

Integración de la estructura resistente en el proyecto arquitectónico

HAROUTUN CHAMLIAN

Arquitecto (FARQ-UdelaR, 1966). Diplomado en Estudios Mayores de la Construcción (Instituto Torroja de Madrid, 1968). Profesor Titular de Estabilidad de las Construcciones II (FARQ-UdelaR) hasta 1996 y Profesor Agregado del Área de Estructura del Instituto de la Construcción (FADU-UdelaR) hasta 2019. Corresponsable, junto al ingeniero Álvaro Gutiérrez, del proyecto de investigación *Control de Calidad de Fundaciones* (CSIC, 1996-1999). Ejerció la profesión de arquitecto entre 1966 y 2010.

La calidad de la construcción depende de la calidad del proyecto arquitectónico y este, a su vez, depende de la calidad de todos los demás proyectos involucrados —estructura, instalaciones, etc.—.

El proyecto arquitectónico es el que establece las grandes definiciones de la construcción y, en particular, del partido estructural.

Es una tarea compleja encarar un análisis crítico de proyectos y aún más difícil si estos son arquitectónicos. No se trata solo de estudiar materiales, sino también, principalmente, de ideas, simbolismos y sensibilidades. En suma, es una tarea de creación.

Las sucesivas grandes etapas del proyecto arquitectónico, en cuanto a diferentes grados de elaboración del producto final, son:

- el esbozo —o croquis o esquicio—, donde se establecen los datos básicos y la idea rectora del proyecto. Debe contener aquellos elementos necesarios para definir sus características esenciales además de permitir la toma de decisiones sobre aspectos funcionales, técnicos y financieros;
- el anteproyecto, donde culmina la elaboración de la idea rectora con un nivel de detalle tal que permite la comprensión de la misma, aunque aún de manera insuficiente como para llevar a cabo la construcción de la obra;
- el proyecto, donde están completamente indicados todos los aspectos técnicos de tal modo que pueden ejecutarse las obras. Se compone de planos, detalles, planillas y memoria.

La coordinación del proyecto arquitectónico con las técnicas —estructura, instalaciones— debe estar presente en todas las etapas y debe concretarse progresivamente de acuerdo con los niveles de definición del proyecto de cada una de ellas.

En una parte del prólogo del libro *Estructuras para arquitectos* (Salvadori y Heller, 1966), Pier Luigi Nervi escribió:

[a] los futuros arquitectos les resultará particularmente útil estudiar este libro a fondo y reflexionar sobre su contenido, pues aun cuando puedan confiar el cálculo de una estructura a un especialista, primero deben ser capaces de inventarlas y darle proporciones correctas. Solo entonces, habrá nacido una estructura sana, vital y, en lo posible, hermosa. (p.12)

En nuestra Facultad de Arquitectura, en 1952, se operó un cambio significativo de plan de estudios. En 1959, año de mi ingreso a facultad, los cursos de Estabilidad de las Construcciones eran cuatro: I, con tres horas semanales; II, III y IV, con seis horas semanales cada uno. En total eran 21 horas semanales de dictado anual, resultando aproximadamente 570 horas teóricas y prácticas.

El 30 de setiembre de 1964 ingresé al Instituto de la Construcción de Edificios [ICE] con 40 horas semanales, encargado de dibujar y elaborar, conjuntamente con los profesores Julio García Mantegazza y Felicia Gilboa, la publicación de la segunda edición de *Tablas y ábacos*, que culminó en abril de 1965.

El 31 de diciembre de 1996, debido a que discrepaba con el plan de estudios recientemente aprobado —que reducía notoriamente la carga horaria de los cursos de Estabilidad—, renuncié al grado 5 de Estabilidad de las Construcciones II y al grado 4 en el Departamento de Estabilidad del ICE, mis dos cargos en ese momento, y me jubilé.

El Consejo de Facultad, por unanimidad, resolvió solicitarme que retornara a uno o a ambos cargos. Acepté solamente reintegrarme al del Instituto de la Construcción a partir de enero de 1997, cargo que desempeñé hasta el 30 de abril de 2019.

A partir del año 1997 se «semestralizaron» los cursos, incluidos los de Estabilidad. Paulatinamente, hasta el presente y en sucesivas etapas, se fueron reduciendo los contenidos de los mismos. Actualmente se dictan dos cursos semestrales, Estructuras I y II, que suman, ambos, 210 horas teóricas y prácticas.

