

1

Proyecto Dom-ino: el sistema estructural

ELENA CORRES. El estallido de la guerra en 1914 supone un hecho histórico clave en la gestación de un sistema arquitectónico que surgirá y se desarrollará bajo unas premisas de entorno concretas. Los inicios del planteamiento Dom-ino por parte de Jeanneret, desde su ciudad natal de La Chaux-de-Fonds, surgen de forma paralela a las primeras embestidas del conflicto.

Lo que el entorno bélico estaba fraguando era una mayor racionalización del proceso constructivo, que hiciera posible actuaciones de reconstrucción a una escala global. En este contexto, y por razones tanto sociales como económicas, parecía que cualquier planteamiento innovador que afectara no sólo a los materiales de construcción sino al proceso de la misma, y que afrontara la situación de manera eficaz y resolutive, tendría garantía de éxito.

Esta situación, aunque no llegó a afectar a Jeanneret de manera directa, por encontrarse entonces en el territorio neutral suizo, marcó el inicio del desarrollo. Una propuesta cuyo germen puede situarse años atrás, como fruto de la colaboración de Jeanneret con un amigo de juventud, Max Dubois, ingeniero civil licenciado en Zúrich.

Al conocer, en octubre de 1914, los primeros efectos devastadores de la guerra, Jeanneret y Dubois, ambos en Suiza, procedieron en diciembre de ese mismo año al desarrollo de una primera idea (que habían denominado "propuesta-monolito"), como un verdadero sistema estructural basado esencialmente en la construcción monolítica y con el objetivo claro de dar respuesta al problema urgente de la reconstrucción de las ciudades ya desde el comienzo de la guerra.

Asimismo, el carácter eminentemente práctico de Jeanneret le condujo a la rápida visión de un verdadero negocio basado en la explotación de un sistema arquitectónico que, de ser factible, sería masivamente utilizado. Un negocio, favorecido por las especiales circunstancias y que justificó el primero de los objetivos marcados por Jeanneret: la obtención de una patente que, de manera oficial, reconociera la autoría y propiedad de aquel sistema arquitectónico.

1. PROPUESTA. EL MONOLITO DE 1912 COMO PUNTO DE PARTIDA ESTRUCTURAL

En diciembre de 1909, durante una breve estancia en su ciudad natal, Dubois dio a su amigo Jeanneret una copia de su traducción del *Tratado de Hormigón* de Mörsch, de 1906, publicado aquel mismo año por la editorial Berangers. Hasta abril de 1910, Jeanneret permaneció solo, en una vieja granja del Jura, estudiando el libro con la base de conocimientos sobre el hormigón armado adquirida en su estancia con Perret. El interés despertado fue tal que incluso intentó lograr, sin éxito, un puesto en la oficina de Mörsch en Neustadt, de la que Dubois le había enseñado algunos trabajos.

Dos años después, en febrero de 1912, Jeanneret retomó la relación y comunicación con Dubois, quien trabajaba como secretario de la compañía parisina "Société d'Application Industrielle" (SEIE) y que, de modo suplementario, había creado su propia compañía bajo el nombre de "Société d'Application du Béton Armé" (SABA) para promover la construcción en hormigón. Comenzó así una relación, mantenida principalmente por carta, entre ambos amigos de juventud y basada en un objetivo común: el empleo del hormigón armado.

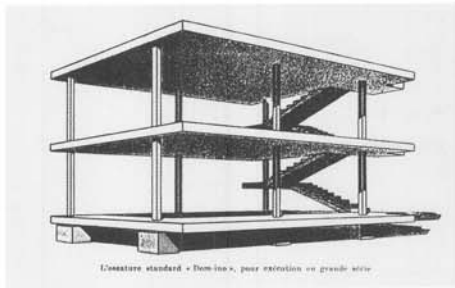
Parece ser que, en una primera etapa de las discusiones, Dubois sugirió a Jeanneret que "el monolito de Mörsch" para la construcción de fábricas podría ser también adecuado para las casas. Con el título de "Edificios de Construcción Monolítica", Mörsch había englobado en su *Tratado de Hormigón* un sistema de construcción basado en el empleo generalizado del hormigón armado:

Entendemos con esta denominación las construcciones peculiares de hormigón armado cuyos elementos de carga, suelos, vigas y columnas están formados exclusivamente por hormigón armado. A causa de su ejecución uniforme, bajo el punto de vista de la construcción, los apoyos van rígidamente ligados a las vigas y el esqueleto de carga adquiere de este modo un carácter monolítico rígido¹.

—1 E. Mörsch, *Teoría y Práctica del Hormigón Armado*. Gustavo Gili, Buenos Aires 1952, pp 60-88. —2 Joyce Lowman, *Le Corbusier: 1900-1925. The Years of the Transition*, Ph. D. Thesis, directed by R. Banham and A. Forty, University of London, London 1979, Chapter 4, Mentors: Architectural Practice and Max Dubois, p 276. —3 MD-C-28 (*Carnet 1915*, FLC 120). Descripción de la futura patente por Jeanneret en 1915.



1



2

1. Traducción francesa del *Tratado de Hormigón Armado* de E. Mörsch, realizada por Max Dubois. 1909.

2. MD - OC - 1.5, (*Œuvre Complète*, p. 23). Perspectiva cónica del conjunto estructural en la que se muestra la posición retrasada de los pilares con respecto al plano de fachada.

Un año más tarde, en enero de 1913, Jeanneret daba forma escrita a aquel primer concepto en una carta a Dubois, en la que animaba a éste a desarrollar aquel primer esbozo conceptual.

Vuelvo a mi propuesta "Monolito"...

Tu "casa monolito", casas perfectamente diseñadas, bien calculadas, a su precio justo...

La arquitectura no se ocupa de hacer una fábrica que tenga una buena fachada, sino de hacer modelar las casas de forma parecida a un "monolito"...

La Chaux-de-Fonds. 17 de Enero de 1913².

De este modo, y dos años antes del concepto Dom-ino, Jeanneret fijaba ya el objetivo fundamental del mismo: la transposición de un método estructural y constructivo a las unidades de tipo doméstico.

2. LA ESTRUCTURA DOM-INO. PLANTEAMIENTOS INTRÍNSECOS: LIBERTAD Y CONTROL

Jeanneret planteaba así la esencia de una edificación según una serie de premisas teóricas. Sin conocer exactamente si en el momento inicial del mismo contaba o no con los conocimientos básicos del hormigón armado que le permitieran llevar adelante todo un sistema estructural y constructivo, varios son los conceptos proyectuales que, desde el punto de vista estructural pueden sacarse de todo el desarrollo. Tras aquella primera definición, recogida en su cuaderno de croquis, y en lo que a temas estructurales quedaba referido, se encuentran multitud de aspectos susceptibles de ser analizados.

Estructuras monolíticas de hormigón armado lisas sin muros. Separación de funciones sobre cimentación de 6 pilares. Permitted por el género de su cálculo de resistencia, en la construcción no importa en qué punto se encuentran los paramentos de fachada o del interior³...

Aun cuando pudiera parecer una excesiva reducción de todo un proyecto estructural, dos son las palabras clave, en mi opinión, que validan el planteamiento para cualquier consideración de tipo dimensional o estructural: la libertad y el control.

Aunque, en principio, ambos conceptos pudieran ser considerados contradictorios, en ellos radica la singularidad del sistema, dadas las circunstancias particulares para las que fue planteado: su empleo de forma masiva.

LA LIBERTAD PROYECTUAL FAVORECIDA DESDE LA CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL: LA SEPARACIÓN DE FUNCIONES

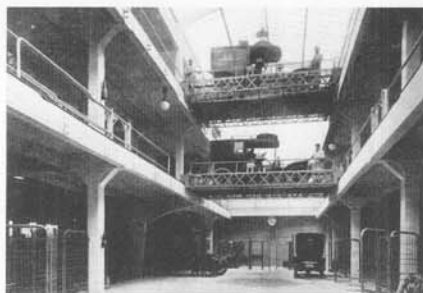
Bajo este primer concepto de "libertad", pretenden ser obviadas todas las consecuencias negativas que pudieran surgir tras un primer planteamiento del sistema. La libertad, en sentido estructural, viene determinada por el hecho de que la exacta definición del esqueleto generador del sistema no pretende condicionar al resto de los componentes arquitectónicos del mismo. Como idea clave de esta concepción: "la separación de funciones". Con ello, el control sobre una de ellas, la función portante, no coarta al resto: la de cierre o la divisoria. En este sentido, es bastante reveladora la denominación del sistema estructural como una "osamenta". Esta palabra, de origen francés (*ossature*), procede, como otras muchas denominaciones estructurales, de la concepción más intuitiva del término, que será utilizada de manera generalizada tanto por los tratados franceses de hormigón de la época como por los técnicos en hormigón hasta muchos años después.

Perret, concretamente, hacía especial hincapié en la génesis del vocablo, extrayendo de éste la esencia misma del empleo del hormigón armado:

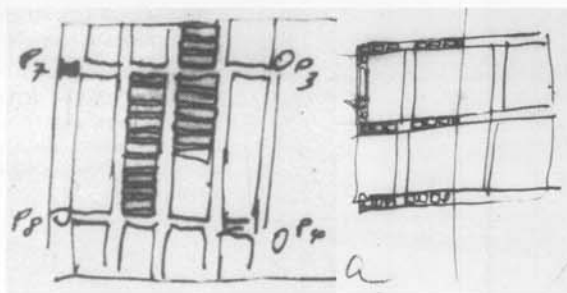
Los grandes edificios de nuestra época tienen una osamenta, una estructura de acero o de hormigón armado. La osamenta es al edificio lo que el esqueleto es al animal; como el esqueleto del animal, es rítmica, equilibrada y simétrica, contiene y sostiene los órganos más variados y más diversamente situados. De la misma forma, la estructura del edificio debe ser compuesta, ritmada, equilibrada, también simétrica⁴.

Esta idea debió ser recalcada de forma insistente por el maestro francés a Jeanneret, quien, en uno de esos pasajes del *Dictionnaire Raisoné de l'Architecture*, de Viollet, hace anotacio-

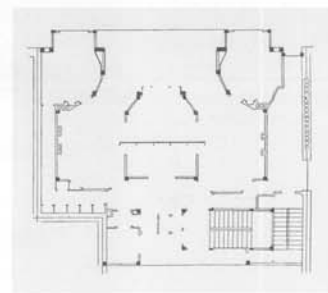
— 4 A. Perret, *Contribution à une théorie de l'architecture*, Société d'Etudes Architecturales, Paris 1952.



3



4



5

nes muy en la línea del discurso de Perret. Concretamente, en el pasaje en que Viollet describe pormenorizadamente la misión de los arbotantes del estilo gótico, aparece la siguiente anotación, haciendo referencia a la llamada en francés *carcasse*, y que constituyó la clave del discurso de Perret:

Todas estas líneas hacen ver que todo ese arte vive por su esqueleto. Es también un monolito, una jaula de alambre, donde las presiones verticales y los empujes oblicuos dan lugar al cemento de los bloques romanos; y a los redondos del acero del hormigón.

Ahora bien, me dice Aug. Perret, sostened el esqueleto y sostendréis el arte (ese que, si ha sido bien entendido, no puede ser falso en absoluto).

Perret, incluso, al concebir sus estructuras basadas en la articulación de elementos lineales horizontales y verticales, las denominaría "jaula vista". Para Perret, ese esqueleto, esa jaula, representaba la forma estructural esencial que yacía bajo cada edificio.

Así, cuando una primera visión del planteamiento parecería relegar al arquitecto a labores de mera supervisión de ejecución de una célula aparentemente definida, la particular concepción del sistema estructural permite dar paso al diseño del resto de los elementos arquitectónicos: en definitiva, a la libertad proyectual. Una independencia de funciones otorgada por la propia concepción de los pilares y las losas componentes de la estructura, que permite dicha separación, básicamente por la concentración de la masa portante de la misma en puntos de apoyo determinados (los pilares), y que suponen la única restricción proyectual del conjunto. Su especial disposición, retirados de la línea de fachada, así como la concepción de las losas, lisas por arriba y por abajo, hace que la propia libertad o independencia proyectual se manifieste en tres niveles básicos del conjunto:

a. Libertad estructura-cerramiento: libertad en alzado

La especial disposición de los pilares en un plano retirado con respecto a la fachada deja el plano de ésta libre para ser conformada sin ninguna restricción en cuanto al tamaño y la disposición de los huecos. La ausencia en el plano de la misma del entramado es-

tructural permite la conformación y dimensión constructiva del propio paño de cerramiento.

La cuestión tiene su referencia más clara en el Garaje Ponthieu de Perret, de 1905, donde se emplea esta particular disposición de los puntos de apoyo. Así, sobre la calle interior central del mismo asoman los forjados, cuyos pilares sustentantes extremos quedaban retranqueados con respecto a la línea de borde. Las intenciones de Perret para justificar esta particular disposición se basaban en el aprovechamiento de la superficie en la planta alta del garaje sin constreñir la necesaria anchura de la calle central, dispuesta para el paso de vehículos, en la planta baja.

