

METODOLOGÍA DE TRABAJO INTERACTIVO ENTRE ING. ESTRUCTURALISTA Y PROYECTISTAS DEL PROYECTO DE LA HONORABLE CÁMARA DE DIPUTADOS DE LA PROVINCIA DE BS. AS.

Ingeniero Civil Horacio Andrés Delaloye

Estudio Delaloye y Asoc., Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad
Nacional de La Plata

RESUMEN:

Los concursos de Arquitectura son acontecimientos en los que se puede expresar, en su máxima dimensión, el trabajo interdisciplinario conjunto entre Arquitectos e Ingenieros Estructuralistas.

El Concurso de proyectos para el Edificio Anexo a la Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, con la participación de más de 100 equipos, es un ejemplo de lo expresado.

En este artículo se describe la metodología de trabajo interactivo entre el Ingeniero Especialista en Estructuras y el equipo que obtuvo el Primer Premio.

El Proyecto ganador consistió en un Edificio de cuatro subsuelos, planta baja, y ocho pisos.

Se detallan posteriormente los aspectos relevantes del Proyecto Ejecutivo y la metodología constructiva de la Estructura Resistente que permitieron ejecutar la obra en un plazo inferior al año.

La estructura, originalmente concebida como entrepisos pretensados, durante el desarrollo del Proyecto Ejecutivo fue ajustada y reemplazada por una de hormigón armado.

Finalmente, a modo de síntesis se concluye en la importancia del trabajo conjunto e interdisciplinario *Arquitecto – Ingeniero Estructuralista* para lograr como resultado obras de calidad desde el punto de vista estético funcional, que respondan a parámetros de seguridad y economía acordes a su finalidad.

ABSTRACT:

The contest of Architecture is events in which it is possible to express, in their high expression, the interdisciplinary joint work between Architects and Structural Engineer.

The contest of project for the "Edificio Anexo de la Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires", where had taken part a hundred of team, is an example of the expressed.

This article describes the methodology about the interactive work between the Engineer specialist in Structure and the team that obtained the first prize.

The winning project consisted in a building with four subsoil, the ground floor, a flat slat, and eight floors.

Later are detailed the relevant aspect of the executive project and the constructive methodology of the resistant structure that allowed to execute the work in a term lower than a year.

The structure, at first created as prestressed flat slab floor, during the development of the executive project, was adapted and replaced with one of reinforced concrete. Finally, to conclude in the importance of the interdisciplinary joint work between Architects –Structural Engineer in order to achieve as a result quality works, which answer to identical parameters of safety and economy according to its purpose.

Etapas inicial – Anteproyecto de la estructura para un concurso

Esta etapa tiene una importancia crucial en el futuro del proyecto y como tal, si bien en general el tiempo disponible es escaso, se le debe asignar la dedicación que merece, pensando que el anteproyecto que estamos imaginando puede ser el ganador y con él, llevado a nivel de proyecto ejecutivo, se deberá ejecutar una obra. Como Ingenieros Estructurales, en nuestro rol de asesores, nunca debemos dejarnos llevar por el pensamiento pesimista que este proyecto será uno más entre tantos, esto nos llevaría a restarle la atención que merece y nos pondría en una situación de desventaja respecto a los demás equipos participantes, además de una falta de ética para con quienes confían en nuestro asesoramiento.

Muchas veces, en un concurso, nos toca asesorar a más de un equipo participante, es importante destacar el cuidado que debemos tener en no trasvasar información, a veces de forma involuntaria. En estos casos, cada vez que nos reunimos con un equipo determinado, es recomendable hacer el esfuerzo mental de concentrarse en el caso concreto que se esté analizando y olvidarse de todos los demás. Se debe ser muy honesto con todos los equipos y comentar a cada uno de ellos, antes de tomar el compromiso, la decisión de trabajar con otros equipos.

El contacto de los Arquitectos encargados de llevar adelante el proyecto para el concurso, con el Ingeniero Estructuralista, debe hacerse lo más pronto posible, inmediatamente después que se ha tomado la decisión de participar. En esta primera reunión los Arquitectos ponen en antecedentes sobre el objeto del concurso, se resumen las bases y en general se trata de interiorizarse del problema, generalmente con una reunión de algunas horas es suficiente.

Se deben aclarar las pautas de entrega y fijar plazos, fundamentales para decidir la profundidad de análisis que se puede asignar compatibilizada con los tiempos disponibles.

El tiempo que dispone el Ingeniero Estructuralista para realizar un análisis más o menos serio nunca es suficiente. Esto ocurre por varias razones, la principal es que el proyecto de arquitectura se va modificando permanentemente con el transcurso del tiempo, generalmente se cierra a último momento, por eso es importante la participación interactiva conjunta con el grupo de proyecto.

La experiencia y la creatividad son valores indispensables a la hora de decidir sobre alternativas estructurales técnica y económicamente viables, aplicables a un proyecto Arquitectónico determinado.

La experiencia, desde el punto de vista técnico, se adquiere de dos modos, por propios errores y aciertos, que nos van dejando una enseñanza invaluable, o por el estudio y aprendizaje de los aciertos y errores ajenos.

No siempre la experiencia está directamente relacionada con la edad, en un tema determinado, puede existir un joven con mucha experiencia adquirida a través de participación en proyectos de envergadura o directamente estudiando y analizando casos similares.

Yendo concretamente al Concurso para el Proyecto del Edificio HCD, en nuestro caso hemos asesorado a cuatro equipos, dentro de los cuales uno resultó ganador y otro obtuvo el tercer premio. En este trabajo trataremos de exponer la metodología aplicada al desarrollo de los anteproyectos estructurales para la presentación al concurso y posteriormente comentarios y detalles sobre el desarrollo del proyecto ejecutivo y la construcción de la Estructura.

Metodología de trabajo en etapa de concurso

Nos referiremos a la forma de trabajo y a la metodología de análisis empleada con el equipo ganador del primer premio.