Cuando se construían, generalmente, edificios con vigas, pilares y losas —estas, con luces relativamente pequeñas— con mayor cantidad de acero y de baja resistencia, las deformaciones estaban «naturalmente» controladas. Paulatinamente se comenzó a construir con hormigones de mayor resistencia, luces mayores y menores inercias de las secciones. Concomitantemente, han aparecido nuevos problemas estructurales como, por ejemplo, mayores deformaciones en el hormigón armado.

En los últimos años ha aumentado la cantidad de edificios cuyas estructuras principales se diseñan con entrepisos sin vigas. Nos referiremos a estos y, más estrictamente, al problema de las deformaciones.

En este tipo estructural —sin pretensionado— se necesita mayor valor de altura de losa, pues se debe resistir igual carga total en las dos direcciones. Existen valores mínimos de la relación L/h , indicados en normas y textos, y deben aplicarse con suma cautela.

En edificios en altura no son pocas las veces que se retacea el valor de la altura de losa para disponer de un nivel más y esto ha producido, en muchos casos, deformaciones exageradas. En edificios de viviendas u hoteles, por ejemplo, se proyecta con locales de altura libre de 2,40 m y en estos casos la deformación es visible. En otros puede colocarse cielorraso y se la oculta. Existen en nuestro país muchos ejemplos de patologías por esta causa.

Con el diseño de losas pretensionadas puede resolverse el problema antes descrito, ya que se pueden proyectar con una altura un poco menor que las realizadas con hormigón armado.

Pero después de concluido el edificio hay que tomar algunas precauciones, puesto que antes de proyectar una posible reforma que implique una demolición parcial de losas se debe conocer si estas son pretensionadas o no para no afectar los posibles cables. Incluso si se conoce tal existencia debe actuarse con mucha cautela.

A las deformaciones debidas al diseño estructural se adicionan las deformaciones ocasionadas en los estados de carga transitorios originados en el proceso constructivo, que son mayores y tienen consecuencias perdurables.

Este fenómeno puede producirse en diseños de estructuras de entrepisos sin vigas de hormigón, armado o pretensionado, principalmente. Según los procedimientos habituales durante la construcción de tales estructuras, en edificios de varios niveles se distinguen dos tipos de etapas relacionadas con las cargas actuantes: el hormigonado del nivel superior y el desapuntado del nivel inferior. En el transcurso de este procedimiento, cada vez que se desapuntala un nivel, sobre la losa actúan cargas diferentes. Según la cantidad de juegos de puntales, puede calcularse qué proporción de la carga característica —peso propio más implementos y sobrecarga de ejecución es igual a carga de obra— debe soportar cada nivel en cada uno de los pasos sucesivos —desapuntado de cada nivel—.

Para apuntado de tres niveles se demuestra que el mayor valor de carga en la etapa constructiva es de —2,36 x carga en etapa de obra— $\text{daN/m}^2 \approx 1200 \text{ daN/m}^2$.

Este valor, en muchos casos, es mayor que el valor de carga final con la que se proyectó la estructura. Para entrepisos sin vigas es del orden de 730 daN/m^2 .

Como regla general, la diferencia entre la carga sobre los entrepisos durante la construcción y en la etapa final es mayor cuanto mayor es la incidencia del peso propio.

Por todo lo anterior, no se comprende que, aumentando la trascendencia del tema estructural, haya disminuido sensiblemente la cantidad de horas

de dictado de los cursos correspondientes. Temas relevantes como plateas —cimentación mayoritariamente aplicada en los conjuntos de viviendas económicas—, entrepisos sin vigas, hormigón pretensionado, deformaciones, etc., estén ausentes en los cursos de estructura.

Se presentan, a continuación, dos ejemplos representativos de la integración entre proyecto arquitectónico y estructura resistente.