Una solución interior, la de Perret, para la que Jeanneret plantea un salto cualitativo importante, llevando dicha solución al exterior, haciéndola válida para la resolución de la fachada y disponiendo así el paño de cerramiento sobre la línea de borde del forjado. El matiz especulativo del planteamiento de Perret supone una de las principales cualidades del sistema Dom-ino: "Particularidad: los pilares del interior no aparecen en fachada"⁵.

Con ello, el plano de fachada, libre de todo requisito estructural, se plantea susceptible de todo tipo de disposición, composición y diseño, abriendo así el campo proyectual del arquitecto.

b. Libertad estructura-tabiquería: libertad en planta

La concentración de la función portante en determinados puntos de la planta deja el resto completamente libre. Así, la organización de la misma únicamente estará sometida a la posición de dichos puntos. Los elementos de partición, liberados de toda otra misión que la meramente divisoria de espacios, pueden plantearse bajo tantas combinaciones como el diseño del arquitecto y el programa de necesidades lo requiera: "Distribución interior a realizar más adelante"⁶.

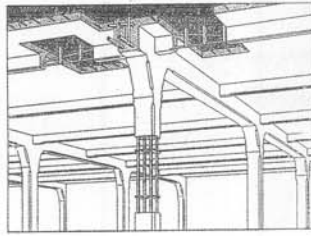
La primera y principal referencia cronológica del planteamiento en cuestión surge del proyecto de la Rue Franklin de Perret. En él, el esqueleto, esta vez a modo de entramado de vigas y pilares, permitió al maestro la disposición de los elementos de partición, incluso como paneles móviles. Completamente desinhibidos éstos del esquema estructural, con una distribución de la planta susceptible de ser



6

CONSTRUCTIONS EN BÉTON ARMÉ

Inaltérables et à l'épreuve du feu
Système HENNEBIQUE, Brevet S. G. D. G.



7

3. Auguste Perret. Calle interior del Garaje Ponthieu, donde puede apreciarse cómo el forjado de la planta primera rebasa la línea de pilares.
4. MD - A - 010 (FLC 19135). Croquis del planteamiento del forjado con respecto a la posición de los pilares. La sección muestra la intención de Jeanneret de plantear una fachada independiente de la estructura.
5. Planta esquemática tipo del edificio de la Rue Franklin de Perret. Disposición de los puntos de apoyo con respecto a los paños de partición y al cerramiento de fachada.
6. Casa Jeanneret-Perret, 1912. Cuatro apoyos centrales comparten la misión portante con los muros perimetrales.
7. Construcciones en hormigón armado. Inalterables y a prueba de fuego. Sistema Hennebique, patentado SGD.G.

modificada y variada dentro del mismo esquema mediante el simple movimiento de dichos paneles, suponía, desde este punto de vista, un paso más allá del planteamiento de Jeanneret para el proyecto Dom-ino. Ya con anterioridad, Jeanneret había aprovechado la diáfanidad en planta resultante de la disposición de determinados puntos de apoyo. El primer intento liberador de la planta puede situarse en la casa Jeanneret-Perret, de 1912, en la que la disposición de cuatro apoyos puntuales de hormigón armado comparten función portante con el muro perimetral. Una solución combinada que había favorecido asimismo la reducción de los elementos de partición a su mínima expresión, elementos ligeros con una única misión: la compartimentación de espacios. Sin embargo, ni Perret ni Jeanneret, en ninguno de los ejemplos citados, consiguieron llevar este concepto estructural de liberación de la planta hasta sus últimas consecuencias. Así, los elementos divisorios no llegaban a independizarse por completo de la posición de los pilares a nivel de planta. Los elementos de partición se disponen siempre acometiendo los pilares, cuya posición no llegó nunca a ser completamente aislada, es decir los pilares no se colocaron en posición exenta. Tendrán que pasar algunos años hasta encontrar la última consecuencia de este espíritu liberador: el pilar exento en planta.

Se intuye ya aquí el germen de la futura "planta libre", uno de los cinco puntos de la nueva arquitectura para Le Corbusier.

c. Libertad estructura-estructura: libertad en sección

Jeanneret hace especial hincapié en que el nuevo sistema arquitectónico propone la realización de losas lisas por ambas caras. Junto a posibles consideraciones estéticas, lo que con dicha disposición se está proponiendo no es sino una evidente reducción de los condicionantes de tipo estructural: "estructuras monolíticas de hormigón armado lisas sin muros"⁷ (1915); "se trata de un material de características especiales, que permite crear losas completamente lisas por arriba y por abajo"⁸ (1929).

El hecho conduce asimismo a uno de los puntos más característicos de la propuesta. Así, frente a anteriores soluciones nervadas en la resolución de las losas de forjado, Jeanneret propone en su

Dom-ino la losa plana. Una solución que obviaba las evidentes restricciones de las soluciones nervadas, cuya conformación a base de nervios longitudinales suponía el menoscabo del plano inferior de las mismas, sujeto a dicha imposición formal.

Los nervios inducen un orden (su orden) a los espacios que amparan. En ausencia de éstos, no existirá ya más coerción compositiva. Es, en definitiva, la consideración del techo como la "sexta pared", de características ahora idénticas a las del suelo o más abstractas aún, ya que los techos pueden ser lisos, mientras que los suelos, al tener solería, quedan sometidos al orden de ésta (el establecido por su despiece).

EL CONTROL DE LA UNIDAD ESTRUCTURAL BÁSICA A TRAVÉS DE LA ESTANDARIZACIÓN

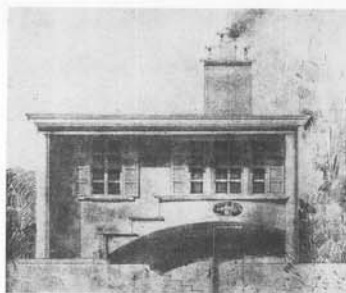
El conjunto debía ser controlado por sus promotores, desde el primer momento de su concepción hasta el último momento de su construcción, como herramienta fundamental del éxito y rapidez de ejecución en una actuación unitaria. De esta forma, el control de cada célula supondrá el control del conjunto.

Con ello, Jeanneret plantea una célula estructural concebida con planteamientos industrializados, relegados hasta entonces al campo ingenieril, abordando la producción seriada de la misma. Una estructura reducida a sus mínimos elementos, losas horizontales sujetas por pilares, cuyo control supondrá el de la célula básica, por lo que serán concebidos como elementos estándar, listos para ser seriados. De esta forma asumen el concepto de estandarización tanto la unidad de la estructura como cada uno de sus elementos. Una estandarización ligada a desarrollos y producciones industriales y sobre la que se plantea la génesis de toda la estructura, combinada a su vez con esa concepción "monolítica" del conjunto. Una visión, la del monolitismo, por otra parte, relacionada conceptualmente con el planteamiento de una ejecución in situ.

Dos experiencias anteriores resultarían en este caso fundamentales para Jeanneret:

· La "Casa-botella" de Perret, de 1908, también concebida para

—7 Ibid.—8 Le Corbusier et Pierre Jeanneret, *Œuvre Complète 1910-1929*, Girbserger, Zürich 1930, p. 23.



8



9



10

ser realizada en serie. En ésta, la prefabricación sólo afectaba a determinados elementos (piezas de encofrado sobre las que se vertía el hormigón in situ). Por ello, desde el punto de vista estructural, la propuesta de Jeanneret no supone un gran avance sobre lo propuesto por Perret en 1908.

Las "Casas Voisin", a las que Jeanneret habría tenido acceso en su visita al Salón de la Aviación de París, en 1909. Estas casas, propuestas por los hermanos Voisin, fabricantes de aviones, sí lograban dar un paso más que Jeanneret y Perret, planteando el desarrollo seriado global. Las casas se realizaban en su totalidad, estructura y acabados, en fábrica, para ser posteriormente distribuidas en su lugar de emplazamiento final.

Jeanneret, incluso en la publicación del sistema estructural, en la *Obra Completa* de 1929, hacía referencia a un "esqueleto fabricado con elementos estándar"⁹. Dicha estandarización de los elementos realizados mediante el "colado" in situ del hormigón situaría la solución en un estadio similar al planteado por Perret en su "Casa-botella" y a un nivel anterior al planteado por los hermanos Voisin para sus "casas prefabricadas". Toda esta serie de ideas, a modo de síntesis del conjunto estructural, respondía a algo más que a la resolución más o menos correcta de una estructura concreta; se trataba del planteamiento de una *ossature*, determinada de antemano, que limitara, sin embargo, lo menos posible la actuación del arquitecto. En definitiva, de un modelo estructural como síntesis de una serie de intuiciones de carácter más profundo que las meramente estructurales. El análisis de dichas ideas y de cada uno de los componentes conducirá al entendimiento del conjunto y a la comprobación de su validez como célula estructural básica para una producción seriada.

3. LA SOLUCIÓN ESTRUCTURAL

Se propone a continuación el análisis de cada uno de los elementos que componen el sistema estructural. Elementos estructurales —forjados, soportes y vigas— conformados sobre la base del empleo de tres componentes básicos —acero, hormigón y piezas especiales—.

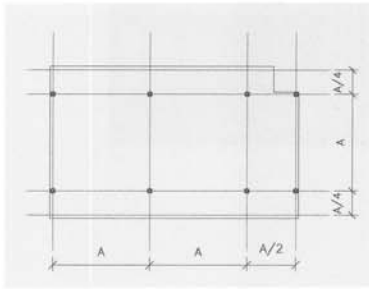
Tras el primer estadio estructural, relativo a los propios materiales, se inicia el estudio de cada uno de los elementos.

EL ESQUEMA ESTRUCTURAL

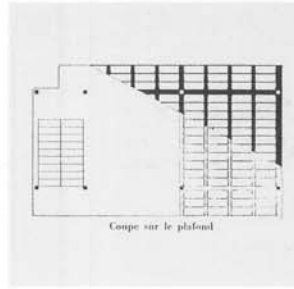
Jeanneret definía la estructura Dom-ino como un "esqueleto". Un esqueleto estructural concebido en su totalidad en hormigón armado, de planta rectangular, levantado levemente del suelo mediante ocho pozos de cimentación de los que surgen ocho pilares que soportan los forjados de piso y la escalera. Sobre los elementos de cimentación apoya el primer forjado (el correspondiente al primer nivel), de los tres que conforman el conjunto estructural. Los forjados vuelan por dos de sus lados, los correspondientes a la mayor longitud del rectángulo, más allá de la línea de pilares.

Todo el conjunto estructural está conformado de acuerdo con una serie de medidas proporcionadas geoméricamente, que adquiere la función de módulo generador. Concretamente, en todo el proceso de desarrollo del mismo, se tantearon tres series a modo de ley intrínseca del modelo estructural. De tal forma que la planta de estructuras es generada conforme a una dimensión básica: la distancia entre apoyos (A), cuyos submúltiplos originarán tanto el vano correspondiente a la losa de escalera (A/2) como la medida correspondiente al vuelo (A/4).

En este sentido, el orden de luces elegido para el conjunto ha tenido en cuenta la seguridad, ya que las posibilidades resistentes del hormigón armado habrían permitido mayores dimensiones, tanto de vanos como de vuelos. La estructura podría haber sido resuelta perfectamente mediante un entramado de madera. Lo mismo sucede en el sistema de luces empleado por Perret. En ambos casos, la inseguridad con respecto a la capacidad resistente y a la durabilidad del material en cuestión remitió a maestro y alumno a una escala dimensional muy inferior a la que las posibilidades técnicas de éste permitían. Así, aunque la estructura Dom-ino no presenta un gran avance en cuanto a la dimensión concreta de los vanos estructurales, con respecto a los propuestos por Perret, su disposición reticular sí es un paso adelante con respecto a la del maestro. La dis-



11



12

8. Auguste Perret. Casa en serie, "Casa-botella". Alzado. "Esthétique de l'ingénieur. Maisons en Série", de Le Corbusier-Saugnier.

9. Hermanos Voisin, Fábrica de casas Voisin. *L'Esprit Nouveau 2*, "Les Maisons Voisin".

10. Perspectiva general del sistema estructural.

11. Esquema general de la estructura en planta. Modulación de la retícula de pilares y contorno del forjado.

12. Planta de estructura establecida por Jeanneret en la *Œuvre Complète*.

tribución de los puntos de apoyo en Perret, más guiada por aspectos distributivos que por los estructurales propiamente dichos, suponía una gran dispersión en planta de la estructura, en lo que a la dimensión de los vanos se refiere. Ello producía una consecuencia inmediata: la falta de control sobre el comportamiento estructural del conjunto.