El planteo de un edificio con cuatro niveles de subsuelos y 8 pisos, ver planta tipo y cortes esquemáticos en fig. 1 y fig. 2, en una zona con restricciones de altura máxima edificable, obligaban a pensar en paquetes estructurales de reducido espesor, sumado a la necesidad de disponer de espacios amplios libres de columnas, con un importante vano central, daban como resultado una estructura relativamente compleja.

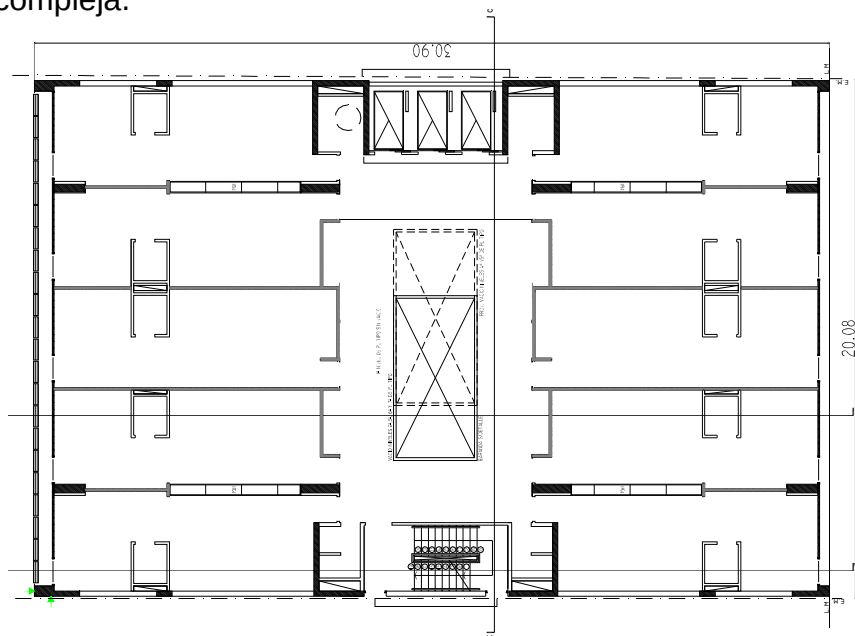


Fig. 1 – Planta tipo

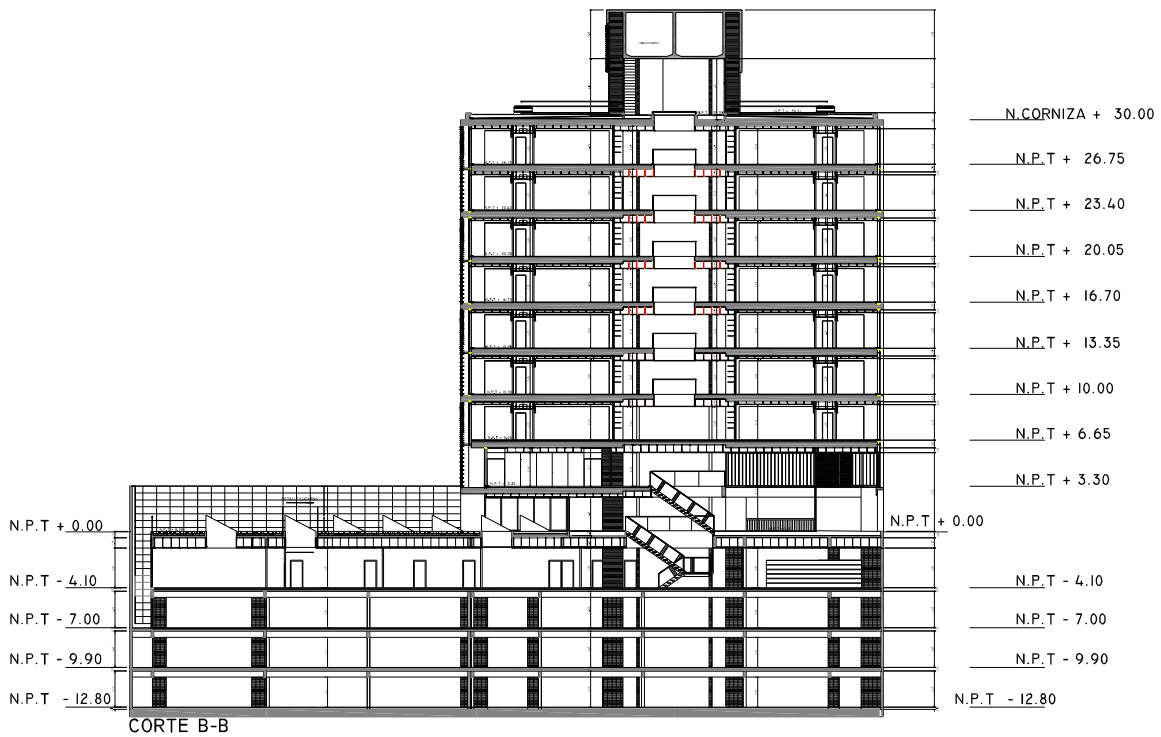
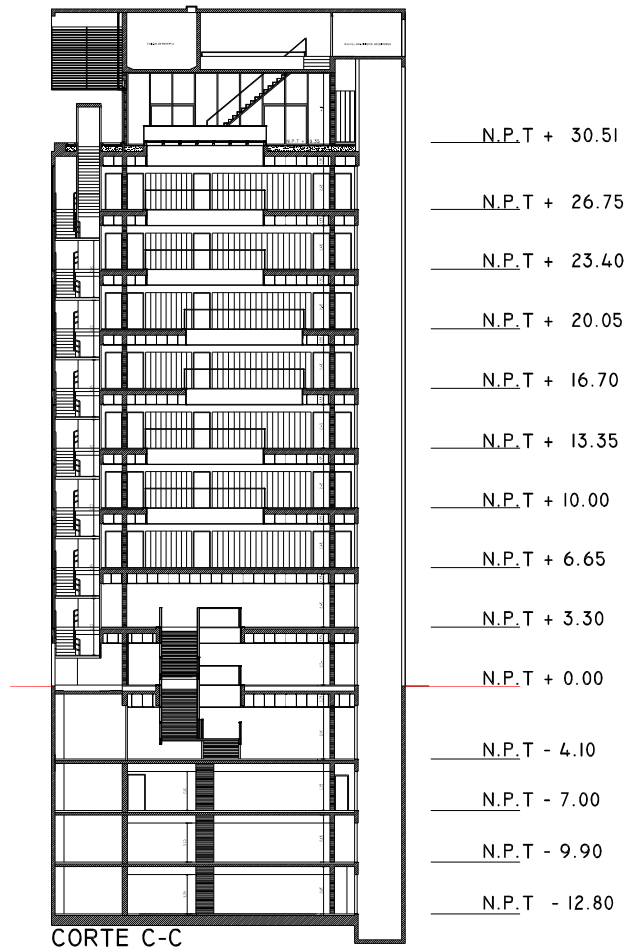