Edificio Aguerrebere

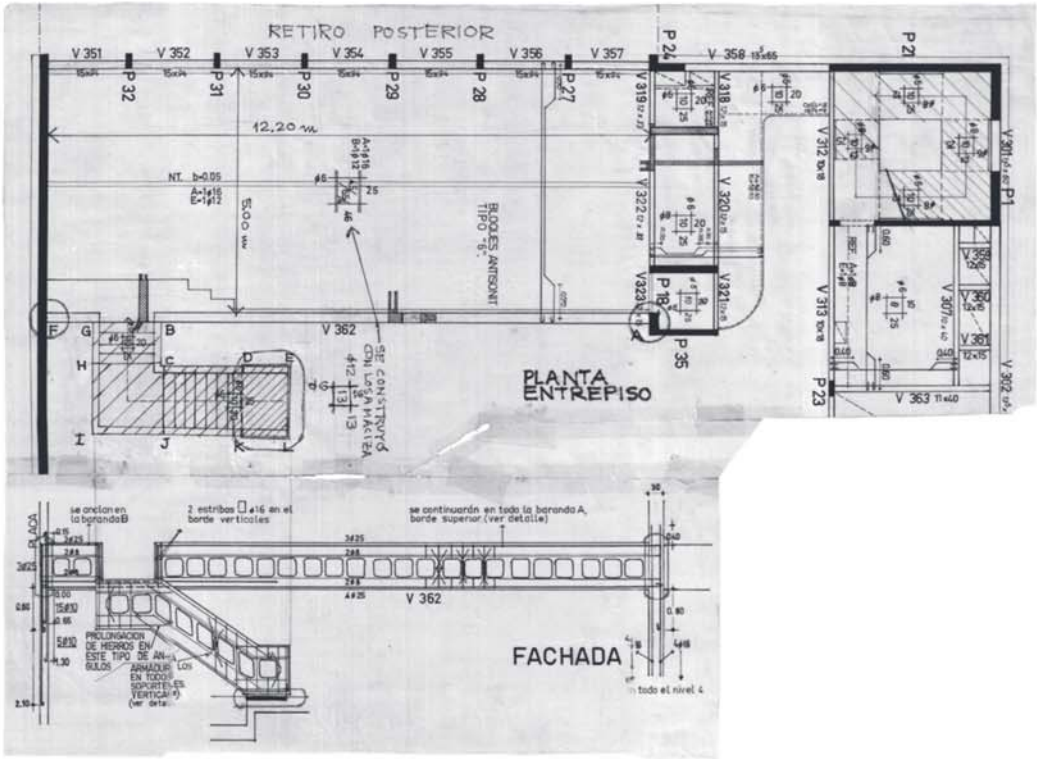
PROYECTO Y DIRECCIÓN	ARQ. HAROUTUN CHAMLIAN. BACHS, ALBERTO CANEN, WINSTON LENS, ROBERTO MARKOVITS, ENRIQUE NEIRO Y ADILIO RIVERO
CÁLCULO DE ESTRUCTURA	ARQS. FELICIA GILBOA Y HAROUTUN CHAMLIAN
EMPRESA CONSTRUCTORA	LUIS A. MARANGES S.A.
ASESOR ESTRUCTURAL DE LA EMPRESA	INGS. PEDRO HETZEL Y COLETTE BENNATI

Entrepiso en planta baja del edificio Aguerrebere ubicado en la calle Constituyente entre Dr. Javier Barrios Amorín y Andrés Martínez Trueba. Las barandas de protección del entrepiso y la escalera de acceso son vigas Vierendeel espaciales: A-B-C-(D-E) y F-G-H-I-J-(K-L) apoyadas en los dos extremos —pilar en A y pantalla en F— y en sector de losa reforzada en el acceso a la escalera (DE-KL). El entrepiso de planta baja se construyó luego de ejecutados tres entrepisos superiores y una vez desapuntalada la planta baja —con altura de unos 5,5 m—. Este entrepiso se construyó en el año 1969.

En la etapa constructiva, cuando se disponían puntales y encofrados, la empresa constructora nos solicitó disponer contraflecha en el centro de la viga V 362 de 12,20 m de luz. No lo habíamos considerado por la «rigidez» de la estructura. A pesar de ello, realizamos un cálculo rápido considerando la baranda apoyada en F y en A. El resultado, como viga, fue una flecha de 1,4 cm, pero indicamos 1 cm. Uno de los proyectistas llevó el dato a la obra y dijo 2 cm, pero el ingeniero asesor del constructor indicó 3 cm.