Perret no había llegado aún a la esencia del concepto de "planta libre": una estructura liberada de cualquier restricción en cuanto a su disposición en planta. Así, el esquema estructural de la Rue Franklin y del Garaje Ponthieu surge directamente de la proyección de la distribución de la planta, por lo que cualquier variación sobre la misma invalidaría inmediatamente el esquema estructural. Frente a ello, el esquema estructural reticular, de la Dom-ino concebido per se, daba lugar a múltiples disposiciones y combinaciones en planta, con la validez estructural como garantía del conjunto.

LOS PÓRTICOS ESTRUCTURALES: PILARES Y VIGAS

Dispuesto de esta forma, el esquema estructural en planta puede ser considerado como un conjunto unidireccional conformado mediante vigas y nervios. Con todo, la dirección elegida para los pórticos de carga, paralela al plano de fachada, se adivina únicamente al analizar el modo de apoyo del forjado. Es decir, no existe en los vanos del mismo una diferencia de luces (4,20 x 4,20) que indique una dirección favorable en dimensión para la disposición de los pórticos. El tamaño de las vigas en ambas direcciones perpendiculares es el mismo. Su anchura está directamente relacionada con el tamaño de los pilares, mientras que su canto es el del forjado.

Sin embargo, cabe plantear aquí una pequeña discusión con respecto a la dirección elegida para la disposición de los pórticos de carga, paralelamente a fachada: la presencia de los vuelos laterales del forjado de piso parece apuntar a esta dirección como la más desfavorecida, estructuralmente hablando, en comparación con los tres vanos que presenta la estructura en la dirección perpendicular a ésta. La elección de dicha dirección supone la presencia de puntos con claras diferencias de deformación por flecha, dadas las distintas inercias de nervios y vigas frente a la acción de las cargas verticales en el extremo del forjado. De esta forma, los

tres pórticos de atado se disponen perpendicularmente a fachada, con sendos vuelos en los extremos, mientras que los dos pórticos de carga, dispuestos paralelamente a la misma, presentan un pequeño vuelo para el apoyo del cerramiento.

Bajo dichos esquemas estructurales se disponen pilares y vigas con las siguientes características:

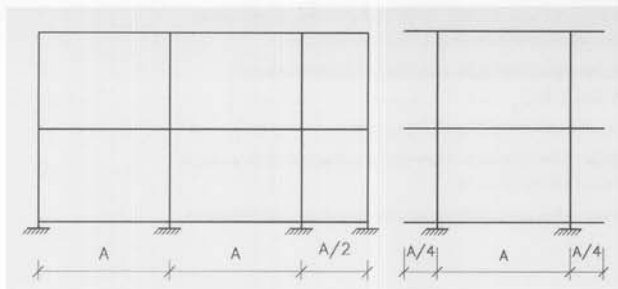
Los pilares

Los pilares son cuadrados, de 15 cm de lado, con sección constante en las dos plantas y una luz libre de 3 m. Anclados o embutidos en la masa de hormigón del elemento de cimentación o del forjado de piso, pueden ser considerados empotrados inferior y superiormente en las dos plantas. Tras su análisis desde el punto de vista estructural, surgen dos cuestiones básicas:

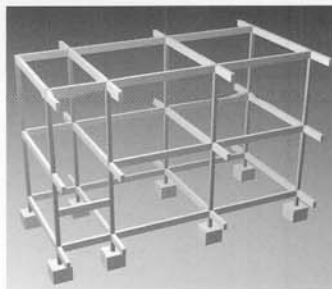
Llama la atención, en principio, la reducida sección (0,15 x 0,15 x 3 m), que da como resultado unas piezas muy esbeltas. El pequeño tamaño no parece apuntar tanto a un posible problema de ruptura por insuficiencia portante de la sección resistente como a una ruptura por el esfuerzo cortante en la cabeza de los mismos. Esto último viene corroborado por una de las características más innovadoras de la solución estructural: la ausencia de elementos de tipo ábaco o capitel, a modo de ensanche o agrandamiento de su sección superior en la entrega de las vigas.

La solución de la entrega de la viga en el pilar mediante un elemento intermedio que absorbiera el esfuerzo cortante en el punto de mayor valor del mismo era la utilizada por todos los especialistas en hormigón armado. Hennebique, Ransome, Perret procedían al ensanchamiento de la sección de los pilares, tanto en una dirección (la dirección de los pórticos de carga cuando se trataba de un forjado unidireccional) como en ambas (en el caso de una solución tipo losa), con el fin de presentar la inercia suficiente para la absorción de los citados esfuerzos. La ausencia de dicho elemento es considerada como uno de los aspectos más relevantes de la estructura Dom-ino, que, junto con la ausencia de nervaduras, contribuirá a la conformación de esas "losas completamente lisas", tal como Jeanneret las calificaría en el primer volumen de la *Œuvre Complète*.

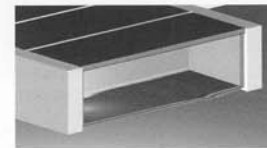
Si se asume la posibilidad de dos posibles rupturas en lo que a los nudos de la estructura se refiere (el apoyo del forjado por pun-



13



14



15

zonamiento y de la cabeza del pilar por cortante), por la ausencia de los citados elementos intermedios, los pilares deben ser considerados inaceptables bajo el actual punto de vista estructural. Sin embargo, sólo el cálculo preciso de los mismos con los criterios contemporáneos de la normativa específica referida al hormigón armado podrá justificar o no tanto la dimensión de los pilares como la especial disposición de los mismos. En la búsqueda de una referencia anterior que sentara algún precedente sobre esta disposición estructural, aparece la figura del ingeniero Maillart, quien, en 1910, había empleado ya esta solución junto a su forjado fungiforme para un almacén de Zúrich, al que sometió a numerosos ensayos y pruebas de carga. Esta solución de Maillart contaba sin embargo con un canto suficiente de forjado como para absorber los esfuerzos de punzonamiento, una dimensión con la que no contaba Jeanneret en su solución Dom-ino y sobre la que radica uno de los puntos estructuralmente más dudosos de la misma.

Las vigas

Las vigas son "planas", embutidas en el forjado, con un canto de 28 cm, igual que aquél, y un ancho de 15 cm, que se corresponde con la dimensión de los pilares. La entrega de las vigas a los pilares se realiza mediante empotramientos facilitados por el carácter monolítico del hormigón armado, conformándose así los nudos pilar-vigas sin ninguna discontinuidad estructural. Todas las vigas son dimensionadas, en principio, con una proporción correcta para una rebanada sometida a flexión. Debe traerse a colación en este momento esa libertad, ya aludida, que el diseño de la propia estructura genera sobre sí misma. La disposición de las vigas, embutidas en el canto del forjado, para el que se adoptará igualmente una solución específica, contribuye a la creación de ese plano liso, sin resaltes inferiores que marcarán vigas y nervaduras. Una superficie libre de cualquier restricción formal. En general, y atendiendo a la resistencia estructural, la reducción general dimensional del conjunto no puede ni debe ser juzgada desde el punto de vista de la actualidad, sino teniendo en cuenta la normativa específica y la práctica constructiva de aquella época. Así, mientras las críticas actuales achacan a la estructura

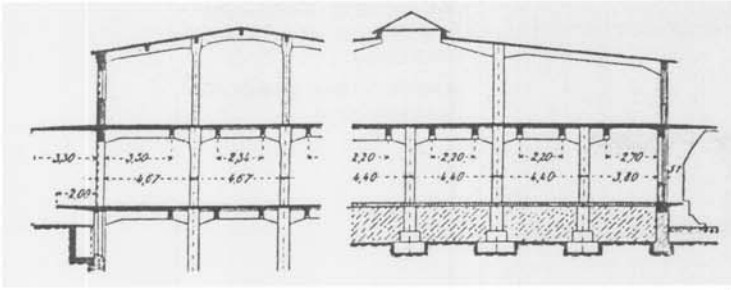
Dom-ino la falta de validez de elementos como los pilares, por el posible punzonamiento, sólo un análisis realizado de acuerdo con los criterios normativos coetáneos puede dar o quitar validez al conjunto de la propuesta.

EL FORJADO

El forjado es unidireccional, orientado perpendicularmente al plano de la fachada; se compone básicamente de nervios que, al apoyarse en los dos pórticos de carga, tienen un muy correcto esquema estructural a modo de viga biapoyada con vuelos laterales.

Los nervios, con un canto igual al de las vigas, que a su vez es igual al del forjado (28 cm), y un ancho algo menor que el de aquéllas (10 cm), se encuentran separados entre sí una distancia aproximada de un metro. Esta distancia, que parece excesiva en un forjado convencional tal y como hoy lo entendemos, está justificada por la dimensión de las piezas cerámicas que van entre los nervios. Estas piezas, de cerámica armada y sección en forma de "C", son a su vez concebidas estructuralmente a modo de auténticas vigas biapoyadas sobre los nervios laterales, así salvan una luz de cálculo de 90 cm y adquieren una misión estructural portante que permite aumentar el intereje de nervios hasta dicha distancia de un metro. Su yuxtaposición hace que toda la masa del forjado entre nervaduras adquiera misión estructural en todo el canto correspondiente al mismo. He aquí la justificación a la confusión que se produce al comprobar cómo Jeanneret emplea para la descripción de los elementos horizontales de su sistema indistintamente el nombre de "losas" y el de "forjados de piso". "Este hormigón armado está hecho sin encofrado; a decir verdad, se trata de un material de características especiales, que permite crear losas completamente lisas por arriba y por abajo"¹⁰.

Se trata de un forjado compuesto por varios elementos estructurales —vigas, vigas de atado y nervadura de forjado—. De ahí la denominación de "forjado de piso", ya que conforma la superficie pisable de la vivienda. La denominación de los mismos con el nombre de "losas" se debe, sin embargo, al hecho de que la totalidad de la masa



16

13. Sistema Dom-ino. Esquema estructural del pórtico de carga.
Esquema estructural del pórtico de atado.

14. Sistema Dom-ino. Sistema de vigas y nervios.

15. Sistema Dom-ino. Pieza bovedilla apoyada lateralmente.

16. Vuelo del forjado como andén o marquesina más allá de la última línea de pilares. *Teoría y Práctica del Hormigón Armado*, de Emil Mörsch.

del mismo, con una altura constante de 28 cm, actúa como elemento estructural portante horizontal. En ese sentido, el conjunto puede ser asimilado a una losa. No obstante, la losa de hormigón armado goza de un comportamiento estructural unitario y monolítico, del que el forjado Dom-ino carece. Éste puede ser clasificado básicamente en tres niveles portantes estructurales:

Primer orden estructural: las piezas de cerámica armada que, con una luz de 1 m, se disponen sobre los nervios del forjado.

Segundo orden estructural: los nervios del forjado que, cubriendo un vano de 4,20 m y sendos vuelos laterales de 1,05 m, transmiten su carga a las vigas-jácena.

Tercer orden estructural: las vigas-jácena que, a modo de vigas continuas, cubren una luz de tres vanos (4,20 – 4,20 – 2,10), correspondiente el último a la escalera, y transmiten su carga finalmente a los pilares.

Explicitados de este modo los tres órdenes estructurales que componen los elementos horizontales, éstos deberían ser denominados "forjados de piso", sin que quepa, en sentido estricto, aplicar el concepto de "losa" en su denominación.

La solución de vuelo

Merece, por la singularidad de la cuestión, dentro del sistema en conjunto, afrontar por separado la solución del vuelo que Jeanneret da a su forjado. Estructuralmente, dicho vuelo se conforma mediante la prolongación de nervios y vigas perpendiculares a fachada, más allá de la línea de pilares paralela a la misma. La longitud de vuelo alcanza la cuarta parte de la longitud del vano central ($A/4$) o, lo que es lo mismo, los pilares así posicionados quedan retirados de la fachada a una distancia de $A/4$. Las dos principales referencias estructurales con respecto a esta disposición deben buscarse en dos momentos concretos:

Mörsch plantea ya en su *Tratado de Hormigón* la posibilidad del vuelo del forjado a modo de andén o marquesina. Una solución planteada específicamente para los andenes de carga.

En la figura 97 damos la sección transversal del cobertizo de mercancías y aduanas de Heidelberg, para demostrar que puede prescindirse de la vigueta más próxima a la pared exterior si la losa del suelo se prolonga hacia el exterior, como marquesina o andén

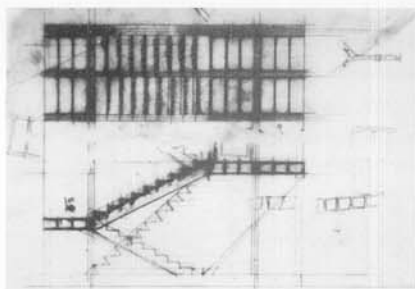
de carga. El último tramo de la losa, cuya luz es 1,5 veces la central, queda considerablemente descargado por la parte volada; lo mejor es determinar los momentos gráficamente.

