuras III de la Facultad.

PROGRAMA

Se pide diseñar un edificio de oficinas para una entidad bancaria de alta ocupación, en un predio ubicado en la ciudad de La Rioja sobre la costanera del río Tajamar interceptado por un eje comercial.

Se considera muy importante que las personas que trabajan en el edificio puedan disfrutar de las visuales hacia el río y al centro histórico de la ciudad.

Desde el punto de vista de la imagen corporativa de la entidad, se debe privilegiar el hecho de destacar al mismo con respecto al resto por medio de una fachada integral.

El objetivo es lograr con el posicionamiento del edificio sobre las orillas del río una intensificación de la vida pública y un remate de las calles que comunican a través de puentes ambos márgenes del río. (fig. 4)

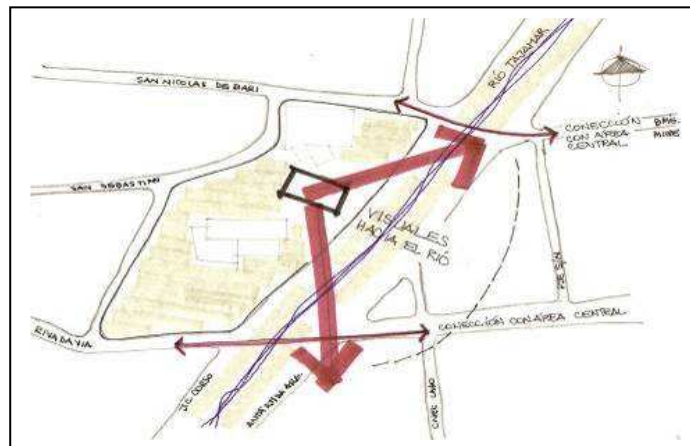


Fig. 4

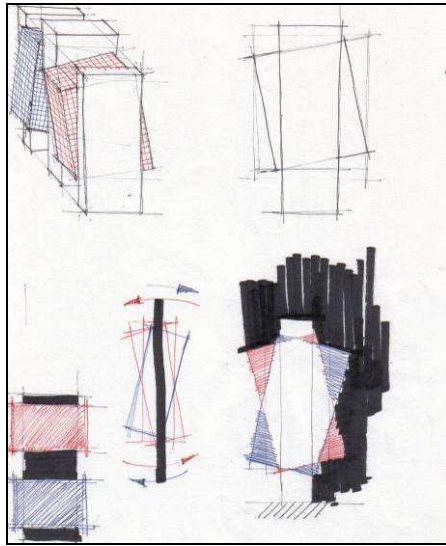
1. Planta baja destinada a galería comercial.
2. Planta tipo de superficie máxima de 400 m^2 .
3. Grupo sanitario para ambos sexos y depósito por planta con superficie aproximada a 12 m^2 .
4. Núcleo de circulación vertical constituido por una escalera contra incendio de dos tramos y 2 ascensores de 5 m^2 cada uno.
5. Volumen de 30 m^3 en la azotea para tanque de agua para reserva y servicio contra incendio y otro volumen de 60 m^3 destinado a sala de máquinas, sobre recorrido de ascensores y torre de enfriamiento.
6. La altura mínima libre de los locales será de 2.60 m y los plenos de cielorrasos libres de estructura, serán de 90 cm a los fines de poder canalizar conductos de aire acondicionado.

Nota: las superficies y volúmenes indicados son aproximados. Se pueden variar hasta en un 10% en más o en menos.

La formulación de la propuesta, en el caso que nos ocupa, debe responder a una búsqueda formal en la que el mecanismo estructural cumpla su objetivo principal: resolver la necesidad de *permanencia* del objeto arquitectónico con el fin de brindar seguridad y protección al usuario que lo habita. Según el reglamento CIRSOC 103, La Rioja esta comprendida en zona sísmica 2, de peligrosidad moderada, razón por la cual el proyecto buscara un orden de simetría (regularidad estructural) sin dejar de enriquecer volumétricamente al mismo con distintos recursos de diseño.