Fig. 2 Cortes

Ante una propuesta de los Arquitectos, adoptado el partido, conjuntamente se definieron los posibles puntos de descarga vertical (columnas y tabiques) y la líneas de mayor rigidez, líneas de apoyo, que pueden ser vigas, aunque algunas veces, por su escasa rigidez relativa no llegan a ser tales en el estricto sentido de la palabra, por eso preferimos hablar de líneas de mayor rigidez.

El esquema mostrado en la figura 3 sintetiza el planteo estructural de la planta tipo. Podemos distinguir 2 líneas de apoyo bien definidas, en las medianeras, entre columnas C1-C13 y C4-C16, el resto de la estructura debía tener como máximo un espesor de 30 cm. que fue resuelto con una losa casetonada, cuyo funcionamiento en principio se podría asimilar a una losa o entrepiso sin vigas. Se distinguen líneas de mayor rigidez, o fajas de columnas como las indicadas en línea de trazo.

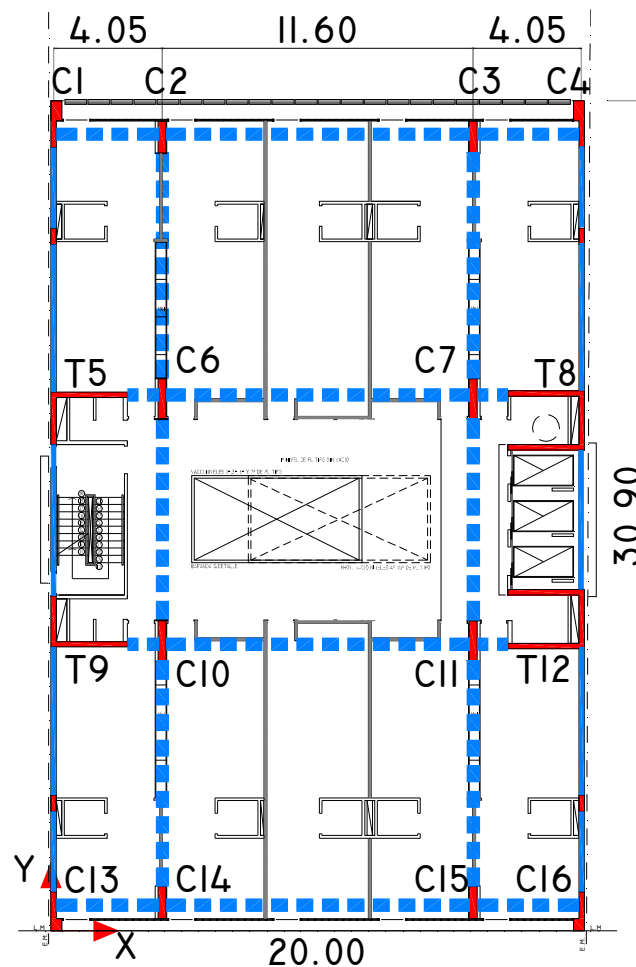


Fig. 3 – Planteo estructural inicial

Considerando un funcionamiento de entrepiso sin vigas, se pensó en un predimensionado a partir de la mayor luz de la losa central, de 11.60 m, resultando $h = L/30 = 11.60/30 = 0.39\text{m}$, este valor resultaba mayor al requerido de 0.30m, se intuía que habría problemas con las deformaciones, por lo tanto se pensó en un entrepiso pretensado, con lo cual la altura podría estar en $L/40 = 0.29\text{m}$.

Para poder analizar las deformaciones con alguna certeza además de considerar los efectos del pretensado, y teniendo en cuenta las características reales de la

estructura, se optó por efectuar un análisis por elementos finitos, se utilizó el modelo RAM Advanse.

En esta etapa, por una cuestión de tiempo disponible y considerando que el análisis es a nivel anteproyecto, estimamos que con el estudio de una sola planta sería suficiente.

El modelo estructural planteado es el siguiente

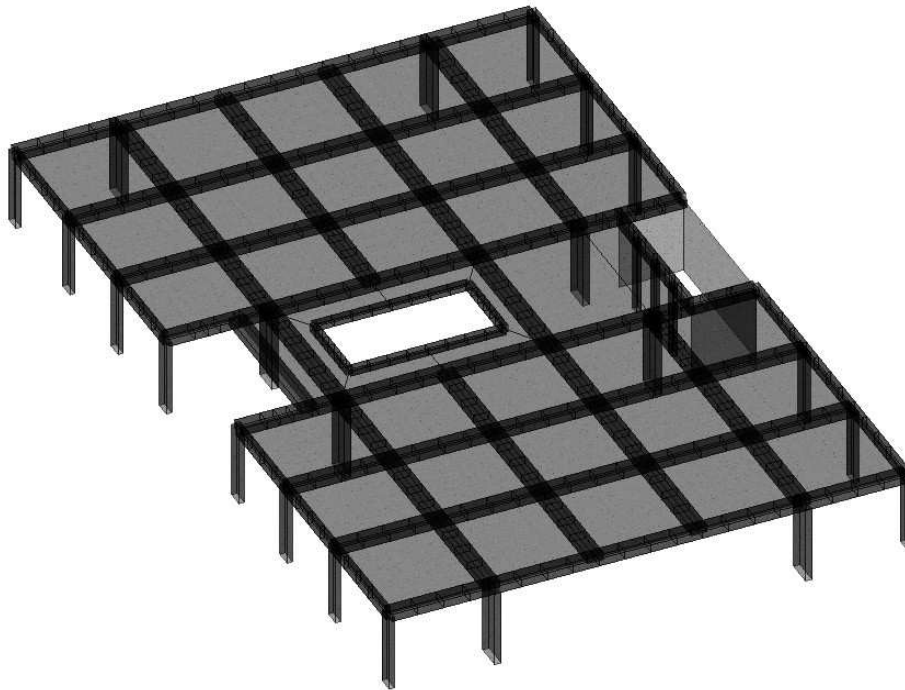


Fig. 4 Modelo estructural de una planta tipo.