Perret, en el Garaje Ponthieu, había planteado igualmente dicha solución de vuelo en la conformación de la calle interior a la que el forjado de la primera planta asomaba, en vuelo de aproximadamente un metro sobre la última línea de pilares. Asimismo, aunque no de forma tan evidente, pero esta vez en fachada, Perret disponía en la fachada de la Rue Franklin, a partir de la primera planta, el vuelo del forjado sobre la línea de pilares colindante con la vía pública.

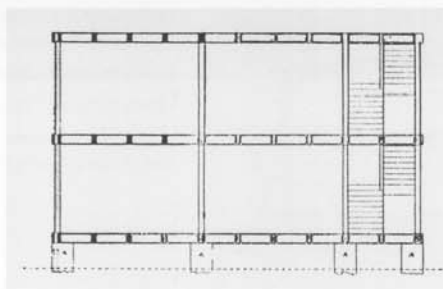
La dimensión de vuelo planteada por Jeanneret es algo menor que la de Mörsch para sus andenes de carga y algo mayor que la de Perret. Sin embargo, la importancia de la solución no radica en la dimensión del mismo, para la que, evidentemente, se podría haber ido hasta una magnitud superior, facilitada por la propia técnica del hormigón armado. Así, sin intentar llegar al alarde estructural, la importancia de esta disposición radica en la principal consecuencia conceptual a la que se ha hecho anteriormente mención: la libertad en fachada.

Desde el propio diseño de la estructura surge una fachada "libre" en dos aspectos: estructuralmente, libre de la misión portante de sus paños, asignada ésta a la línea de pilares retirada con respecto a éstos. Formalmente, libre de la asunción en su plano de los elementos verticales del entramado vigas-pilares. Para la liberación de las líneas horizontales del mismo, correspondientes a los bordes del forjado, Jeanneret empleará otro tipo de estrategias constructivas. El cerramiento que conforma la fachada surge así libre de todo tipo de restricciones impuestas por la propia estructura y de forma completamente independiente de la misma. Con una conformación que únicamente debe responder a una misión de cierre, presenta una relación libre entre la dimensión de las aperturas y la de los paños ciegos.

Todo ello supone un importante salto cualitativo respecto a la disposición de Mörsch para sus andenes de carga, ya que dicha disposición es utilizada ahora en la conformación de las fachadas (aprovechando así las cualidades inherentes a las mismas), así como respecto a la solución de entramado que Perret daba a sus fachadas, en las que los pilares eran incorporados a modo de pi-



17



18

17. MD-A-014 (FLC 19138). Esquema estructural y constructivo para la escalera de dos tramos.

18. MD-OC-1.3 (*Œuvre Complète*, p 23). Planta de estructuras.

lastras sobre los planos de fachada, haciendo clara referencia a la formación del maestro dentro de la línea clasicista.

Incluso en la Rue Franklin, Perret desaprovecha las mencionadas posibilidades del vuelo del forjado planteando en el plano exterior del mismo su entramado estructural, aun cuando los elementos verticales del mismo sean pilares volados (que no transmiten carga al suelo). Una solución de tintes más justificados desde el punto de vista compositivo que estructural.

El análisis estructural y constructivo de los vuelos planteados por Jeanneret en el sistema Dom-ino conduce a una serie de conclusiones que merece la pena reseñar. La ausencia de cualquier tipo de elemento de borde, tipo zuncho o viga de borde, que recoja las cabezas de los nervios en vuelo, supone, en términos estructurales, la ausencia de cualquier tipo de comportamiento unitario de los mismos en cuanto a su inevitable deformación por flecha. Así, cada nervio sufrirá por carga en vuelo una flecha. La situación más desfavorable en este sentido será la del nervio central de cada vano, cuya flecha total será la suma de la suya propia más la de la viga-jácena sobre la que apoya (alcanzando esta flecha mayor dimensión en el punto central del vano). La conformación de cualquier tipo de paño de cierre supone dotarlo de una dimensión en su espesor, en términos constructivos, de forma que queden garantizados tanto el aislamiento como el cerramiento interior-exterior. Por ello, el apoyo del paño de cierre sobre el forjado debía haber sido resuelto desde el punto de vista resistente mediante la disposición de un elemento estructural (viga-zuncho) sobre el que apoyar el peso del paño y que permitiera la transmisión correcta del mismo a los puntos de soporte.

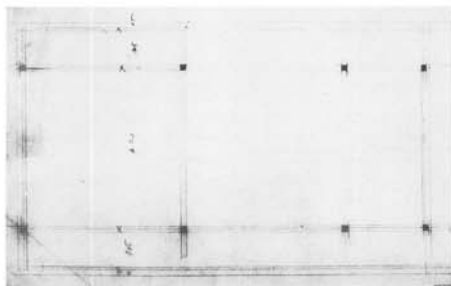
Con lo anterior, y bajo el punto de vista estructural, se hace imprescindible dotar a los nervios del forjado de la necesaria continuidad en toda su longitud, sobre todo en el punto clave del apoyo sobre la viga, de forma que se asegure la correcta absorción por ésta del momento negativo allí donde éste alcanza su valor máximo. El frente de forjado en el vuelo es resuelto con la presencia de la última pieza de cerámica armada que presenta en dicho frente la parte abierta de la "C", con lo que se estima la indudable presencia de un importante puente térmico a lo largo de todo el frente del forjado. Así, los logros de la disposición de los vuelos son

más exitosos por la disposición geométrica que por su comportamiento estructural.

LA ESCALERA

La escalera es el elemento más ambiguo e indefinido de todo el planteamiento general. Al no quedar resuelta de manera definitiva en términos estructurales (aunque sí en términos constructivos), Jeanneret evitará incluso resolver su apoyo y disposición concreta en la planta de estructuras. Incluso dibujará sólo media planta, justo la opuesta al emplazamiento de la escalera. Sin embargo, en dos de los croquis, Jeanneret deja apuntada la solución de forma similar a como se plantea la ejecución de una línea entre nervaduras del forjado, con la única salvedad de que las piezas cerámicas que conforman el paño de cada tramo de la escalera se disponen de tal forma que constituyen los peldaños. Apoyadas, al igual que en el forjado, sobre los dos nervios que limitan lateralmente cada uno de los tramos, siguen la misma filosofía de ejecución planteada para aquél.

En la documentación de la edición Garland, aparecen dos documentos que hacen referencia al estudio de la sección de la escalera para los tipos A y B, es decir de uno o dos tramos. La confusión surge cuando se analiza con detenimiento la solución estructural y constructiva planteada. En principio, parece que se opta por una disposición a modo de losa estructural armada, a juzgar por su distinta representación en relación con la del forjado. Estructuralmente, la escalera se resuelve mediante el apoyo de la losa lateralmente sobre dos vigas, apoyadas a su vez sobre la viga-jácena correspondiente a cada nivel y sobre una viga a media altura, en el caso de la escalera de dos tramos. Para esta última, el rellano se dispone en vuelo a media altura, con una luz de 1,05 m, igual a la dada en el vuelo del forjado. La conformación del rellano es idéntica a la del forjado, mediante la disposición de piezas de cerámica armada biapoyadas en las vigas laterales de la escalera. En el caso de la escalera de un tramo, ésta se resuelve apoyándola lateralmente en dos vigas que descansan sobre dos vigas-jácenas, correspondientes al primer y segundo nivel, respectivamente. Cabe señalar como curiosidad la aparición, en uno de los docu-



19. MD-A-050 (FLC 19166). Planta de estructuras para viviendas con escalera de dos tramos. Módulo: 105-210-420 cm.

19

mentos referidos a la escalera, de un pequeño diagrama de esfuerzos, de momentos flectores concretamente, con el que Jeanneret esquematiza el apoyo de la escalera sobre el primer nivel de forjado. La representación de momentos negativos planteada por Jeanneret en dicho apoyo no es correcta, ya que el valor del momento en el punto de apoyo de la losa inclinada sobre el forjado no puede ser nunca igual a cero.

Sobre esta cuestión, no se sabe a ciencia cierta el grado de conocimientos que poseía Jeanneret en el momento de la concepción del sistema Dom-ino. No habiendo sido formado académicamente en esta disciplina, cabe referir las nociones estructurales concretas tanto a Dubois como a su compañero de trabajo, Juste Schneider, ingeniero también de la empresa SABA. La participación de este último en el desarrollo constructivo del proyecto Dom-ino será fundamental, como luego se comprobará. Ambos ingenieros habían recibido una amplia formación en la Politécnica de Zúrich. No obstante, y ciñéndonos a los planos estructurales definidores del sistema, Jeanneret no concreta en ellos la solución de la escalera, ni en planta, tal como antes se ha indicado, ni en sección. Se obvia igualmente en los planos definitivos la sección transversal de ésta, presentándola únicamente en la sección longitudinal del conjunto. Este hecho, junto con la poca claridad que se advierte en los documentos de estudio referidos a la misma, hacen adivinar dudas sobre su resolución estructural y constructiva. De hecho, la solución posterior de los distintos tipos de vivienda, en cuanto a distribución, provocará el juego con la dimensión y posición de la escalera, que no podrá ser resuelta mediante el esquema estructural estudiado en sus croquis.

ELEMENTOS DE BORDE: VIGAS DE BORDE Y MEDIANERÍA

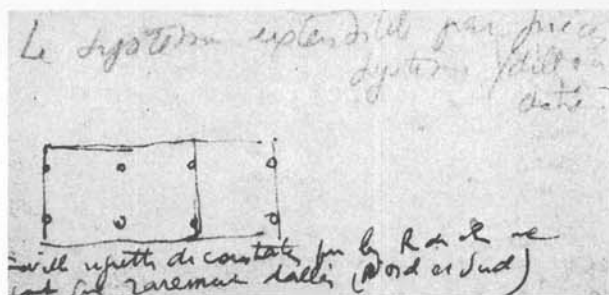
La solución de borde ha sido ya apuntada, indicando la ausencia en el límite del forjado en vuelo, correspondiente a las dos líneas de fachada, de cualquier tipo de zuncho o nervio de borde, estructural o no, que recogiera los extremos de la nervadura volada. En el sentido perpendicular a la fachada, correspondiente a los dos planos medianeros, la estructura presenta dos pórticos de atado. En ellos hay que señalar el pequeño recrecido de las vigas, pro-

puesto por Jeanneret, con respecto a la cara exterior de los pilares del pórtico; así consigue dar apoyo a los planos de cerramiento medianeros. Estos paños quedarán apoyados sobre las vigas extremas, salvando de forma continua los pilares extremos, por tanto sin ser interrumpidos por los mismos. Una solución que bien podría ser considerada como momento previo a la solución completamente volada del forjado de fachada. Concebida por Jeanneret como solución de medianería, resulta estructural y constructivamente correcta.

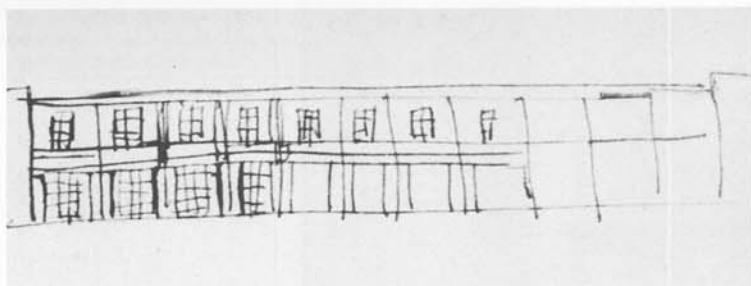
La resolución de la medianería provoca serias dudas en Jeanneret, siendo éstas recogidas ya en su cuaderno de croquis. En él señala la necesidad de consultar dicha cuestión con Dubois y Schneider. Su resolución definitiva aclara la duda inicial que suscita una primera visión de los planos del Dom-ino, en los que se puede comprobar que, mientras en la planta del conjunto aparecen ocho pilares, en la perspectiva cónica del conjunto, sólo seis. El sistema Dom-ino es concebido estructuralmente como la resolución de una célula básica, planteada para ser construida en serie en la conformación de un conjunto formado por células yuxtapuestas. Así lo define el propio Jeanneret: "sistema de construcciones yuxtapuestas".

Sin embargo, Jeanneret va más lejos, lo que supone un importante salto cualitativo con respecto a una mera yuxtaposición. Una yuxtaposición de células básicas supondría la duplicación de los pilares extremos en fachada, marcándose así las líneas de medianería con la presencia del doble pilar en fachada. Jeanneret propone para resolver el problema que cada unidad se apoye en los pilares extremos de la unidad contigua, de forma que el plano de medianería, tanto estructural como constructivamente, es compartido por las dos unidades de vivienda que dicho paño separa. En este sentido resulta muy esclarecedor uno de los croquis iniciales de su cuaderno en el que lo denomina como un sistema extensible: "El sistema extensible por piezas. Sistema YDLL u otro".