Desde esta hipótesis de trabajo se busca diseñar un mecanismo estructural que guarde una estrecha relación con la configuración final del edificio. La configuración, en definitiva, es el resultado de un proceso de decisión que considera todas las variables (estructurales, tecnológicas, económicas, etc) Al definir la imagen del edificio el arquitecto está determinando los posibles sistemas que se pueden usar, así como la interrelación que exista entre ellos. La configuración y la sencillez del sistema estructural sismorresistente seleccionado poseen una importante relevancia en la estética del edificio

IDEAS GENERADORAS (figs. 5 a 10)



El edificio como una ménsula empotrada en el terreno. El eje organiza el espacio y genera las tensiones con la costanera, el río y el paisaje.

Idea de eje con encastre de volúmenes.

Fig. 5

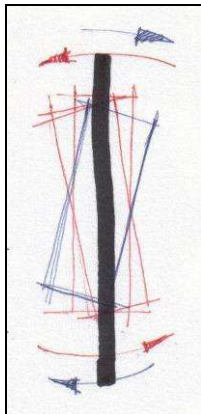


Fig. 6

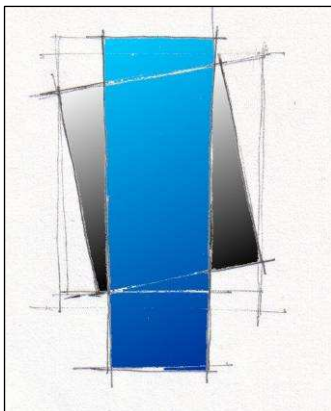
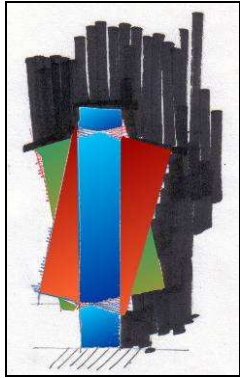


Fig. 7

Se busca que el edificio se comporte como un hito en la ciudad, según lo solicitado en el programa. Por lo tanto, se generan cajas vidriadas encastradas que no sólo permiten una vinculación visual directa entre el interior y el exterior, sino también impactan con marcado contraste con la edificación existente en el entorno.



Vista de la idea generadora.
Primeras ideas volumétricas.

Fig. 8

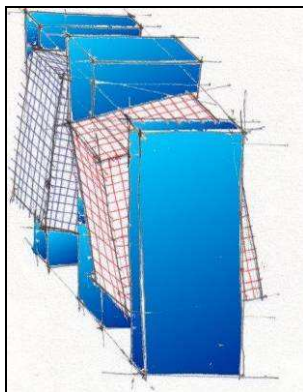


Fig. 9

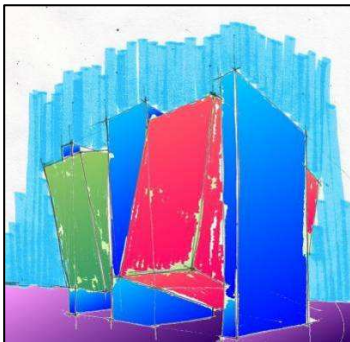


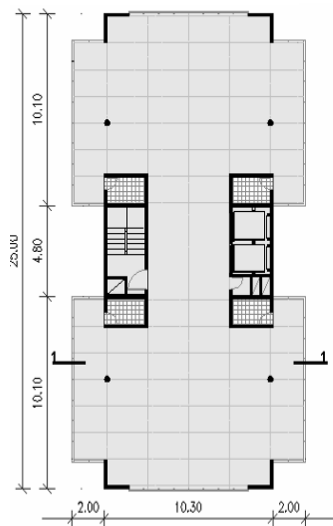
Fig. 10

ALTERNATIVA 1

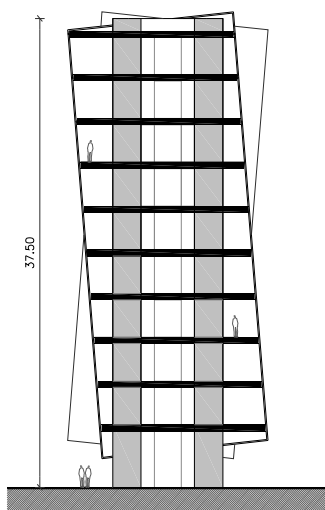
En primer lugar, se esboza la volumetría y una primera organización para las plantas para comenzar el análisis y la verificación. (figs. 11 a 13)