Antes del desapuntalado y desencofrado se colocó en el centro de la luz, de piso a techo, un puntal con un pequeño alambre rígido horizontal, separado unos 2 cm de la cara superior de la baranda, para medir el «posible» descenso de la losa.

Después de cincuenta años el valor de la contraflecha de 3 cm todavía se conserva. Todo lo mencionado da una idea del temor existente respecto al comportamiento de la estructura. La empresa constructora me solicitó, antes de comenzar el desapuntalado, la firma de un documento que indicaba que asumía la responsabilidad total de la ejecución —que normalmente corresponde al constructor— y que dirigiera con presencia en obra todo el procedimiento. Este se realizó, al cumplirse los 28 días de hormigonado, desde la hora 9 hasta las 17. Se inició con las dos líneas de puntales centrales y cada 20 minutos se retiraban otras dos de cada lado hasta llegar a los extremos.



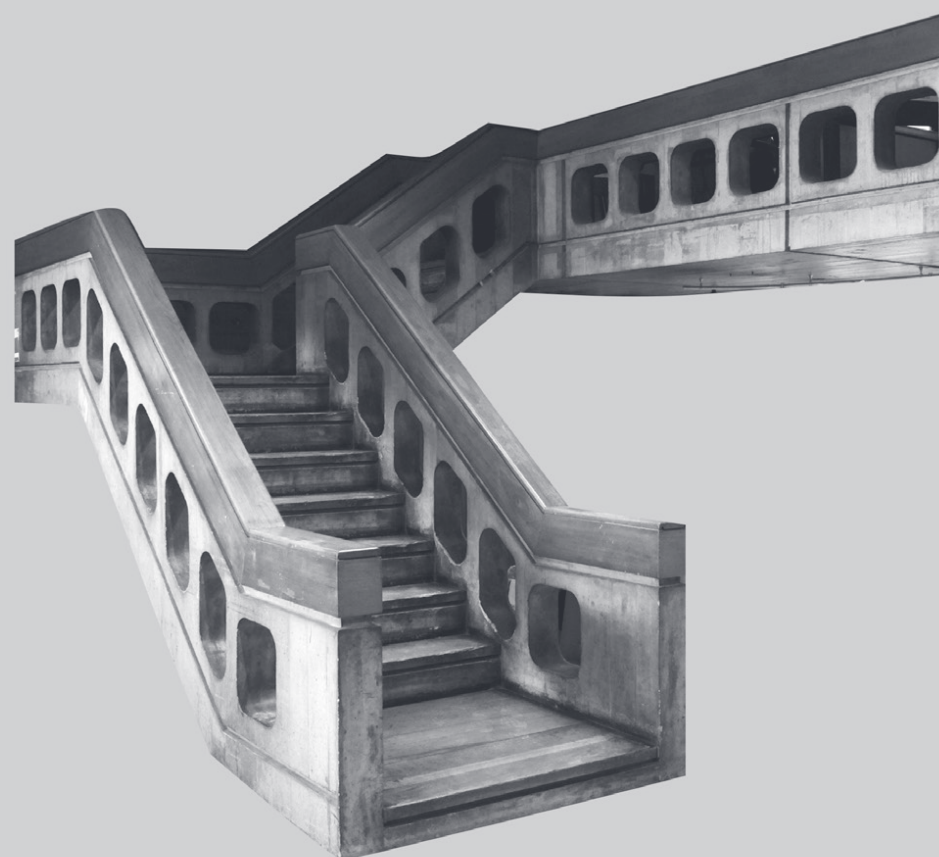
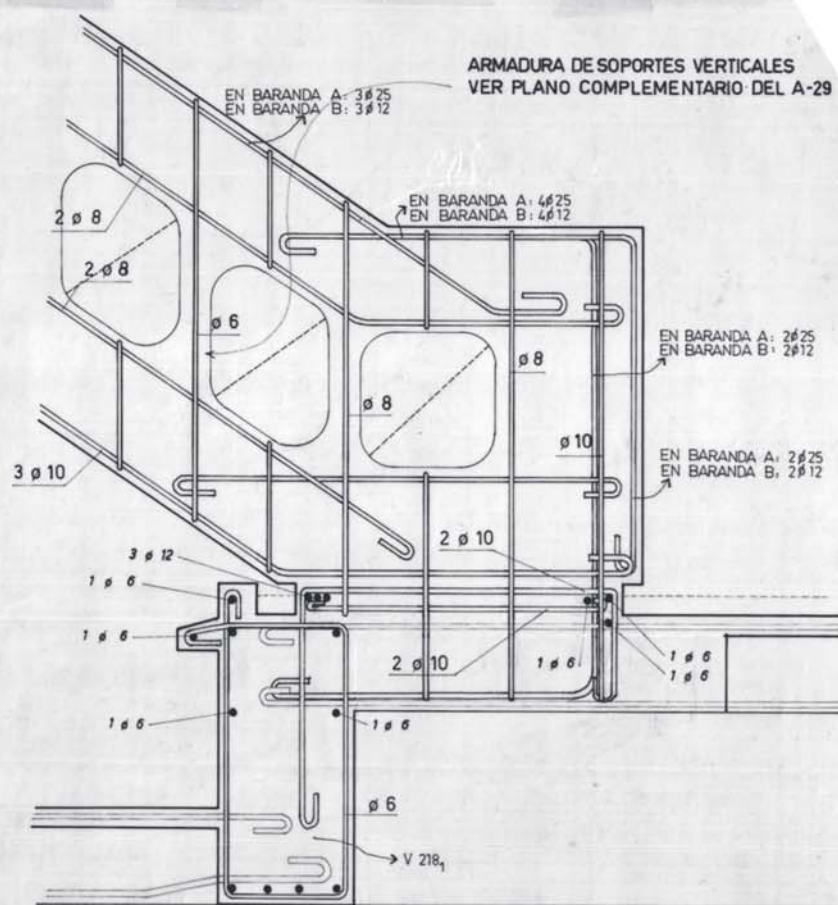
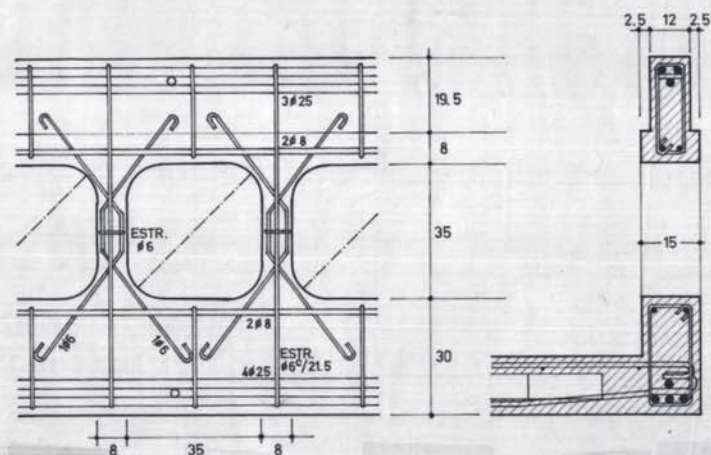
Ese temor no pasó inadvertido al propietario Enrique Aguerrebere, quien invitó a concurrir a la obra al ingeniero Eladio Dieste, comentándole todo lo anterior. El ingeniero le dijo que se trataba de un alarde estructural.