Así, en todo momento puede ser adicionada una nueva pieza, tal y como ilustra el esquema. Para ello, la línea de pilares de conexión entre las piezas (línea de medianería) se plantea como compartida entre las piezas yuxtapuestas, de forma que siempre se mantenga el ritmo del conjunto. Con este planteamiento, Jeanneret resuelve el problema tanto de la duplicación de pilares como de la concepción



20



21

de una retícula de conjunto para los mismos, continua y modulada, de acuerdo con el sistema de proporciones básico. Ello da lugar, por tanto, a que la representación estricta del esqueleto estructural de cada unidad básica suponga la supresión de los dos pilares extremos del plano de medianería que cada célula comparte con la siguiente. De ahí el hecho de que cada unidad estructural "se apoye en la siguiente". Esta consideración justifica la diferencia entre los planos de planta y sección de la estructura y la perspectiva del conjunto. La supresión de estos dos pilares extremos no es sino el resultado de la consideración de un tema importante en una configuración de elementos en serie, como es la conexión entre los mismos. En definitiva, la concepción de la medianería.

Ya en el cuaderno de croquis Jeanneret se había planteado el problema de la medianería desde dos puntos de vista: la duplicación de los pilares extremos, lo cual ofrecía una solución de alzado no muy lograda, y la verdadera disposición seriada de la retícula de pilares, sin duplicaciones.

De esta forma, los planos y la perspectiva son coherentes bajo el punto de vista estructural, explicada la omisión en esta última de los dos citados pilares extremos.

LA CIMENTACIÓN

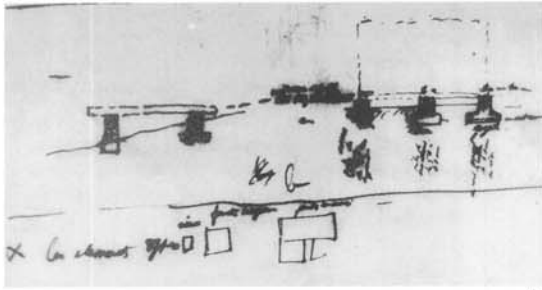
Éste es el punto más olvidado por Jeanneret dentro de su planteamiento estructural y, sin embargo, constituye una parte fundamental. De manera somera alude al mismo en su descripción estructural: "sobre cimentación de seis pilares".

Sólo un documento de la edición Garland hace referencia a ella. En el planteamiento del sistema Dom-ino en la *Obra Completa*, la cimentación ocupa un lugar secundario. Con un dibujo minúsculo titulado "Les Fondements", que pasa casi desapercibido por su pequeña dimensión, Jeanneret deja resuelto el tema del apoyo de la estructura sobre el firme. Se trata del mismo dibujo que se puede encontrar en el plano IV del documento de solicitud de patente. La comparación entre la solución dada en los croquis y la planteada en la *Obra Completa* muestra dos tipos de opción de cimentación completamente distintos:

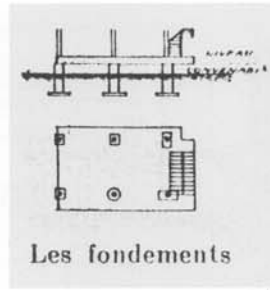
En los croquis, la cimentación se resuelve con pozos realizados

en hormigón armado sobre los que se levantan pilastras de ladrillo, a modo de pilares enanos, hasta una altura correspondiente a la cara inferior del forjado de la planta baja, con una sección de 60 x 60 cm para las centrales y de 30 x 30 cm para las extremas. Una superficie en planta que servirá de base para el apoyo de la estructura. Esquemáticamente, los pozos de cimentación tienen una forma tronco-cónica, la misma en que Mörsch los presenta en su Tratado: "Losa armada para cimentación de un pilar", y con un mallazo de base para la absorción y distribución de esfuerzos. Jeanneret los denomina "regulares" o "irregulares", en función de su forma cuadrada o rectangular, respectivamente. Con todo, Jeanneret aborda dos situaciones de cimentación: sobre un terreno llano y sobre un terreno en pendiente, este último resuelto mediante el aumento de la altura de recrecido de la fábrica. Plantea asimismo Jeanneret en estos primeros tanteos la posibilidad de hacer el pilar enano de forma unitaria y monolítica con el pozo de hormigón armado, para apoyar en cualquier caso el forjado de la primera planta sobre el elemento, bien de ladrillo, bien de hormigón, que sobresale del terreno.

En la *Obra Completa* presenta una solución de cimentación a modo de pilares enanos, que descansan sobre unas piezas que parecen unas placas de anclaje en contacto con la capa resistente del suelo. Los pilares enanos tienen una sección que, proporcionalmente, resulta el doble de la de los pilares, es decir de 30 x 30 cm. La reducción de la sección respecto al primer planteamiento se debe a la mayor capacidad resistente del nuevo material (hormigón armado) con respecto al primero (ladrillo). Las tipologías presentadas por Jeanneret en la resolución de dichos pozos (tres de ellos de planta cuadrada, dos de planta rectangular y uno circular) no parecen deberse a cuestiones estructurales, al menos la mayoría de ellas. Así, la justificación de las dos zapatas rectangulares (teniendo en cuenta que las luces son las mismas en ambas direcciones) se encuentra en la disposición de una mayor inercia para la cimentación; tanto del vuelo de la viga en el extremo de la escalera como del apoyo de ésta. Sin embargo, parece que el principal objetivo de Jeanneret es mostrar la posibilidad de diversas soluciones y tipologías para los mencionados elementos de cimentación. El canto o altura libre de los pilares enanos irá desde



22



23

las mencionadas "placas de anclaje" hasta la cara inferior de las losas, situadas a un nivel denominado por Jeanneret en su croquis como "nivel conveniente". Esta denominación hace referencia a una intención de tipo higienista, que lleva a Jeanneret a elevar "convenientemente" la edificación sobre el nivel del terreno, consiguiendo así su aislamiento de elementos perjudiciales como la humedad, los animales, el terreno... Un aspecto ya considerado por Tony Garnier en sus planteamientos higienistas para la "Cité Industrielle", quien proponía igualmente la elevación de la edificación como primera medida para lograr las mínimas condiciones de salubridad. Podríamos considerar estos pilares enanos de hormigón armado como el momento anterior a los futuros "pilots" con altura de una planta. Mediante una transfiguración del enano en piloti, se producirá un cambio de naturaleza del soporte, que puede ser considerada como una de las ideas conceptualmente más importantes de la arquitectura de Le Corbusier. Destaca en ambos casos la ausencia de vigas-riostra de cimentación, elemento unificador indispensable en este tipo de cimentación por puntos, porque corrigen las posibles diferencias de asiento de los apoyos puntuales.

La solución de medianería llevada a cabo en la estructura se traslada de forma lógica al plano de la cimentación mediante la realización de la misma para seis pilares (y no ocho). Consecuentemente, la cimentación de cada unidad estructural se resuelve mediante seis pozos, apoyando la estructura en su plano medianero sobre los dos pozos extremos de la célula estructural situada de manera contigua. El terreno y el apoyo correcto de la estructura quedan obviados en estos primeros planteamientos.

4. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

Tres son los materiales básicos que componen los elementos de esas "estructuras monolíticas de hormigón armado"¹¹ que son el conjunto Dom-ino: acero (*fer*), cemento (*ciment*) —ambos configuran el hormigón armado (*ciment armé* o *béton armé*), que constituye la base constructiva del conjunto—; y cerámica, en piezas especiales de

distintos tipos —piezas armadas que son utilizadas tanto con misión estructural resistente, tal y como se ha visto en el forjado, como para la realización de determinados elementos de albañilería. Paneles divisorios para constituir la compartimentación del conjunto. Otros elementos como armarios, puertas, etcétera.

En estas últimas, las piezas especiales, es donde entra de lleno el tema de la prefabricación, por tratarse de piezas surtidas directamente de fábrica para ser dispuestas directamente en obra, con la economía, rapidez y eficacia constructiva que el método en cuestión conlleva. Una prefabricación como punto primero para la producción en serie de un tipo establecido y que pasa, en primer lugar, por la concreción del diseño de cada una de dichas piezas. Diseñadas por el arquitecto y colocadas en obra, deberán ser estrictamente definidas por éste para que en el momento de su puesta en obra "encajen perfectamente" dentro del conjunto, configurando una unidad completa y correcta. De su combinación surge la construcción básica de cada unidad. Así, si la configuración del "esqueleto estructural portante" supuso una labor cuidadosa, dada la singularidad de la solución planteada, la construcción de cada uno de los elementos del conjunto es fruto de disposiciones poco convencionales para la época, y en las que el "ingenio constructivo" de Jeanneret constituyó la base del método creativo. Así, tras la resolución de la misión resistente y portante, el tema de la habitabilidad concentra los objetivos de Jeanneret. Cada pieza será diseñada por Jeanneret en función del elemento del que forma parte. Así, teniendo siempre presente la visión de conjunto, la conformación final del elemento influirá en el diseño y dimensión de la pieza básica concreta. Construcción y estructura, estrechamente relacionadas, provocan la mutua interacción de ambas. De esta forma, paralelamente al planteamiento del esqueleto estructural básico, Jeanneret irá proponiendo la construcción de los elementos conformadores de una célula doméstica concreta.

Se procede a continuación al análisis pormenorizado de cada uno de los elementos constructivos que componen dicho conjunto, bajo el punto de vista elegido por Jeanneret para la creación de los mismos. Una labor ardua, la realizada por él, que no se deja en-

20. MD-C-04 (*Carnet 1915*, FLC 81).

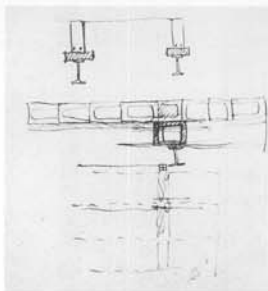
Sistema extensible por piezas. Sistema YDILL u otro

21. MD-C-27 (*Carnet 1915*, FLC 119).

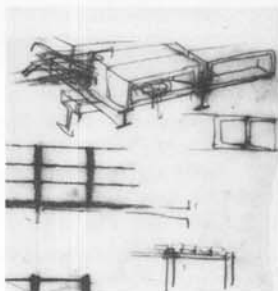
Planteamiento del problema de la medianería como duplicación o no de los pilares.

22. MD-A-015 (FLC 19217). Estudio de la cimentación y de sus zapatas de apoyo para terreno llano y en pendiente.

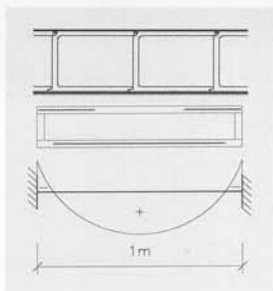
23. MD-OC-1.4 (*Œuvre Complète*, p 23). Cimentación. Planta y sección.



24



25



26

24. MD-C-01 (Carnet 1915, FLC78). Estudio del sistema de forjado Dom-ino. Sección constructiva de los nervios del forjado. Sección constructiva del forjado y sistema de encofrado.

25. MD-A-011 (FLC 19136). Estudio del sistema de forjado y encofrado del sistema Dom-ino.

26. Sistema Dom-ino. Sección transversal del forjado. Perfil "C" de las piezas bovedillas. Esquema estructural de una pieza bovedilla a modo de viga empotrada (en los nervios). Diagrama de momentos y posición de la armadura en el interior de la sección.

trever en los planos finales (si consideramos éstos los de la *Obra Completa*) elegidos para la descripción del conjunto, presentado como un estudio más estructural que constructivo.

EL FORJADO

El sistema concreto de forjado elegido para el sistema Dom-ino constituye uno de sus elementos más característicos, dada su singularidad constructiva. Así, la búsqueda de referencias para el mismo no pasa, como en otros aspectos, por Perret, Garnier u otro momento anterior a la Dom-ino. La peculiaridad de su disposición constructiva indica que fue conformado de manera específica para la ocasión, sin presentar ningún punto en común con disposiciones usuales de forjado anteriores (al menos de las que Jeanneret pudo tener conocimiento). En este sentido, al no estar Jeanneret lo suficientemente formado en este terreno para que de sus manos hubiera surgido *ex novo* el sistema de forjado concreto, se deben buscar las fuentes en otra parte. Así, una carta enviada por Jeanneret desde La Chaux-de-Fonds a Dubois, dos meses antes de la solicitud de la patente del sistema Dom-ino, parece aclarar la cuestión.

La Chaux-de-Fonds. 26 de noviembre de 1916.