Figs. 11



Planta Nivel 6
Fig. 12



Corte 1-1
Fig 13

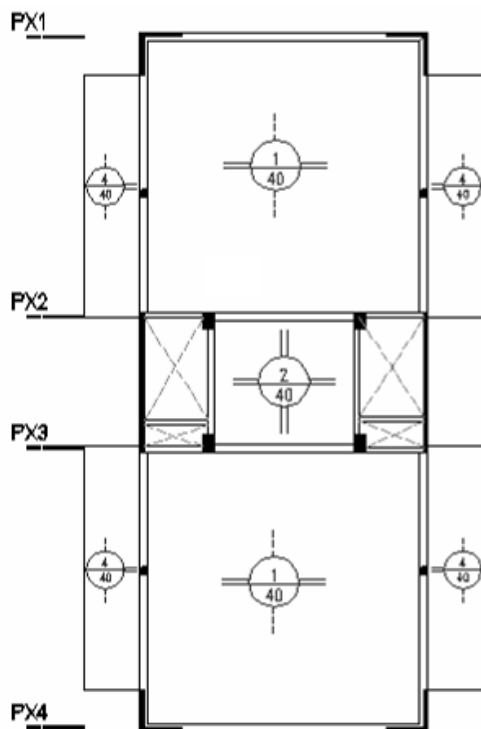
El conjunto funciona como un todo y por parte refleja el encastre entre dos volúmenes: uno conformado por el sistema estructural: regular, ordenado y simétrico, otro por el sistema envolvente: dinámico y permeable. Ambos sistemas participan y se relacionan protagónicamente en la configuración del edificio manteniendo una estrecha relación entre **la Estética y la Estática**. Los planos portantes verticales “enmarcan” la gran caja de cristal. En una etapa posterior del proyecto se analizará cuidadosamente el tipo de envolvente a utilizar para minimizar el consumo de energía necesaria para acondicionar el edificio.

La ubicación central del núcleo circulatorio permite una mejor distribución del espacio otorgándole una marcada simetría estructural y funcional. El uso de vigas cintas y núcleos perimetrales favorecen a la idea de plantas “libres”, convirtiendo a cada una en amplios espacios funcionales y flexibles.

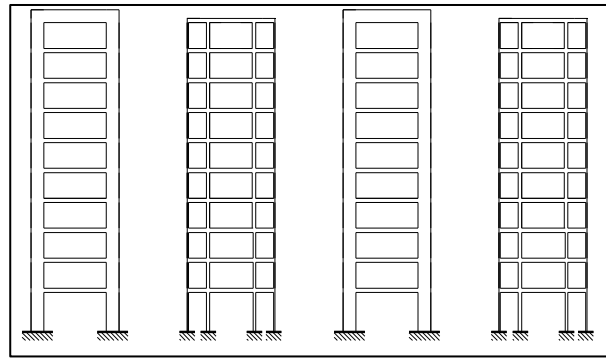
El edificio, de 36,5 m de altura con una planta 14,30 x 25,00 m cubiertos, se ha resuelto con losa nervurada de 0,40 m de altura, la que se determinó teniendo en cuenta las dimensiones del tramo y de los voladizos de 2,15 m.

En esta primera propuesta se buscó utilizar los pilares esquineros que enmarcan el edificio como patas del macropórtico que se conforma con la viga superior de 1,50 x 0,30.

Por razones de simplicidad se realiza el análisis sólo en una de las direcciones (fig. 14 y 15).



Planta de Estructura Fig 14



PX1

PX2

PX3

PX4

Vistas de planos portantes en la dirección analizada Fig. 15

Las fuerzas sismicas de determinaron según lo establecido en el Reglamento CIR-SOC 103 Parte 1 y en esta etapa se emplea el método simplificado para la verificación de la estructura. Por la simetría de la estructura, se ha procesado solamente la mitad de la misma obteniéndose los resultados de la Tabla 1.