Los espesores de losa considerados fueron de 0.15m, los nervios internos de 0.60mx0.30m, las vigas medianeras de 0.15mx0.18m. Se estimó que la diferencia de peso propio de la losa nervurada, cuyo espesor equivalente era de 19cm quedaba compensado al considerar la superposición con los nervios.

Las columnas y tabiques se introdujeron con sus dimensiones reales, aunque con la altura de un único piso, apoyadas mediante vinculaciones simples en las tres direcciones.

Los materiales utilizados en la modelación fueron:

Hormigón H30, (Resistencia característica a 28 días $f'c = 30$ Mpa)

Acero ADN 420 ($f_y = 420$ Mpa)

$E_c = 31380$ N/mm²

Densidad del hormigón 24 kN/m³

Para todos los nervios se consideró un coeficiente de reducción de inercia por fisuración de 0.5. Cabe aclarar que la norma ACI recomienda para vigas fisuradas tomar 0.35, pero teniendo en cuenta que se aplicaría pretensado parcial adoptamos un valor algo mayor.

Las cargas introducidas al modelo se dividieron en estados que luego se superponían según el caso.

cm.: Cargas muertas de peso propio, consideradas en forma automática por el modelo.

cp: Cargas muertas de contrapiso y piso, 3 kN/m², aplicada sobre la totalidad de las placas de losas

cm: Cargas muertas de peso propio, sobre vigas en medianeras 6.5 kN/m, en nervios de frente y contrafrente, por carpintería, 3.0 kN/m, sobre placas de todas las losas 1 kN/m².

sc: Sobrecarga o cargas vivas, 3 kN/m²

pt: Pretensado

Con respecto al pretensado, se introdujeron las cargas equivalentes a cables de trazado parabólico siguiendo la trayectoria de los nervios. Los nervios según x se consideraron continuos, de medianera a medianera. En dirección y se consideran simplemente apoyados

Para nervios según y

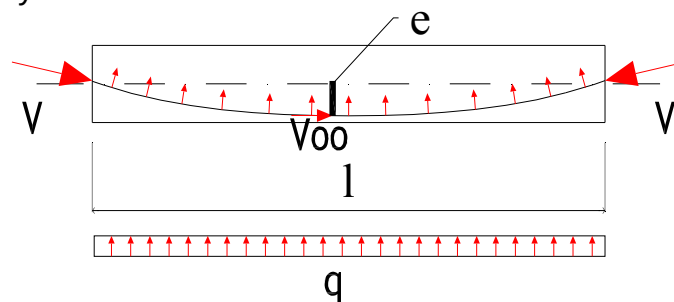


Fig. 5

El valor de la carga vertical q se obtuvo de plantear la ecuación (1):

$$V \cdot e = q \cdot l^2 / 8 \rightarrow q = 8 \cdot V \cdot e / l^2 \quad (1)$$

Donde:

V: Fuerza de pretensado en los cables que integran el nervio, en KN

e: Excentricidad del cable en m.

l: Luz de cálculo, longitud de la parábola en m

q: Carga equivalente en kN/m, aplicada al modelo en las zonas de nervios indicado

Las cargas V, que producen un efecto favorable de compresión, no se tuvieron en cuenta. En etapa de proyecto se debería estudiar en detalle la zona de introducción del pretensado.

En los nervios principales se pensó en colocar 10 cables engrasados tipo CEE1900, grado 270 de 15.2 mm de Acindar, cuya carga de rotura mínima es de 261 KN, adoptando como valor admisible el 70% se tiene $V_{oo} = 183$ KN.

A modo de ejemplo, para 10 cables la carga admisible total resulta $V_{oo} = 1830$ KN, con una excentricidad $e = 0.11$ m y $l = 8.00$ m resulta

$$q = 8 \times 1830 \text{ kN} \times 0.11 \text{ m} / (8 \text{ m})^2 = 25 \text{ kN/m} \quad (2)$$

Del mismo modo se determinaron las cargas a aplicar sobre nervios secundarios, para los cuales se adoptaron 5 cables, con una fuerza de pretensado admisible de 915 kN.

Se resolvió la estructura y se determinaron las solicitaciones en nervios principales y secundarios.

Los estados de carga se combinaron del siguiente modo:

- 1) cm+cp+gm
- 2) cm+cp+gm+sc
- 3) cm+cp+gm+pt
- 4) cm+cp+gm+pt+sc

Como control es conveniente visualizar la deformada para los distintos estados. Se presenta la graficación correspondiente al estado 1.

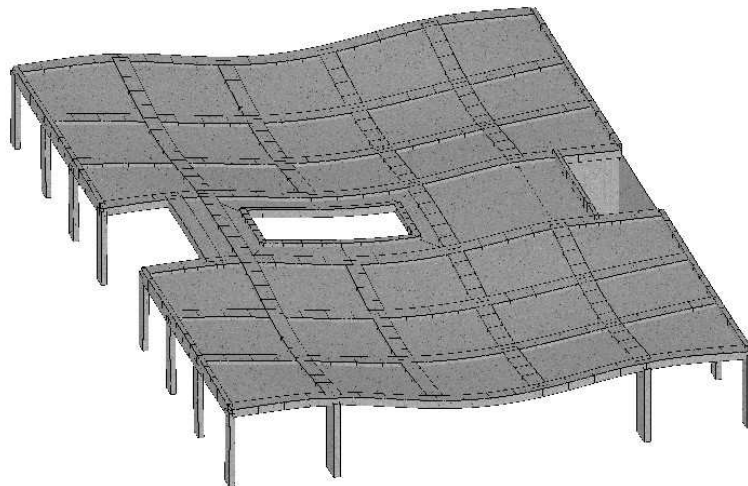


Fig. 6 Estructura deformada

En las figuras 7 a 9 se muestran los valores calculados para la deformación en puntos característicos.