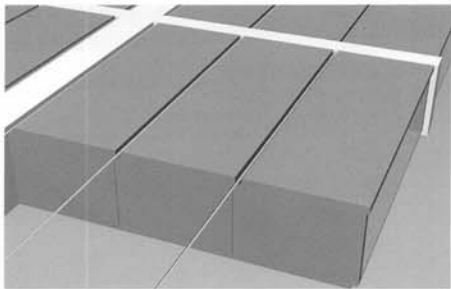
*Me has entendido mal con respecto al tema del forjado Schneider. Se entiende que éste no forma parte de la patente. Pero aparece dibujado como ejemplo en mis heliogramas azules, y como Schneider, que es su inventor, me lo ha enseñado de forma amistosa y confidencial, no querría que su trabajo le fuera robado por culpa mía. ¡Adviérteselo!*¹²

Una carta que apunta directamente a Schneider como su creador principal. Por otro lado, puede advertirse la clara contradicción de Jeanneret pues, indicando que no quería "robar" la idea de Schneider, advierte, sin embargo, que la misma aparece representada en los "heliogramas azules", técnica de representación elegida para el documento de solicitud de patente para el sistema. Más que una disculpa, la carta parece advertir que el forjado que Schneider había explicado a Jeanneret formaba ya parte esencial del documento. Debido a su trabajo, tanto Schneider como Dubois debían tener conocimiento de

todos los sistemas constructivos relacionados con el hormigón armado, así como de las numerosas patentes otorgadas para su empleo en aquellos momentos de auge de esta técnica constructiva. La reunión con Schneider puede ser ubicada cronológicamente a comienzos de junio de 1915. Parece evidente que Jeanneret quedó tan impresionado por el sistema de forjado de piso concreto que el ingeniero le explicó, que le llevó a hacer de éste la base constructiva de su sistema Dom-ino. Toda esta explicación da respuesta también al hecho de que el forjado y el sistema constructivo será uno de los temas menos recurrentes de Jeanneret en todo su estudio, lo que indica que Jeanneret no lo consideró un tema de trabajo o investigación, dándolo por concluido mediante un par de croquis explicativos. El forjado puede ser descrito como un sistema de vigas, nervios y piezas especiales de cerámica armada entre nervaduras. Estas últimas constituyen la principal singularidad constructiva y estructural del conjunto, y la causa de la elevada dimensión del intereje entre nervaduras, así como la razón de que el forjado no contara con una capa de compresión en su superficie. La capacidad resistente de las mismas justificará su funcionamiento dentro del sistema como pequeñas vigas, lo que supondrá la variación con respecto a la disposición constructiva de los forjados tradicionales. En éstos, las bovedillas actúan de "molde" de la capa de hormigón que sobre ellas se vierte y que conforma la verdadera sección portante del conjunto. Esta sección, asumida ahora por la propia bovedilla, hará innecesaria la presencia de cualquier elemento suplementario (capa de compresión) para completar la misión estructural del conjunto. El forjado está compuesto por nervios dispuestos perpendicularmente a fachada, con un intereje de un metro. Entre dichos nervios, y de forma perpendicular a los mismos, se yuxtaponen unas piezas de cerámica armada, con perfil en "C", a modo de vigas biapoyadas.

Las piezas de cerámica armada

La singularidad formal de estas piezas (a modo de cajones a los que falta una de las paredes), con una sección en "C", permite superponerlas en la dirección de los nervios, de modo que el ala superior de cada pieza se apoye en la parte superior del alma de la



27. Sistema Dom-ino. Redondos de conexión en la cara superior del forjado.

27

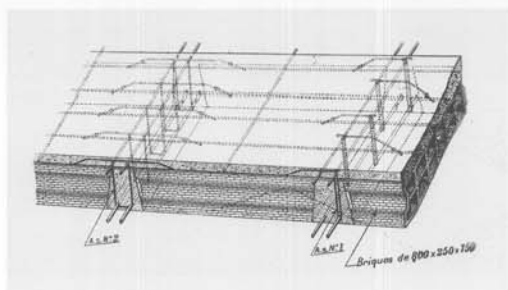
siguiente, y así sucesivamente. De lo anterior resulta una sección de forjado tipo losa aligerada resistente comparable al actual forjado de placas alveolares. Y es que las desventajas inherentes a una pieza resistente con un perfil en "C" y la carga situada sobre el ala superior (carga en vuelo, por tanto) desaparecen con la yuxtaposición señalada de las mismas, que convierte cada pieza en una viga-cajón portante. Dicho cajón está biapoyado por sus lados cortos en los nervios de forjado que lo limitan. Las tapas laterales con las que cuenta la pieza serán las que, en contacto con el nervio, actuarán además a modo de encofrado de éste. La sección de las piezas cerámicas está armada longitudinalmente, según la ley de distribución de momentos de una viga biempotrada. En el sentido longitudinal que cubre la luz entre nervaduras, la pieza presenta un perfil correspondiente, en sección, a las dos alas (inferior y superior) de la pieza en "C". Así conformadas, se colocan, en un primer momento de la construcción del forjado, sobre los tableros que forman el encofrado inferior de los nervios, quedando empotradas en ellos tras el hormigonado y fraguado del hormigón por la adherencia entre el hormigón y la bovedilla. En este sentido, y para que dicha adherencia proporcionara las garantías de sujeción necesarias, habría que contar con la indudable absorción o succión del agua del hormigón por la pieza cerámica, que debería ser convenientemente regada y humedecida antes de colocarla en obra. Un sistema de redondos dispuestos en la arista de conexión entre las piezas, en la cara superior de las mismas (de ahí que presenta un lecho moldeado en su perfil) hace de armadura de reparto de cargas sobre el forjado, además de funcionar como viguetas que colaboran en la conexión nervio-bovedilla. Unos redondos que se cruzarán perpendicularmente con los planteados para cada nervio entre piezas y que discurrirán, por tanto, paralelamente a la armadura longitudinal de las vigas. Las propias características del forjado, así como su disposición constructiva y su capacidad autoportante, posibilitan aumentar el interjeje de nervaduras hasta una distancia de un metro. Una posibilidad que, de manera todavía muy general, ya se apuntaba en el tratado de Mörsch:

Es posible dar mayores dimensiones a los ladrillos huecos, formando los llamados "cuerpos huecos", que se fabrican en hormigón, y, en caso de necesidad, con una armadura ligera...

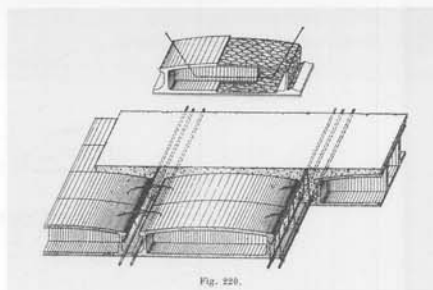
Incluso en uno de los croquis esbozados por Jeanneret, se insinúa la posibilidad de que el espacio hueco entre cada pieza pudiera servir para colgar piezas de alumbrado o situar dentro de él otras instalaciones. Las piezas cerámicas, con una altura de 28 cm, igual que la del forjado, y un ancho de 36,5 cm, presentan un espesor de pared de 2,5 cm; lo mínimo para la introducción dentro de su sección de la armadura correspondiente a una viga biempotrada. Las piezas suministradas de fábrica deberán ser colocadas en obra, sin más que hacer que cada "C" encaje con la siguiente, de forma que las piezas centrales de cada paño de forjado son apoyadas entre nervaduras, mientras que las piezas extremas apoyan sus extremos entre nervio y viga, respectivamente. La situación particular de la última pieza, la de borde de forjado, hace que pudiera presentar su "C" sin apoyar en ninguna otra. Para las dos situaciones de borde, correspondientes a los dos vuelos laterales, Jeanneret propone una disposición simétrica, presentándose al exterior, en ambos casos, la cara abierta de la "C".

Los nervios

Los nervios de hormigón del forjado se disponen con una sección rectangular de canto de 28 cm y una anchura que corresponde a una dimensión algo menor que la de las vigas, aproximadamente 10 cm. Del análisis de los croquis se deduce que, para los mismos, Jeanneret previó una armadura longitudinal continua de dos redondos situada en la cara inferior. La conformación de cada nervio se realiza mediante el empleo de un tablero o tablón de madera a modo de encofrado inferior (sobre el que, ya se ha dicho, se apoyarán las piezas de cerámica armada) que conformará la cara inferior de la nervadura. Para las caras laterales, las propias piezas de cerámica armada, colocadas en obra una tras otra, tendrán dos superficies planas y continuas, que servirán de encofrados laterales de los nervios en cuestión. Éstos serán atravesados perpendicularmente en su cara superior por la armadura de reparto superior, a eje con las piezas de cerámica armada, y, situados al mismo nivel que las vigas, presentarán una conexión con éstas de tipo empotramiento, favorecido por el cruce de armaduras de ambos. Dada la peculiaridad del sistema de apoyo, es preciso hacer un análisis contrastado del mismo con las experiencias constructivas de for-



28



29

28. P. Planat, *L'Art de Bâtir*, 1906. Sistema Bousiron.

29. N. Tedesco & Forestier, *Manuel Théorique & Pratique du Constructeur en Ciment Armé*, 1909. Sistema Rella. Sistema de forjado celular.

jados de la época. El forjado pensado por Jeanneret para el sistema Dom-ino presentaba la peculiaridad de que, tal y como antes se ha señalado, la pieza cerámica entre nervaduras adquiriría propiedades estructurales portantes, un aspecto característico y diferenciador con respecto a las disposiciones usuales. En principio, una primera clasificación de los forjados realizados mediante el empleo de piezas cerámicas puede dividir la totalidad de los mismos en dos grupos, en función de la misión concreta de dicha pieza cerámica en el conjunto. Aquellos en los que la pieza cerámica se dispone a modo de encofrado, entre dos nervios del forjado, con el fin de aligerar la masa de hormigón entre nervaduras, presentando o no una superficie lisa en la cara inferior del mismo. Aquellos en los que la pieza cerámica actúa con una misión estructural concreta, a modo de viga biapoyada sobre los nervios colindantes. Este procedimiento empleado por Jeanneret supone un evidente salto cualitativo con respecto al anterior.

Bovedillas a modo de encofrado

En este primer caso, el forjado presenta las piezas cerámicas a modo de elementos conformadores y aligerantes que darán forma a una sección nervada del hormigón armado, superando así la solución de losas macizas anteriormente utilizadas, pero sin perder la cualidad de éstas de presentar su cara inferior lisa. Un análisis comparativo con el método de las losas mostrará que el uso de este sistema supone una evidente reducción de la cantidad de hormigón destinada al piso, con la consiguiente disminución del peso de la estructura. Igualmente se advierte la presencia de una superficie inferior completamente lisa respecto a las soluciones de losas de tipo nervado. Así, la misión concreta de la bovedilla tras el vertido sobre ella del hormigón sería la de conformar el espacio entrevigado a modo de arcos de descarga, que conducirán el peso a soportar sobre los nervios contiguos. La bovedilla, de esta forma, sólo deberá soportar el peso del hormigón fresco, hasta que el endurecimiento de éste conforme el perfil nervado resistente del conjunto.

Esta solución procede directamente de anteriores soluciones realizadas en forjados de vigería metálica. Entre los perfiles, se

conformaba un arco de descarga mediante el labrado de pequeñas bóvedas, realizadas en ladrillo, por tanto los ladrillos hacían de elemento conformador.

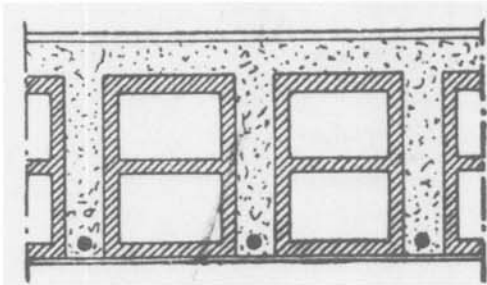
La búsqueda del empleo de la pieza cerámica en el interior de la masa de hormigón como elemento conformador, sin ser dicha pieza recuperable, nos conduce, tras el análisis de los primeros tratados de hormigón armado de la época, hasta el año 1906. Así, en el tratado de construcción de P. Planat, publicado en dicho año, *L'Art de Bâtir*, se puede encontrar un sistema de forjado, el *bousiron*, con bovedillas de 80 x 25 x 15, un modelo de bovedilla adaptable en altura, a modo de encofrado sobre el que se hormigonarán de manera unitaria los nervios y el espesor requerido de hormigón en la zona entre nervaduras. Este sistema aparecerá tres años después, en 1909, en el *Manuel Théorique & Pratique du Constructeur en Ciment Armé*, de Tedesco y Forestier, engrosando el capítulo dedicado a "Planchers de Maisons d'Habitation", junto con el sistema Rella, como representantes de soluciones de tipo celular.

En la línea de este mismo criterio constructivo, el tratado de Kersten, *La Construction en Béton Armé*, de 1908, recoge bajo el nombre de "Losas Celulares" dos sistemas, el sistema Zöllner y el sistema Zöllner, este último también apuntado por Mörsch en su tratado. Más concretamente, es el definido por Mörsch como "suelos de cámaras Zöllner":

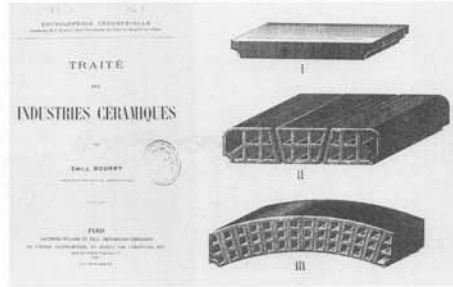
Una de las disposiciones de forjado más antiguas de esta clase es el suelo de cámaras de Zöllner, que es apropiado para salvar luces desde 4 hasta 7 metros. En este sistema se colocan entre los nervios de hormigón unas hiladas de ladrillos huecos, ligeros, de arcilla cocida, que pueden ponerse de canto o de plano, según la altura necesaria...