Calculo y distribucion de V0 Zona Sísmica: 2 Tipo de Suelo: 1 Nº de Pisos: 10 (máx. 14 pisos) coef. destino: 1 $\mu = 5$ C = 0,088 Corte Basal = 2930,4 KN as = 0,44 período: 0,57 $\alpha = 1$								
Piso	Wi	h _{piso}	hi	Wi · hi	Fuerza del nivel	Corte del nivel	Desplaz del nivel	Distorsión del nivel
	KN	m	m	kN.m	KN	KN	m	
10	3510	3	31,5	1E+05	538,1	538,1		
9	3310	3	28,5	94335	459,1	997,2		
8	3310	3	25,5	84405	410,8	1408		
7	3310	3	22,5	74475	362,5	1770,5		
6	3310	3	19,5	64545	314,1	2084,6		
5	3310	3	16,5	54615	265,8	2350,4		
4	3310	3	13,5	44685	217,5	2567,9		
3	3310	3	10,5	34755	169,2	2737,1		
2	3310	3	7,5	24825	120,8	2857,9		
1	3310	4,5	4,5	14895	72,5	2930,4		

Tabla 1



Fig. 16



Fig. 17

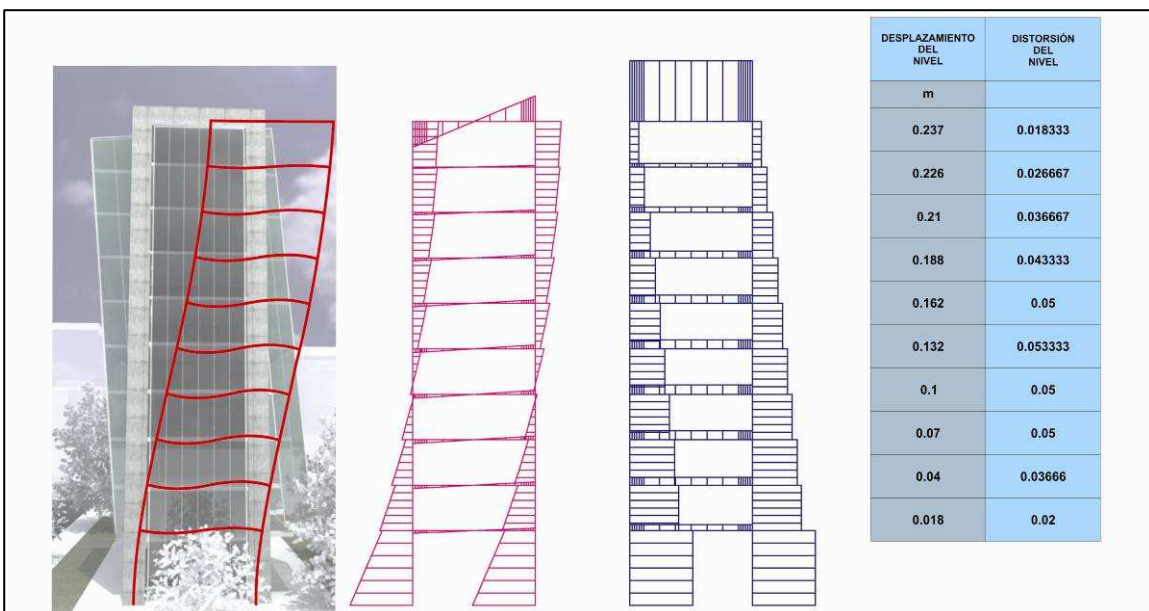


Fig. 18

Como era previsible los planos PX1 y PX3 son los que absorben casi la totalidad de los esfuerzos. Puede observarse, que el comportamiento es el de un macro-pórtico de un solo nivel, las vigas cinta prácticamente no colaboran (figs. 16 a 18).