Con el correr de los años comprendí cabalmente los temores del constructor y de los reconocidos profesionales ingenieros Pedro Hetzel y Colette Bennati así como el riesgo que implicaba mi decisión de asumir totalmente la responsabilidad. También debo reconocer que en mi fuero íntimo agradecí enormemente que se respetara mi resolución, que resultó exitosa.

Este ejemplo es el primer edificio en altura que calculé, un año después de culminada mi carrera, y casualmente fue el más complejo de mi tarea profesional de más de cincuenta años.

Las obras se iniciaron a fines de 1967. Pero en el primer semestre de 1968 realicé el curso de Estudios Mayores de la Construcción —diploma— en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento en Madrid, España. A mi retorno, las obras de cimentación ya habían sido realizadas.

El edificio Aguerrebere consta de dos subsuelos, planta baja de dos niveles y entrepiso, un primer piso con sobrecarga de tarros de pintura de 1400 daN/m², siete pisos y dos *penthouses* con destino a vivienda. La luz libre de 12,20 m se mantiene en todos los niveles. La fachada es de hormigón a la vista, siendo el segundo ejemplo así construido en nuestro país.



Edificio UGAB

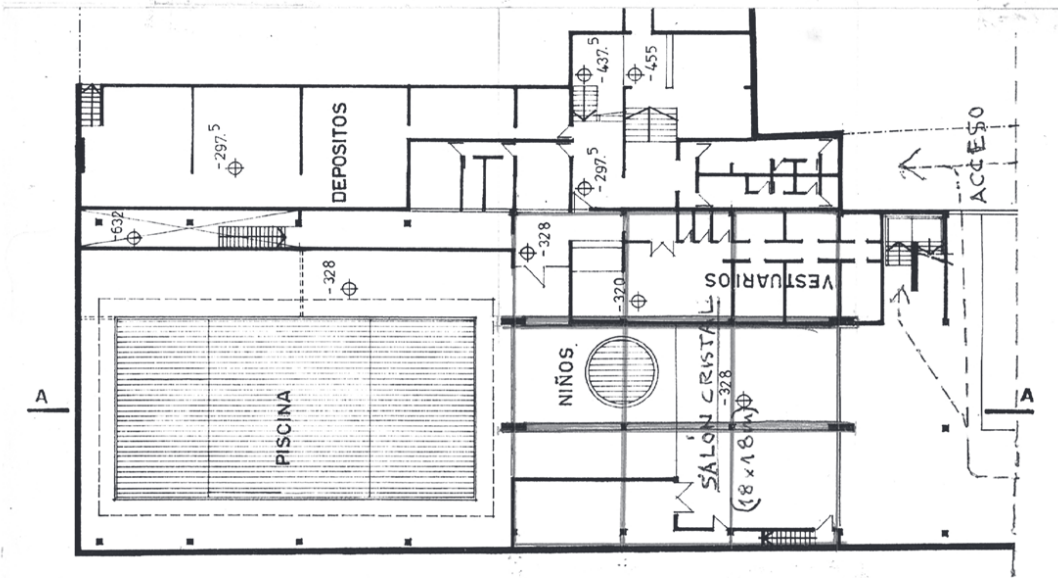
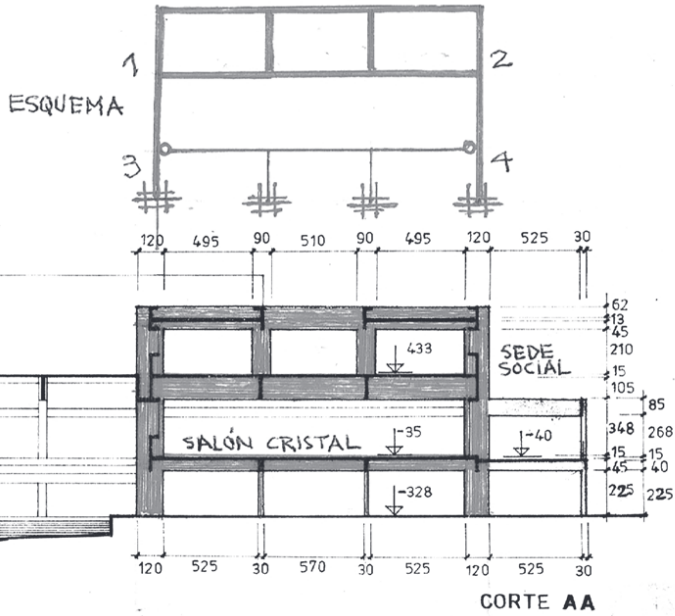
PROYECTO	ARQS. HAROUTUN CHAMLIAN, JUAN CHAMLIAN Y DIGRAN MAISIAN
EMPRESA CONSTRUCTORA DEL SECTOR QUE SE ESTUDIÓ	GORI Y MOLFINO S.A.