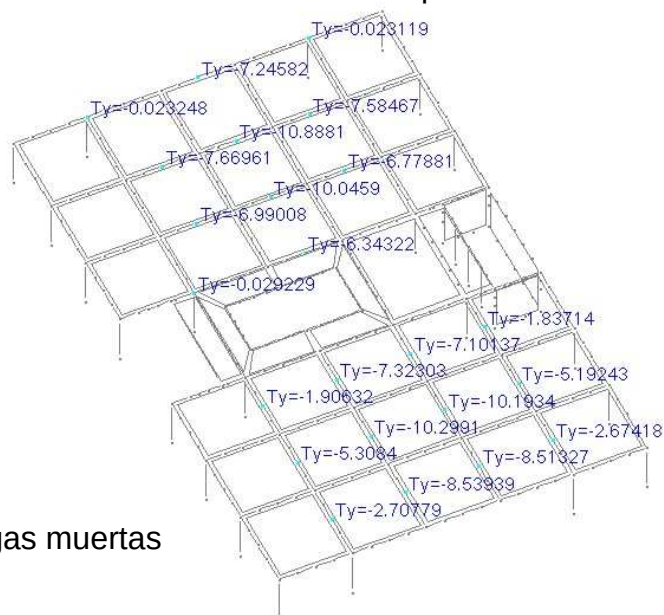


Fig.9a- deformaciones por cargas muertas

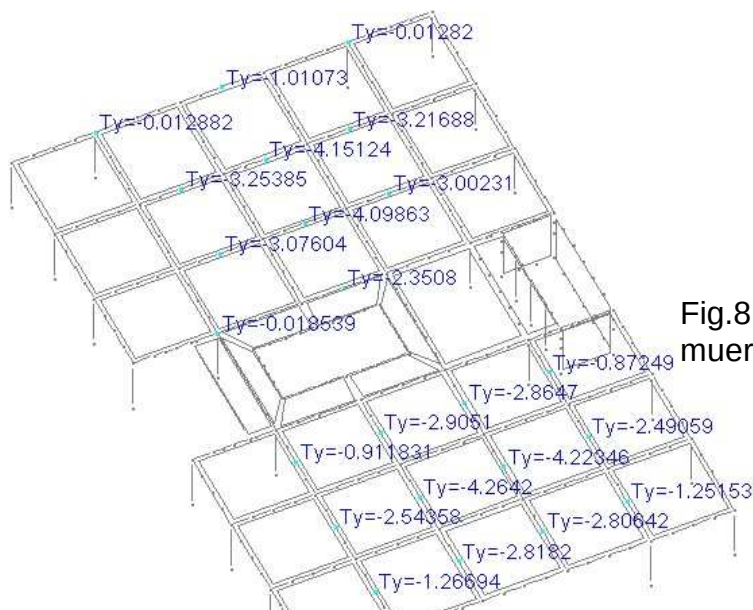


Fig.8 - deformaciones por cargas muertas + pretensado

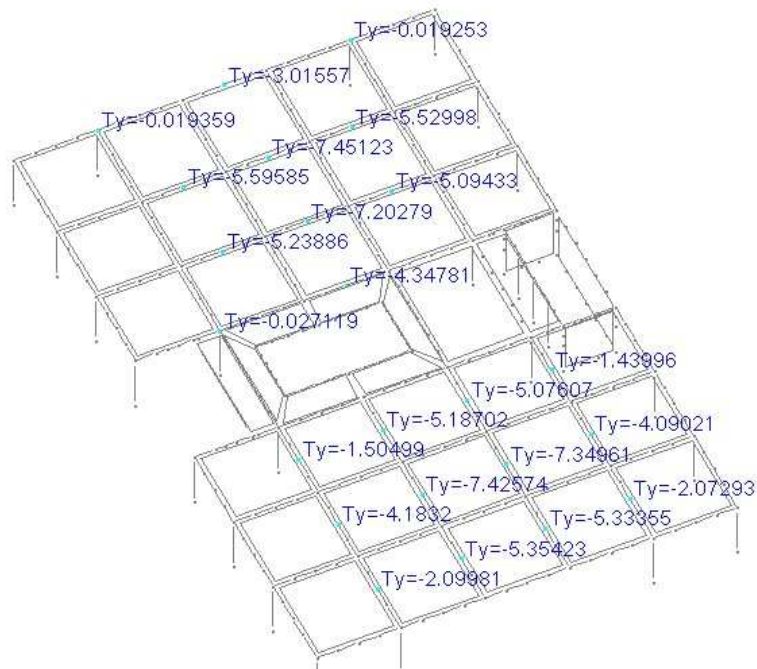


Fig. 9 cargas muertas + pretensado + sobrecarga

Es interesante notar como se pueden reducir los valores de deformación mediante la aplicación de pretensado, si tomamos uno de los nudos centrales podemos ver que la deformación sin pretensado sería del orden de 10 cm. que se considera incompatible con este tipo de estructuras, pero si se aplica pretensado se puede llegar a valores del orden de 4 cm., que estarían dentro de lo tolerable ya que por el tipo de tabiquería a emplear (de tipo liviano) se podría compensar parte de la deformación con alguna contra flecha inicial, se pensó en unos 3 cm.

Por supuesto, estos análisis son aproximados y en caso de tener que desarrollar un proyecto ejecutivo se deben calcular las deformaciones y ajustar los valores de pretensado con métodos más exactos.