El comportamiento estático responde al mecanismo supuesto, pero las distorsiones superan los límites reglamentarios. El mayor valor está en el piso en el que se ubica el punto de inflexión de los tabiques. Es decir que el máximo giro se corresponde con la curvatura nula.

Las distorsiones excesivas indican que se generan daños en todos los elementos no estructurales, por lo que la primera etapa del diseño estructural tiene como meta disminuirlas a valores admisibles. Por esta razón se partió de un esquema que contrarrestaba los giros que habría de producirse en el extremo de los tabiques, de trabajar estos en forma aislada. Pareciera oportuno aumentar la rigidez del edificio.

ALTERNATIVA 2

Siguiendo el camino antes señalado, se coloca una nueva viga de elevada rigidez donde la curvatura resultó nula, zona del máximo giro (5º nivel). Formalmente “las cajas de cristal” se dividen y la cinta de hormigón “ata” los distintos paquetes.

También se podría haber aumentado la rigidez del edificio alargando los tabiques que conforman las patas del macropórtico. Esta opción, se descartó ya que como se expresó en la idea de partido se pretende que la estructura de hormigón sólo “enmarque” el volumen.

Se ha logrado una disminución de los desplazamientos y distorsiones, pero aún no se cubren las expectativas. El margen que nos separa de los valores aceptables es significativo, y se debe a la incapacidad de los tabiques esquineros para desempeñarse con ese carácter (figs. 19 a 21). Vale decir es necesario transformarlos en columnas de pórtico ya que su esbeltez no les permite desempeñarse en un rol independiente.



Fig. 19



Fig. 20

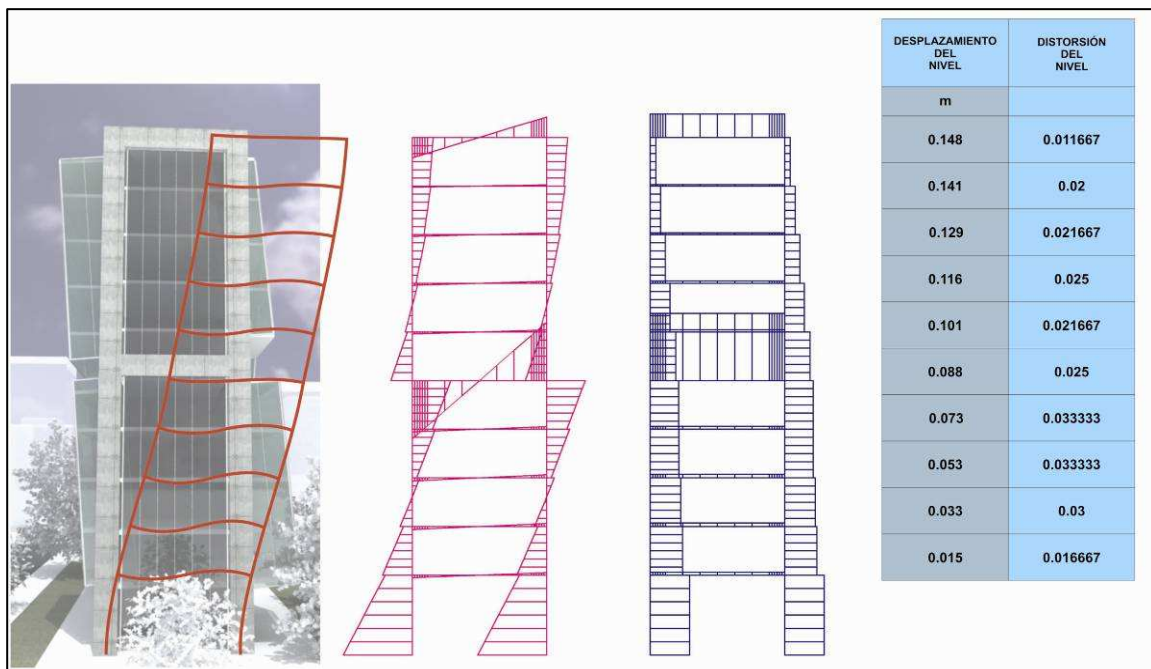


Fig. 21

ALTERNATIVA 3

Se colocan vigas de rigidez apreciable (0,30 x 1,00) en todos los pisos, ubicadas solamente en los planos portantes externos, de esta manera no sólo se intenta reducir la deformabilidad del edificio, sino que también se vuelve a la idea original de encastre de volúmenes, unos “más livianos” (envolvente) y otros “más pesados” (estructura).