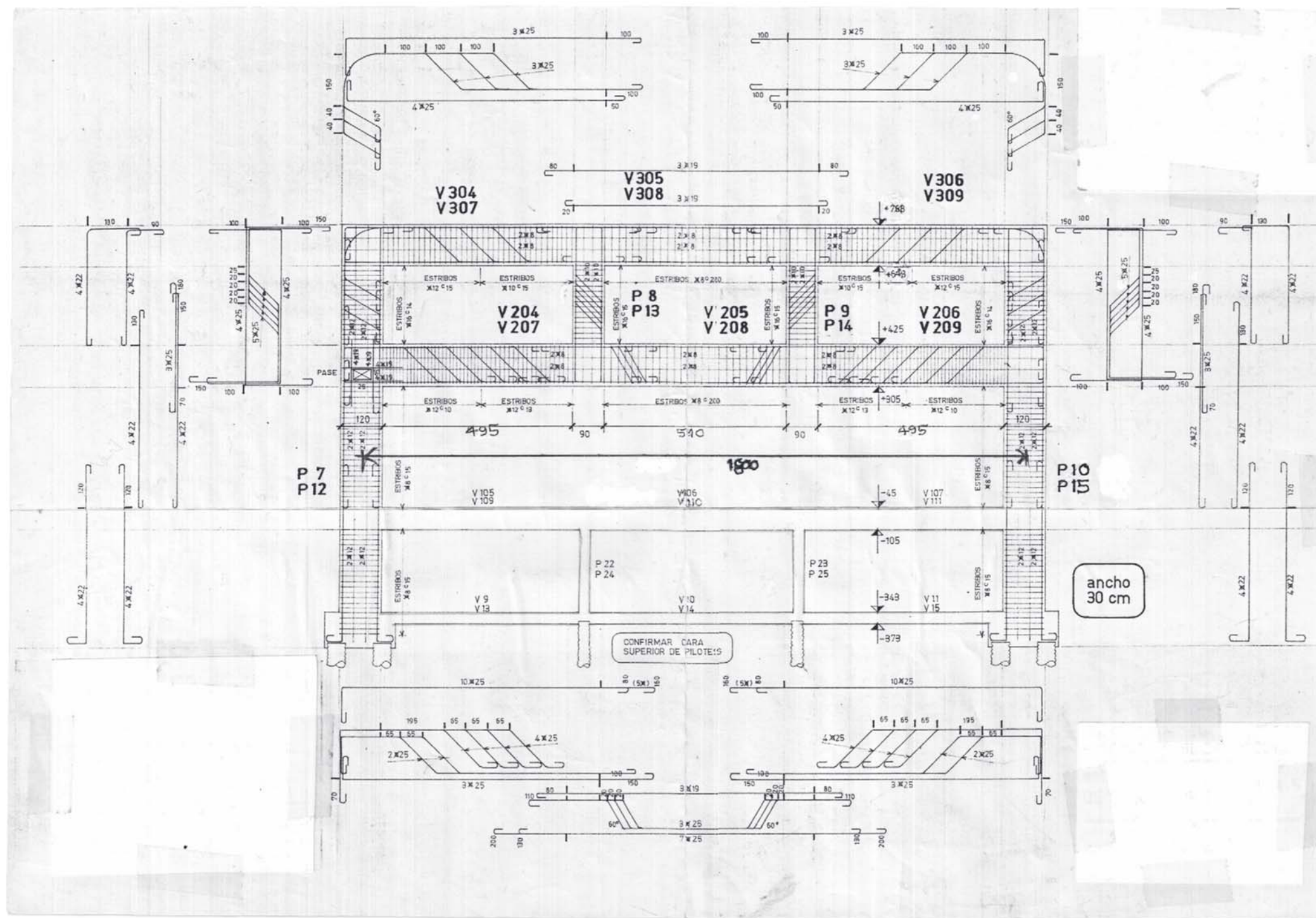
El segundo ejemplo corresponde a un sector del conjunto educativo y social de la Unión General Armenia de Beneficencia, ubicado en la avenida Agraciada esquina avenida Joaquín Suárez. La construcción de todas las obras, de unos 3500 m², se realizó entre 1972 y 1984. El sector parcial que trataremos corresponde a piscina, sede social y comisión directiva.

El cálculo estructural, realizado hace treinta y cinco años, fue complejo. El Salón Cristal es un local de 18 m x 18 m, con pilares ubicados solamente en su perímetro. Se plantearon dos líneas de apoyo principales —estructura Vierendeel— según se observa en las figuras. Las líneas 1-2 y 3-4 deben estudiarse con estados de carga de la sobrecarga (ver el esquema).

Las vigas Vierendeel en todos los niveles, tal como se indica en el esquema, no se visualizan si estamos ubicados en el Salón Cristal o en la planta alta.

El cálculo de la estructura se realizó con procedimientos manuales y con ayuda de calculadora.