Otros datos de interés que se obtienen de la resolución son los valores de momentos flectores en nervios, que permiten analizar el comportamiento en rotura, en este caso con la armadura de pretensado resultaba suficiente, solo se pondría la armadura pasiva mínima reglamentaria.

Las cargas en columnas se estimaron por superficie tributaria, para las columnas centrales que resultaban ser las mas comprometidas, la superficie de influencia era de aproximadamente 90 m²., se consideraron 9 niveles para tener en cuenta las cargas provenientes de tanque, con una carga superficial media de 11 kN/m².

Por ejemplo una de las columnas centrales como C6, a nivel 0.00 de planta baja, se estimó que tendría una carga:

$$N = 9 \times 11\text{kN/m}^2 \times 90 \text{ m}^2 = 8910 \text{ kN} \quad (3)$$

La sección necesaria, en principio se podría estimar con una tensión media de 1.0 a 1.2 kN/cm², con lo que resultaría una sección de aproximadamente $8910/1.2 = 7425$ cm². Ante el requerimiento de los Proyectistas de reducir la sección de la columna a 30cm x 150cm se efectuó un análisis mas refinado, concluyendo que era factible con la utilización de un hormigón de $f'c = 38$ Mpa y una cuantía muy elevada, cercana a la máxima.

Los niveles inferiores de subsuelos no presentaban mayores inconvenientes, tratándose de estructuras de tipo convencional.

La fundación del Edificio se pensó con una única platea apoyada desde el nivel - 12.80 hacia abajo.

Ajustes en etapa de Proyecto

Con el anteproyecto ganador, luego de algunos ajustes realizados por el Comitente, la HCD, se licita la obra.

Los ajustes, concretamente en lo referente a estructura resistente consistieron en un aumento de altura en el paquete estructural, pasando de 30 cm. a 45 cm. y la eliminación del pretensado. El resto de la estructura planteada originalmente, en términos generales, se mantuvo.

Para una planta tipo, la propuesta que surge del pliego licitatorio es la que se muestra en Fig. 10a. En Fig. 10b se aprecian las líneas de rigidez para la nueva configuración, se plantean vigas de 30x80 en las direcciones C2-C14 y C3-C15 lo cual modifica el funcionamiento original.

Se puede ver que ahora la configuración se parece a una gran losa central, unidireccional, de 11.60 m que tiene continuidad en dos losas laterales de 4.05 m.

El predimensionado inicial de alturas podría aproximarse pensando que si se tratase de una losa simplemente apoyada, $h = L/30 = 11.60/30 = 0.39\text{m}$ mientras que si se considerase continuidad podría estar en $L/40 = 0.29\text{m}$, por lo que en principio el valor de 0.45m parece apropiado.

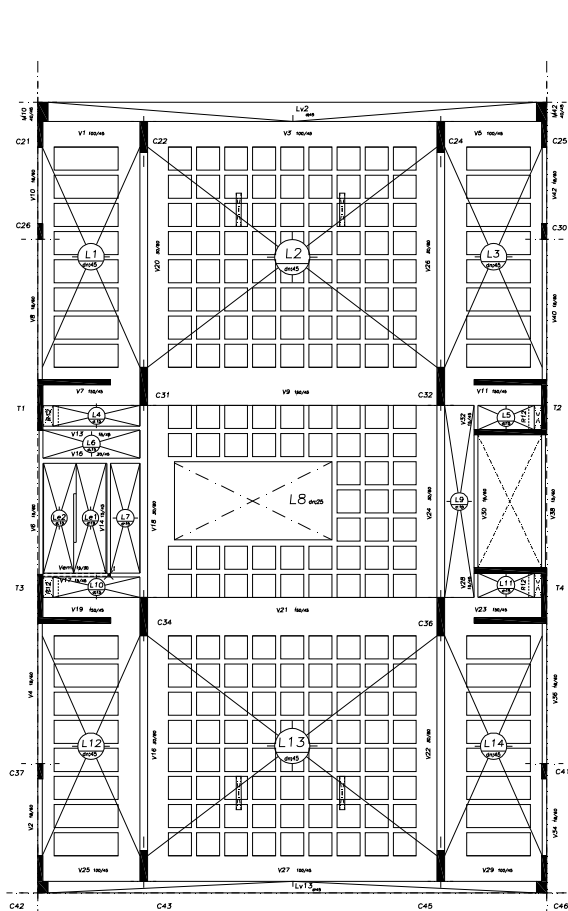


Fig.10a

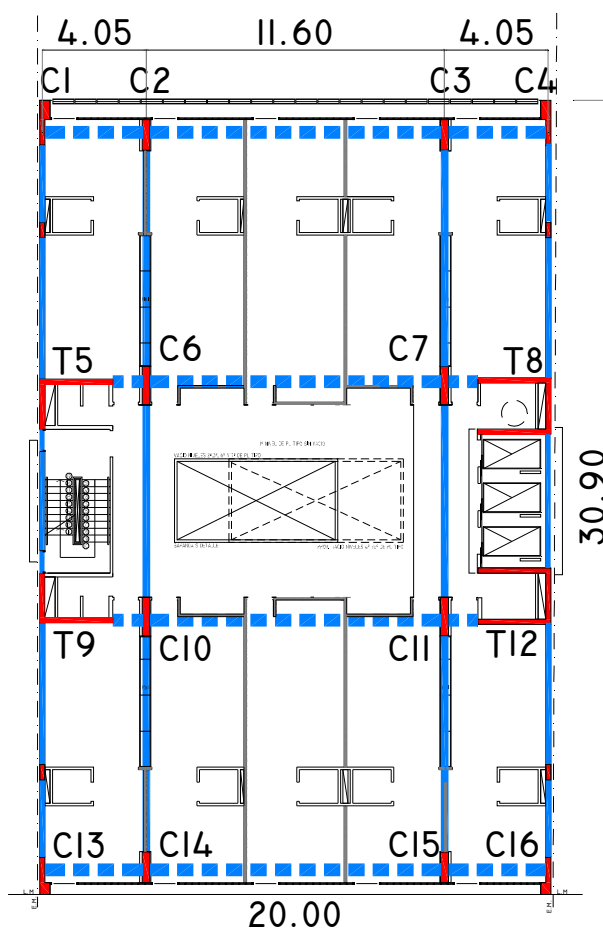


Fig. 10b

Luego de los primeros análisis se observó que efectivamente el comportamiento era el previsto