En esta última alternativa analizada se satisfacen los requerimientos de una construcción con muros desvinculados de la estructura. El comportamiento es el de un pórtico con columnas de gran rigidez (figs. 22 a 24).



Fig. 22



Fig. 23

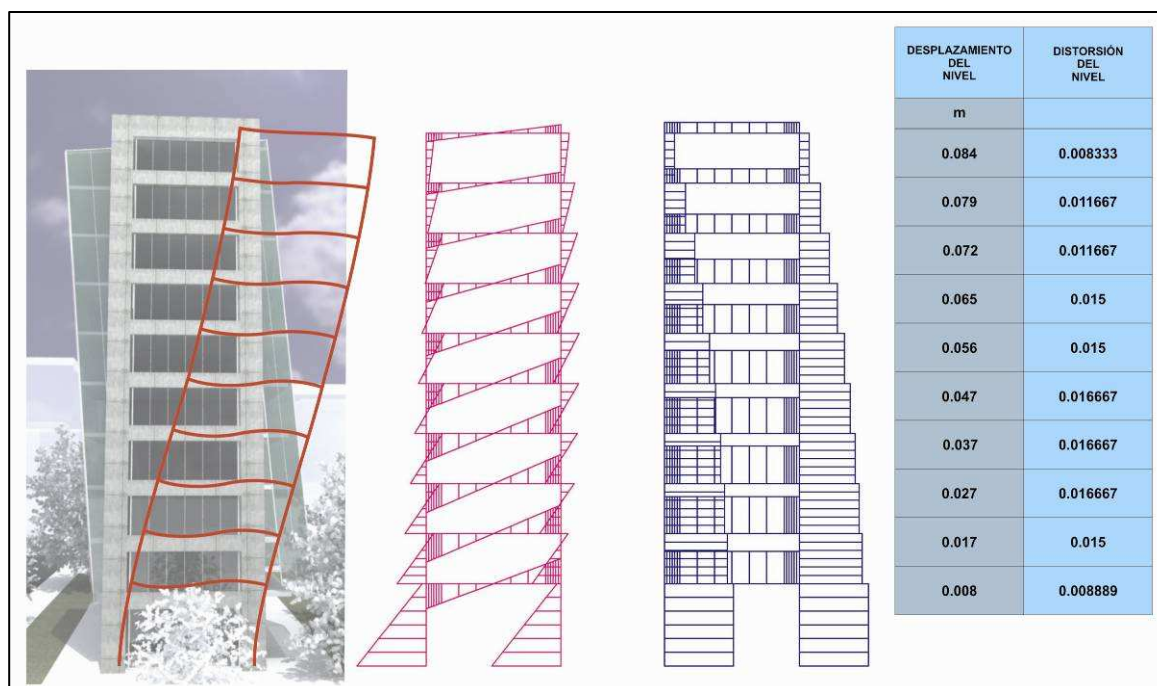


Fig. 24

CONCLUSIONES

Podría concluirse diciendo que lo realizado es un ciclo de reformulación llevado hasta el cumplimiento del objetivo propuesto dentro de los tiempos que dispone el alumno en esta asignatura. Todo el proceso se ve enriquecido cuando los grupos comparten sus experiencias de diseño y tienen oportunidad de exponer sus logros ante sus compañeros.

La resolución de problemas mal estructurados constituye la actividad más frecuente de un profesional. Por ello se debe preparar al alumno para encararlos, esto exige brindar formación tanto en lo técnico propio de la disciplina como en lo denominado regulación del conocimiento.

Una posibilidad es incorporar trabajos de diseño que pongan énfasis en lo tecnológico sin descuidar otros aspectos.