El estado de carga con sobrecarga variable en la línea 1-2 se realizó con el método de Cross. Para distribución de sobrecarga simétrica el procedimiento numérico es sencillo. Pero con sobrecarga de distribución variable en sus tres tramos resulta complejo, pues se trata de una estructura resuelta por la aplicación de un segundo Cross con «desplazamiento». Se produce, en el transcurso de la operativa, un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, complejo de resolver con los recursos matemáticos disponibles en la década de los 80.

Como en el ejemplo del edificio Aguerrebere, también aquí debió cuidarse el procedimiento de desapuntalado y desencofrado. Se actuó comenzando por la parte central y luego simétricamente hasta los apoyos extremos. La variante en este caso es que se retiraron los puntales de dos niveles superiores de forma simultánea.

Conclusiones

Debe existir integración del proyecto arquitectónico con la estructura resistente en todas las etapas de elaboración del producto final: esbozo, anteproyecto y proyecto. Los dos ejemplos presentados, muy particulares, son representativos de la integración proyecto-estructura.

Los contenidos de los cursos de Estabilidad de las Construcciones a partir del plan de estudios iniciado en 1952 se mantuvieron hasta 1996. A partir de 1997 se operaron transformaciones en los cursos, en varias etapas, de tal manera que actualmente representan recortes significativos de los contenidos. Esto no concuerda, entre otros aspectos, con la realidad de diseños de estructura que se realizan desde 1980, aproximadamente, en los cuales el profesional arquitecto, con título único, está habilitado como director de obra.

Bibliografía

- Chamlian, H. (2006). Algunas recomendaciones en el proyecto de estructuras de hormigón armado en casos frecuentes. *Algunas recomendaciones en el proyecto de estructuras de hormigón armado* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 5-20.
- Chamlian, H. (2006). Recomendaciones para la determinación de acciones y solicitudes en dos tipos estructurales frecuentes. *Algunas recomendaciones en el proyecto de estructuras de hormigón armado* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 21-30.
- Chamlian, H. (2011). Losas nervadas compuestas por elementos prefabricados de hormigón armado y hormigón «in situ». *Vademecum del constructor 2010-2011* [publicación bienal del Mensuario del Constructor], pp. 232-234.
- Chamlian, H. (2012). *Despiece de armaduras*. Montevideo: SI CEDA.

- Chamlian, H. (2012). ¿Platea de cimentación o contrapiso armado?. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (20), pp. 80-84.
- Chamlian, H. (2015). Las nuevas deformaciones de la estructura. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (31), pp. 80-82.
- Chamlian, H. (2017). Norma UNIT 50:84 y la acción del viento en las construcciones. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (39), pp. 66-68.
- Chamlian, H. (2018). Norma UNIT 1050:2005, Proyecto y ejecución de estructuras de hormigón en masa o armado. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (44), pp. 68-70.
- Chamlian, H. (2019). Dos ejemplos en la práctica de la convivencia de pilotes y patines. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (48), pp. 100-102.
- Chamlian, H. (2019). *Estructuras de Hormigón Armado – Norma UNIT 1050*. Montevideo: SI CEDA.
- Chamlian, H. (2019). *Hormigón pretensionado con armadura postensada*. Montevideo: SI CEDA.
- Chamlian, H. (2019). *Proyecto y Ejecución de dispositivos de cimentación*, Montevideo: SI CEDA.
- Chamlian, H. y Borthagaray, J. (2007). Depósitos de agua. Paralelepípedos de uno y dos compartimentos. Montevideo: SI CEDA.
- Chamlian, H. y Chamlian, D. (2010). Intervenciones en muros de mampostería existentes. *Patologías e intervenciones* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 13-28.
- Chamlian, H. y Kliche, J. (2004). Un caso interesante de errores de proyecto y ejecución en una estructura de hormigón armado. *Patologías e intervenciones* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 1-12.
- Chamlian, H. y Mussio, G. (2018). Un ejemplo de la nobleza del hormigón. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (43), pp. 63-65.
- Chamlian, H., Mussio, G. y Romay, C. (2005). Plateas de cimentación. Recopilación de material bibliográfico. Montevideo: SI CEDA.
- Salvadori, M. y Heller, R. (1966). *Estructuras para arquitectos*. Buenos Aires: La Isla.