La deformación general era de tipo cilíndrica y que los nervios en dirección Y prácticamente no tomaban esfuerzos por lo que se optó por eliminarlos transformando la losa casetonada cruzada en una suerte de losa nervurada en una dirección. El esquema estructural resultante, con el que se proyectó la estructura definitiva y se construyó el Edificio es el de Fig. 11

Se calcularon las solicitaciones por elementos finitos para todo el edificio en forma espacial, incluyendo cargas de viento, se efectuó un análisis en segundo orden. La platea se consideró como losa apoyada en medio elástico a través de resortes que representaban el suelo, cuyas constantes se determinaron a partir del coeficiente de balasto.

La fundación de todo el edificio es a través de una platea de espesores variables, 80 cm. para el cuerpo principal donde se funda la torre, 50 cm. para el resto de los sectores de subsuelos.



Fig. 11- Estructura Planta +6.65

Todo el cálculo y dimensionado del edificio fue realizado siguiendo el nuevo Reglamento CIRSOC 201 – 2002, basado en el ACI 318.

Como particularidades de la obra podemos citar algunas que a nuestro juicio merecen un comentario especial:

Plantas de la torre:

En las plantas altas la deformación en vigas y nervios que componen la zona central era uno de los puntos críticos, se analizó en detalle mediante el método de Branson, arribando a valores máximos que estaban en el orden de los 4 cm. para tiempo infinito, esto se redujo a unos 3 cm. disponiendo una importante armadura de compresión en las zonas de momentos positivos para controlar el efecto del creep.

Paralelamente se dispusieron contra flechas de aproximadamente 2 cm. que contrarrestaban las deformaciones por cargas permanentes.

Como precaución adicional, para evitar inconvenientes sobre los muros de mampostería de los sanitarios, antes de ejecutar los mismos se colocaron todos los contrapisos con lo cual parte de la flecha se lograba previamente.

El comportamiento observado hasta el momento es satisfactorio y está dentro de lo previsto.

El esquema de Fig.12 muestra la deformada para vigas y nervios correspondientes a la estructura de nivel +6.65

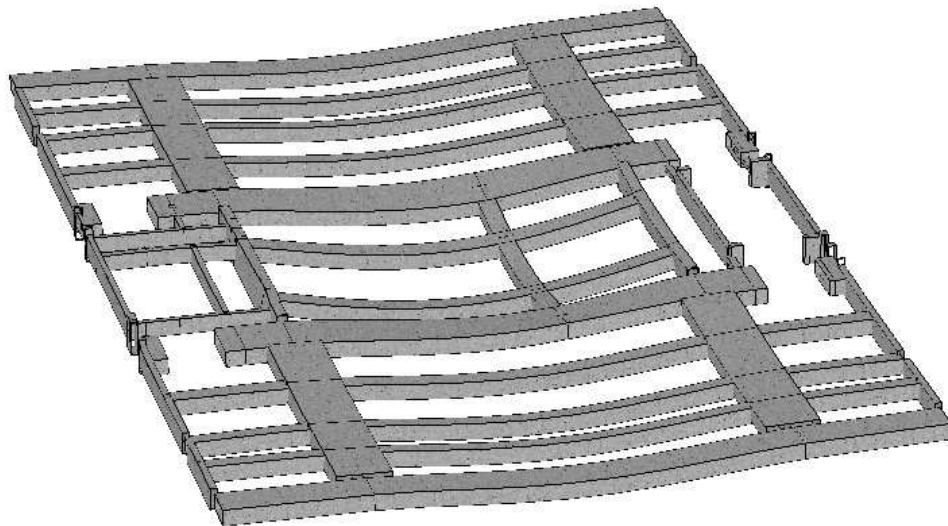


Fig.12 – Deformada Vigas

Otra particularidad, observada a través del análisis, es el funcionamiento de las losas entre nervios. Estas losas, de 12 cm. de espesor, que en principio parecen unidireccionales en el sentido mas corto, apoyadas entre los nervios, en realidad tienen sus mayores solicitaciones en el sentido largo, es decir paralelo a los nervios.

Esto es lógico por la conformación de la deformada de tipo cilíndrica en el sentido de los nervios, en realidad lo que aparenta ser apoyo de losas (los nervios) no cuentan con suficiente rigidez para actuar como tales.

Las Fig. 13a y 13b muestran los valores de momentos flectores M_{11} (vector momento en el eje x, armadura según Y) y M_{33} (armadura según X), se aprecia que el valor según x resulta considerablemente mayor.