*En lugar de los ladrillos huecos de arcilla cocida, pueden colocarse, de igual modo, ligeros ladrillos flotantes, en particular, en las comarcas en que éstos pueden conseguirse baratos...*¹³

Ambos sistemas aparecerán igualmente recogidos en el tratado de Rosenberg, publicado en 1913, dos años antes del proyecto Dom-ino, y bajo el genérico nombre de "Pisos Celulares".



30



31

30. C. Kersten, *La Construction en Béton Armé: Guide Théorique et Pratique*, 1908. Sistema Zöllner.

31. Emile Bourry, *Traité des Industries Céramiques*, 1897. Tipos de bovedillas cerámicas para losas.

Bovedillas portantes

El forjado propuesto por Jeanneret para el Dom-ino es conformado de modo que las piezas cerámicas armadas tienen en sí mismas una misión portante estructural, lo que supone, con relación a la solución anterior, que no sea necesaria la presencia de una capa de hormigón que conduzca las cargas hasta los nervios, asumiendo las propias piezas esa función. Esta solución supone una importante reducción de la cantidad de hormigón, así como la posibilidad de aumentar la distancia de entrevigado. En aquella solución, la distancia para la luz de entrevigado se veía limitada por la propia conformación del perfil en arco de descarga de la sección de interjejes. Al estar ahora dicha sección ocupada por una "pieza-viga", la luz puede ser aumentada tanto como sea capaz la capacidad resistente de la misma por carga y por deformación. Así, frente a una luz de entrevigado de 60-70 cm, la nueva disposición constructiva permite llegar hasta una luz de 100 cm. A todo ello se suma la mayor rapidez de un sistema realizado en seco, sin la necesidad de un cuidadoso hormigonado superior. La prefabricación de las piezas supone igualmente la liberación de cualquier tipo de condicionante derivado de una ejecución realizada in situ. Las piezas sólo deben ser colocadas de forma yuxtapuesta, una tras otra, asegurando simplemente con ello el perfecto funcionamiento del conjunto. Un sistema prefabricado de estas características significa poder llegar a la construcción de un conjunto que, técnicamente, pueda acercarse más a la perfección. Igualmente, mientras la misión resistente de la pieza cerámica en la primera solución se reduce al tiempo de fraguado del hormigón que la cubre, la de este segundo planteamiento será de por vida, por lo que el conjunto queda conformado como un todo-uno resistente (de ahí la denominación *plancher*, losa).

La historia de la construcción tiene ejemplos de forjados que pueden ser asimilables, constructivamente hablando, al esquema utilizado en el forjado Dom-ino, basado en piezas resistentes entre nervaduras. Su esquema procede directamente de lo que pudiera constituir un forjado de madera en el que se disponen tableros de madera o entablados sobre la vigería de madera. Dichos tableros, apoyados sobre las vigas, se disponen a modo de pequeñas vigas (mediante piezas únicas o continuas) presentando en su

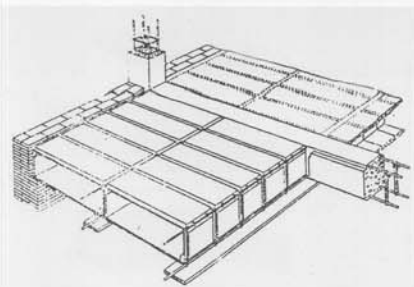
sección la inercia necesaria para soportar la carga sobre los mismos y transmitirla a las vigas sobre las que apoyan. Esta misma filosofía era asumida cuando esas piezas resistentes, tableros de cerámica maciza, a modo de piezas únicas, salvaban la luz de interjejes. Sin contar con las esenciales ventajas estructurales y constructivas inherentes a la sustitución de la madera por el hormigón armado, el forjado Dom-ino ofrecerá además la cualidad estética y funcional de presentar una superficie inferior completamente lisa.

Tal y como se ha explicado, el sistema constructivo del forjado Dom-ino debe ser referido al ingeniero Schneider. Una exhaustiva revisión de los principales tratados de hormigón anteriores a 1915, en búsqueda de un tipo de forjado igual o similar al Dom-ino, deja a la luz las siguientes conclusiones: en los momentos iniciales del empleo de una técnica constructiva de relativamente reciente aparición, el hormigón armado, se suceden repeticiones en cada tratado respecto a lo realizado anteriormente. Repeticiones que llegan incluso a afectar a las propias figuras que ilustran los distintos sistemas constructivos, que son literalmente copiadas unas a otras. Sin embargo, cada tratado presenta pequeños pero importantes avances en relación con el anterior. El primero de los ejemplares consultados es del año 1893 y, bajo el título *Le Béton et son emploi: matériaux, chantiers, coffrages, prix de revient, applications*, Armand Mahiels ("Ingeniero Civil encargado de la Construcción de 21 fuertes en la Meuse, ejecutados en hormigón") recoge una pormenorizada descripción de los distintos materiales, además de una inicial relación de los primeros sistemas constructivos basados en la nueva técnica. Posteriores tratados se limitarán a repetir dichos sistemas con inclusión de pequeñas innovaciones.

Una breve relación de los distintos tipos de bovedillas cerámicas para losas puede ubicarse cronológicamente en 1897, en el *Traité des Industries Céramiques*, de Emile Bourry, con lo que se comprueba que ya a finales del siglo XIX empezaba a fraguarse la idea de la realización de elementos horizontales portantes y aligerados. En 1906, en el libro *Emplacements, Débouchés, Fondations Ponts en Maçonnerie: Cours de Ponts de l'École des Ponts et Chaussées*, de Jean Resal, "Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées de Paul Planat", se incluirá ya la Instrucción Ministerial relativa al empleo del hormigón armado de 20 de octubre de ese



32



33

32. F. W. Taylor et S. E. Thompson, *Pratique de la Construction en Béton Armé ou non armé avec établissement des prix de revient*, 1914. Sistema de forjado "Le Céramo-Ciment".

33. Sistemas especiales de forjados para la Edificación. Ministerio de la Gobernación. Dirección general de Arquitectura, 1941. Forjados BAL.

mismo año (de aplicación en 1915, momento de creación de la estructura Dom-ino), así como los resultados de los primeros ensayos con piezas realizadas en hormigón armado.

Las losas (*planchers*) serán minuciosamente estudiadas en *La Construction en Béton Armé: Guide Théorique et Pratique*, de C. Kersten, con una especial insistencia en los "sistemas celulares" a los que ya se ha hecho alusión. Además, se incluirán unos primeros tanteos de cálculo de las distintas piezas de hormigón.

En cuanto a los forjados nervados, las primeras referencias significativas se encuentran en el *Manuel Théorique & Pratique du Constructeur en Ciment Armé*, de N. Tedesco & V. Forestier, de 1909.

Con las anteriores referencias, han sido revisados de manera detallada los documentos que cronológicamente eran más próximos al desarrollo Dom-ino y que, por lo tanto, podrían dar una idea global del estado de la cuestión. De entre ellos, cabe destacar:

Los diversos sistemas de construcciones de cemento armado: nociones preliminares, sistemas varios, cálculo de las piezas, ejemplos de construcciones, de Karl Rosenberg, de 1913. *Cassel's reinforced concrete: a Complete Treatise on the Practise and Theory of Modern Construction in Concrete- Steel*, de Bernard E. Jones, de 1914. *La Construction en Béton Armé: Théorie et Pratique*, de A. V. Magny, de 1914. *Pratique de la construction en béton et mortier de ciment armé ou non armés avec établissement rationnel des prix de revient*, de Frédéric W. Taylor et Sandford E. Thompson, de 1914.

Al no encontrarse ningún tipo de forjado similar al presentado por Jeanneret para la Dom-ino, se puede concluir que éste constituía una solución peculiar dentro del inventario constructivo de la época.

Patente "Perret"

Sin embargo, en un anuncio publicitario en uno de ellos, concretamente en las páginas finales del Tratado de Frédéric W. Taylor y Standford E. Thomson, publicado un año antes, en 1914, aparece un sistema de forjado denominado "Le Céramo-Ciment" (El Ceramo-Cemento), que puede ser considerado como la referencia más cercana al tipo Dom-ino. El anuncio, que muestra una perspectiva axonométrica del forjado en cuestión, reza así:

EL CERAMO-CEMENTO.

BOVEDILLAS DE FORJADO DE LADRILLO ARMADAS.

Patente MARC PERRET en Belley (Ain).

Supresión de encofrados de madera en el hormigón armado.

Supresión de los entablonados de madera para la fijación de falsos techos.

Economía del 15% por aplicación de los procedimientos PERRET en las losas de hormigón.

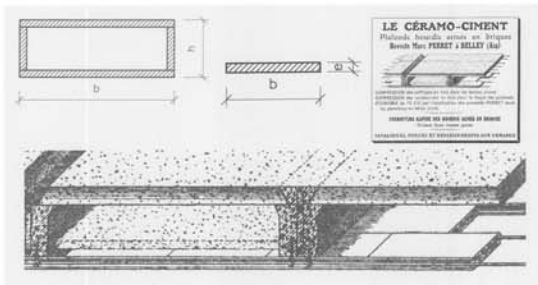
Rápido suministro de bovedillas de ladrillo armadas.

Catálogos, noticias e informes bajo pedido.

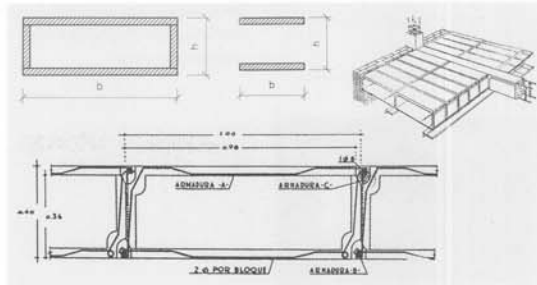
Así, el esquema del mismo muestra igualmente un sistema constructivo de forjado basado en la disposición entre nervaduras de una bovedilla conformada mediante el montaje de dos piezas simples de cerámica armada. Una pieza superior tipo tablón que, con carácter resistente, apoya sus extremos en los nervios cuya luz cubre, transmitiendo a éstos la carga que sobre ella incide. Una pieza inferior tipo tablón, sin carácter resistente y de menor sección que la primera, que, anclada mediante ganchos a los nervios de hormigón del forjado, conforma una superficie plana inferior. Los nervios, armados mediante dos redondos, uno superior y otro inferior, sirven de apoyo de las piezas resistentes superiores, así como de sujeción de las piezas planas inferiores. El forjado carece igualmente de capa de compresión, ya que las piezas entre nervaduras funcionan de manera similar a los tabloneros entre viguerías de los forjados de madera. Con todo ello, y constituyendo el forjado en sí el objeto de una patente que aparece publicitada en 1914, seguramente datada de poco tiempo atrás, parece lógico pensar que Schneider pudiera haber tenido acceso, de una u otra forma, al forjado en cuestión. Así, una importante variación sugerida por él derivaría en el forjado Dom-ino, del que el propio Jeanneret le hace autor tras la reunión mantenida por ambos en Junio de 1915.

Forjados BAL

Una revisión posterior a 1915 en la búsqueda de sistemas de forjados parecidos al planteado por Jeanneret en la Dom-ino conduce hasta el año 1941. El volumen, publicado por el Ministerio de la Gobernación, Dirección General de Arquitectura, *Sistemas especiales de forjados para la edificación*, en el capítulo 2, "Pisos con Piezas Especiales", muestra un sistema denominado "Pisos BAL", de características aún más similares a las de la Dom-ino y que puede



34



35

34. Bovedilla Perret, 1914. Ejecución del forjado. Sección constructiva. Sección resistente.

35. Bovedilla BAL, 1941 Ejecución del forjado. Sección constructiva. Sección resistente.

ser objeto de análisis, pese al gran salto temporal que separa a ambos. La descripción del forjado en concreto reza así:

Los pisos BAL se construyen con unas piezas de hormigón armado en forma de "L", que se colocan de modo que cada dos formen una especie de cajón. Cada uno de éstos se adosa al siguiente, constituyendo un piso, que corresponde al tipo de losa nervada.

Las piezas llevan unas acanaladuras que permiten alojar tanto las armaduras longitudinales como los estribos, cuando sean precisos.

Las piezas tienen, además, alojada la armadura que precisa la losa y son fabricadas en taller, empleando moldes metálicos...