La planificación de estas actividades y la selección o elaboración de los recursos necesarios para ejecutarlas es a su vez un problema de diseño mal estructurado. Esto exigirá del equipo docente no solo disponer habilidades en lo procedimental sino también en lo epistemológico. La intencionalidad del diseño del artefacto educativo deberá reflejarse en el producto obtenido. Para ello no bastan las buenas intenciones sino que es necesario un manejo adecuado de diversos conceptos. Entre ellos podemos mencionar la cognición distribuida, la correspondencia representacional y el estilo cognitivo. Cada uno de ellos influye en esta doble problemática: el diseño del artefacto educativo y su apropiación adecuada por parte del alumno.

Como estas cuestiones no son principios escritos en piedra, es necesaria una constante actualización, propia de la formación permanente, no sólo para transmitir la información apropiada sino también para hacerlo del modo adecuado.

La enseñanza de las estructuras en las facultades de Arquitectura constituye un verdadero desafío si se tiene en cuenta la naturaleza del alumno que se halla más familiarizado con la comprensión gráfica que con el manejo de ecuaciones matemáticas.

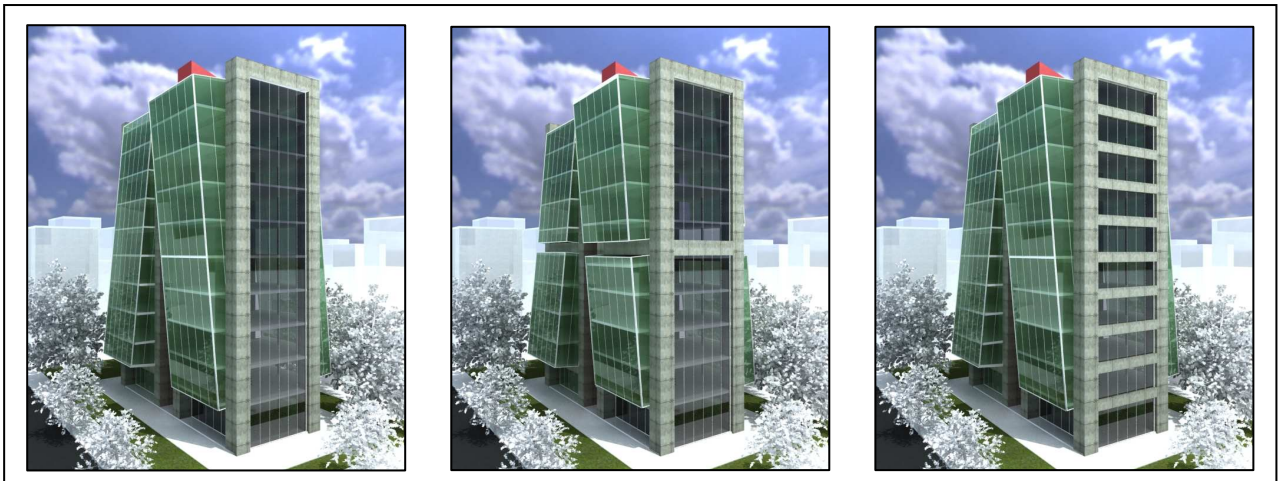


Fig. 25

Con este tipo de ejercitaciones se procura habilitar al futuro arquitecto para desarrollar su proceso simulando la tarea que desempeñará en su actividad profesional. Para ello se lo estimula a desarrollar un proceso de Diseño Estructural sobre un edificio de escasa complejidad funcional-arquitectónica en la que la estructura cumpla un rol preponderante de modo que este proceso sea “gobernado” por dos conceptos fundamentales, uno, el estético identificado a través de la “imagen” del edificio y el otro, estructural, basado en el concepto de eficiencia estructural (fig. 25).

Dos objetivos prioritarios se persiguen con este esquema metodológico de formación de los futuros profesionales de la construcción: el de adquirir las habilidades y destrezas necesarias para proponer la mejor estructura que el diseñador considere para su edificio, partiendo de la formulación del sistema estructural desde las tempranas etapas del proceso de diseño, y el de que se internalice la idea de que la estructura también se diseña, como cualquier otro componente de la arquitectura.