Fig. 13a

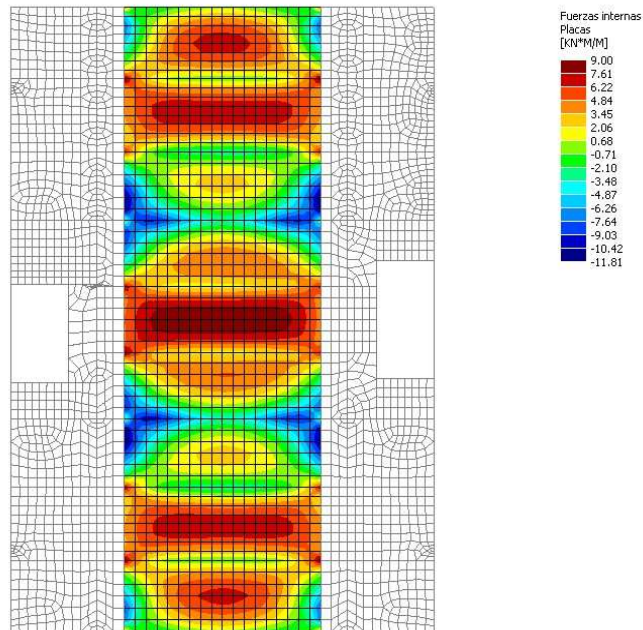
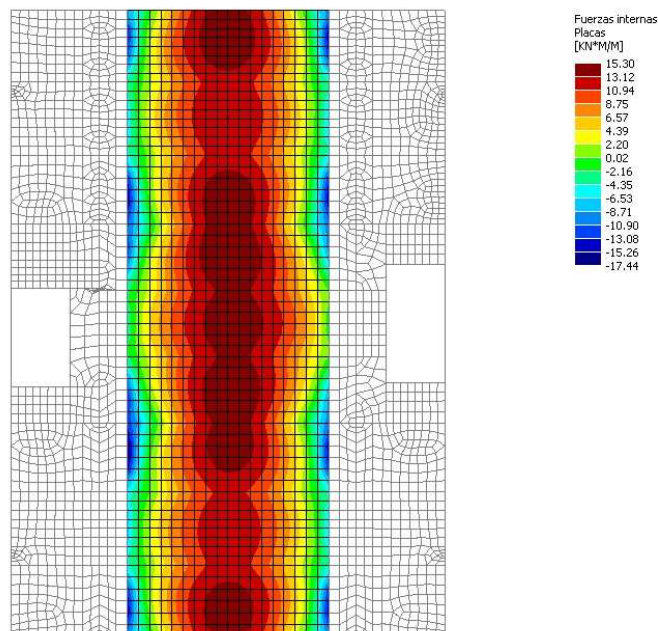


Fig. 13b



Excavaciones, submuraciones y platea:

Una de las cuestiones a resolver durante el proyecto ejecutivo era la de excavar los cuatro subsuelos, en la totalidad del terreno con el objeto de llegar a la cota de fundación en el menor plazo posible, el plazo para terminar la obra era de 12 meses.

Se adoptó un sistema de ejecución por avance en niveles de aproximadamente 4 metros, excavando en troneras alternadas, se colocaron pilotes de tracción inyectados para anclar los muros submurales, esto últimos de hormigón proyectado, armados con mallas electro soldadas especiales.

Para mejorar las condiciones de excavación se construyó una cubierta liviana (tinglado) que permitió trabajar incluso los días de lluvia. Esta metodología permitió un rápido avance



Fig. 14 a



Fig. 14b

Las fotografías indicadas en las Fig. 14 a muestra etapas de la excavación con parte de los tabiques submurales construidos y la cubierta provisoria. Cada paño tiene una altura entre 3 y 4 metros.

La fig. 14b muestra los tabiques y parte de la platea a nivel -12.80 ya construidos.

La platea en la zona de la torre tiene un espesor total de 80 cm., con hormigón de características H30 ($f'c=30\text{Mpa}$) y doble armadura constituida por una malla básica en cada cara de db 16 c/15, reforzada convenientemente en las zonas en que resultaba necesario por flexión, fundamentalmente en la cara inferior en zonas bajo columnas. El efecto del punzonado se analizó, al igual que la totalidad de la obra, según Reglamento CIRSOC 201-2002. En muchos casos fue necesario calcular y disponer armadura de refuerzo, un análisis técnico económico indicó que resultaba conveniente hacer la platea de 80 cm. con armaduras de punzonado en zonas puntuales frente a una platea de espesor uniforme de 1.40m sin armadura de punzonado.

Como prevención ante un futuro ascenso de napa, bajo toda la platea se colocó una red de drenes conformados por caños ranurados dentro de una canalización rellena por piedra partida envuelta en geotextil. Todas estas cañerías se conectan a una cisterna de bombeo por debajo del nivel de platea.

La estructura de subsuelos no presentaba mayores complicaciones salvo gran cantidad de pases para instalaciones, que como ocurre en casi todas las obras se fueron definiendo en paralelo con la ejecución de la estructura.

Comentarios Finales

El trabajo conjunto entre Arquitectos e Ingeniero Estructuralista ha permitido desarrollar un proyecto que fue exitoso en todas sus etapas, desde las preliminares para presentación a un concurso hasta la conclusión de la obra, sin cambios sustanciales.

La experiencia y el conocimiento en el proyecto de estructuras conjuntamente con las herramientas de cálculo disponibles en la actualidad, permiten evaluar distintas alternativas, cambiar materiales, tipologías, aplicar efectos de pretensado, proyectar partes de la estructura con elementos mixtos, etc. Esto resulta de gran utilidad en la resolución de casos concretos donde el tiempo disponible para el análisis es escaso como ocurre en los concursos.

El aporte de los arquitectos en el planteo de alternativas estructurales, aunque algunas veces resulten aparentemente disparatadas, siempre será de gran utilidad y el ingeniero nunca debe descartarlas de entrada, analizando cada una de ellas. Muchas veces de un aparente disparate surge una idea genial y los mejores resultados se obtienen de los planteos conjuntos de varias ideas.

Siempre es importante tener en cuenta la totalidad de los aspectos que intervienen en un proyecto, fundamentalmente los económicos. Algunas veces es necesario apartarse de lo racional, haciendo ciertas concesiones, como puede ser admitir apeos, reducir espesores al límite, etc. si los costos lo justifican. Ganar una cochera en un edificio céntrico seguramente compensará los costos estructurales de un apeo, ganar un piso en un edificio en altura por aplicación de pretensado o estructuras mixtas también puede resultar económicamente conveniente. En todos estos casos habrá que estudiar detenidamente el problema, fundamentalmente las deformaciones, pero podemos decir que hoy existen las herramientas y la experiencia suficiente para evaluar estas variables con bastante certeza.

Bibliografía:

- **Reglamento CIRSOC 201 – 2002** - Editado por INTI - INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL
- **GEOTECNIA Y CIMIENTOS** - JIMENEZ SALAS, J.A. JUSTO ALPAÑES, J.L.DE. Editorial
- **Manuales de utilización del modelo RAM Advanse**, Bentley Systems, Incorporated.
- **Fritz Leonhardt** – Estructuras de Hormigón Armado, El Ateneo – 1984
- **Normas EH-88, EH-91, EF-96, EHE-98, EUROCÓDIGO 2, FL-90**