La ejecución se describe de la siguiente manera:

Se colocan unos tableros separados entre sus ejes un metro y, sobre ellos, se disponen las piezas BAL. Una vez colocada una de ellas y la que cierra el cajón, o sea la inferior y la superior, se sitúan, en las acanaladuras de que están provistas las piezas, las armaduras longitudinales, sujetándolas en los ganchos que forma la armadura que lleva cada pieza y las varillas de estribos, si fueran precisas. A continuación se adosa la pieza lateral siguiente, y de este modo se continúa hasta terminar de cubrir el espacio cuyo piso desea ejecutarse.

Colocadas ya las piezas y armaduras del modo descrito, se vierte por los canales verticales que quedan entre las mismas un mortero rico de cemento, fluido, que penetra por gravedad, rellenando los espacios y formando el piso.

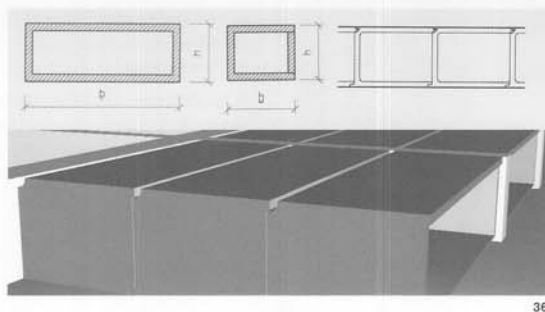
Sólo queda por hacer el rejuntado de los canales horizontales que cortan transversalmente el forjado en su cara superior y en la inferior, si se desea o si se deben absorber momentos negativos, poniendo en este caso la armadura resistente precisa en su zona superior¹⁴.

De esta manera, cubriendo un orden de luz semejante al de la Dom-ino, la pieza básica del forjado son dos perfiles cerámicos en "L" que, solapados, forman una pieza-cajón. Cajón conformado en la Dom-ino mediante el apoyo de cada pieza en "C" sobre la que ocupa la posición contigua. Un breve análisis comparativo entre el forjado Perret, el forjado BAL y el Dom-ino recalca en diferentes aspectos que merece la pena señalar.

Características de la bovedilla

El análisis de la asunción de la capacidad portante de la pieza cerámica componente de cada uno de los tres forjados conduce a las siguientes consideraciones: la bovedilla Perret presenta como pieza portante el tablón superior que la conforma. El tablero inferior adquiere sólo misiones de tipo funcional y estético, en el sentido de que se emplea para la conformación del falso techo liso. Así, la inercia de la sección resistente de la misma es la obtenida del espesor con que se dota al tablero superior cerámico, contribuyendo la disposición de los hierros a resistir los esfuerzos. La bovedilla BAL, conformada mediante la unión de dos piezas en "L", a modo de viga-cajón, presenta en el sentido de las cargas una inercia resistente correspondiente a la sección superior e inferior de la pieza bovedilla, con un canto total igual al del forjado y una anchura igual a la de la pieza bovedilla. Concebida a modo de viga-cajón, presentará dicha sección en el sentido longitudinal de la misma. Esta sección no contribuye, por tanto, a la misión resistente de la pieza, por presentar su mayor inercia independiente de las cargas a soportar. Las caras del cajón sirven además de encofrados de los nervios adyacentes. La bovedilla Dom-ino, conformada mediante una única pieza y apoyada sobre la pieza contigua, presenta la misma sección en su sentido longitudinal que la pieza BAL, correspondiente a dos tableros, uno superior y otro inferior. En el sentido transversal, la viga se convierte en un verdadero cajón, lo que supone un importante salto cualitativo con respecto a las anteriores soluciones, dado el aumento considerable de la inercia resistente para la absorción de los esfuerzos. Este hecho es el resultado de la consideración y el estudio, a diferencia de las otras soluciones, de la sección transversal a la dirección de la viga biapoyada a la que se asimila la pieza bovedilla, y a la longitudinal, como en el caso anterior. Dicha sección transversal es la que realmente debe asumir la misión portante y resistente, dada la disposición del resto del conjunto. El modo de colocación de las piezas bovedillas "apoyadas" cada una en la contigua puede asimilarse a la disposición de las unidades Dom-ino, en la que cada unidad

¹⁴ Ministerio General de la Gobernación. Dirección General de Arquitectura, *Sistemas especiales de Forjados para la Edificación: Tipos aprobados y revisados por la Sección de Investigación y Normas*, Madrid 1941, "Pisos con piezas especiales. Pisos BAL", pp 31-34.



36. Bovedilla Dom-ino, 1915. Ejecución del forjado. Sección constructiva. Sección resistente.

apoya su estructura en la siguiente, esta colocación representa, en ambos casos, un avance importante con respecto a una simple yuxtaposición.

Conformación de la bovedilla

De anteriores consideraciones surge el hecho de que ya la conformación de la pieza bovedilla en sí marca diferencias importantes entre uno y otro sistema. La bovedilla Perret propone una disposición de las piezas que conforman el tablero superior independiente de las del inferior. La bovedilla BAL se construye mediante la yuxtaposición de dos piezas complementarias en "L", de las que sale una pieza cajón. La bovedilla Dom-ino es, por el contrario, la única que procede de taller como una unidad que sólo requiere ser colocada en obra, sin necesidad de ningún tipo de montaje. Nace así el concepto de la prefabricación, que sólo en este último sistema será llevado hasta sus últimas consecuencias. La pieza constructiva servida ya conformada desde taller supone, en relación con las dos primeras soluciones, un importante avance en la calidad y rapidez de la ejecución.

EJECUCIÓN Y SISTEMA DE ENCOFRADO

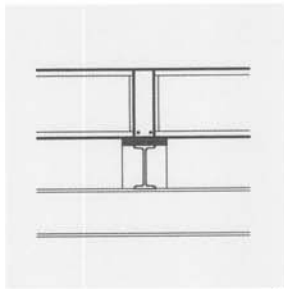
La ejecución del encofrado pasa por tres fases fundamentales: Encofrado, disposición de armaduras y piezas cerámicas, y hormigonado.

Encofrado

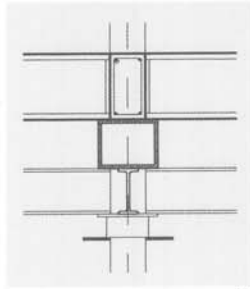
El sistema de encofrado empleado para la conformación y hormigonado del sistema Dom-ino aparece gráficamente descrito en los mismos croquis iniciales que muestran e ilustran la conformación del forjado. De ahí se puede deducir que forjado y encofrado fueron definidos en un mismo momento, con lo que todo parece indicar a Schneider como el autor de ambos. El sistema en cuestión está definido en la descripción general de la *Obra Completa*: "un sistema de andamiaje muy simple de viguetas doble T, suspendidas temporalmente de unos collarines que se fijan a la cabeza de cada pilar".

En la misma, Jeanneret asegura: "Este hormigón armado está

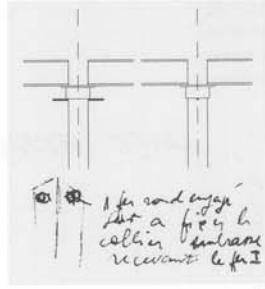
hecho sin encofrado"¹⁵. Una afirmación que no es del todo cierta si se analiza el sistema. Tanto vigas como nervios presentan su base conformada mediante la previa disposición de un entablonado y sus caras laterales limitadas por las piezas bovedillas, a modo de encofrado. El encofrado de madera se dispone sobre un doble orden de perfiles IPN, colocados perpendicularmente uno respecto del otro: un primer orden de perfiles IPN, sobre el que se coloca un tablón de madera a modo de encofrado inferior de los nervios del forjado, que sirve a su vez de apoyo de las piezas de cerámica armada, conforma con éstas el cuenco correspondiente a dichos nervios. Estos perfiles discurren paralelamente, con una distancia de intereje igual a la de los nervios (un metro aproximadamente) y apoyados a su vez sobre un segundo orden de perfiles IPN, de mayor entidad que los primeros y que, discurrendo perpendicularmente, les sirven de apoyo. Sobre este segundo orden se dispondrán igualmente los perfiles-cajón de madera, encofrado base del sistema de vigas-jácena y de atado. La conformación de un perfil en cajón de madera está pensada para poder alcanzar desde el segundo orden de perfiles IPN, situados en un nivel inferior (por servir de apoyo al primer orden de perfiles), la altura correspondiente a la cara inferior del forjado, que se corresponde a su vez con la de las vigas. De igual manera que, en los nervios, las propias piezas cerámicas conforman los laterales de las vigas-jácena y de atado. Este segundo orden de perfiles se asienta en los pilares mediante la disposición de unos collarines colocados en la parte superior de los mismos, que, a su vez, se sujetan a la cabeza del pilar sobre dos redondos dispuestos perpendicularmente, que se dejan embutidos en la masa del hormigón. Sin embargo, es evidente que la colocación de dos redondos perpendicularmente hace que éstos no queden en el mismo plano a la hora de apoyar un collarín sobre los mismos y que éste descansa sobre las cuatro caras del pilar. Igualmente, la disposición de un solo redondo de cara a cara del pilar haría bailar el collarín. La forma más conveniente para hacer que este sistema de sujeción cumpla su misión sustentante sería embutir en la masa de hormigón de la cabeza del pilar cuatro redondos en cada una de sus cuatro caras, de modo



37



38



39

37. Sistema Dom-ino. Encofrado de los nervios del forjado. Un tablero de madera sobre un perfil IPN sirve de base del nervio, así como de apoyo de las piezas bovedillas. El IPN apoya a su vez sobre otro perfil dispuesto transversalmente a un nivel inferior.

38. Sistema Dom-ino. Encofrado de las vigas. Un cajón de madera sobre un perfil IPN (el situado en el nivel inferior) sirve de base para las vigas y de apoyo para las piezas cerámicas. El IPN apoya a su vez sobre unos collarines dispuestos en la cabeza del pilar.

39. MD-C-25. Sistema Dom-ino. Sistema de apoyo del encofrado del forjado sobre la cabeza del pilar. Collarines de apoyo de los perfiles IPN. Los collarines son apoyados sobre unos redondos que atraviesan la cabeza del pilar.

que ofrecieran el plano de apoyo buscado. Este sistema de apeo presenta cuatro ventajas muy significativas por el empleo de rollizos y piezas de madera:

Evita la disposición de puntales en la sujeción del encofrado de vigas y nervios, con lo que, durante la obra, la planta queda libre de todo elemento auxiliar vertical.

Permite el libre juego en la altura del forjado, antes limitada a la altura de los puntales, aun cuando éstos fueran variables en altura. Ahora ésta puede ser aumentada tanto como se estime oportuno.

La disposición de elementos metálicos supone poder realizar un montaje más rápido, aparte de presentar una mayor durabilidad y resistencia respecto a anteriores disposiciones de apeo en madera.

Por último, la sustitución de los antiguos rollizos de madera por piezas metálicas permite reutilizarlas, máxime cuando el sistema en conjunto planteaba la ejecución masiva de unidades estructurales idénticas.

Sin embargo, presenta algunos inconvenientes bajo el punto de vista estructural: este tipo de sujeción supone la introducción de una carga aislada muy importante en la cabeza de los pilares recién construidos: la carga correspondiente al peso propio del forjado que sobre ellos apoya, para la cual el pilar recién construido no está lo suficientemente preparado (y menos cuando dichos pilares cuentan con una sección tan reducida, 15 x 15 cm), por lo que habría que esperar al menos 28 días para que el hormigón alcance el fraguado mínimo para su puesta en carga. Esto supone estructuralmente un retroceso con respecto a la distribución uniformemente repartida mediante puntales del peso de un forjado sobre los inferiores. Otro problema adicional es la posible rotura a cortante del propio redondo, al recibir a través del apoyo del collarín una carga tan elevada.

Se propone un mínimo cálculo para averiguar la carga a resistir por el redondo:

Área de influencia del forjado para el pilar más desfavorable:

$$S = 4,20 \times (2,10 + 1,05) = 13,23 \text{ m}^2 \text{ de forjado descansarían}$$

sobre el collarín de la cabeza del pilar.

Se supone que el peso propio del forjado es de 267,1 kg/m²,

por asimilación con la forjado BAL de 1941, dada la similitud de su composición con la del Dom-ino.

Carga sobre cada redondo:

$$267,1 \text{ kg/m}^2 \times 13,23 \text{ m}^2 = 3,54 \text{ T} / 2 = 1,77 \text{ T}$$

A esta carga habría que sumarle el peso de los perfiles IPN que forman parte del sistema de encofrado.

Si suponemos que el primer orden de perfiles está compuesto aproximadamente de IPN-200 y que el segundo orden de perfiles de IPN-180 (según se desprende de los dibujos de Jeanneret), el peso que descansaría sobre el collarín sería:

$$\text{Peso IPN-200} = 26,3 \text{ kp/ml}$$

$$\text{Peso IPN-180} = 21,9 \text{ kp/ml}$$

Con lo cual, y teniendo en cuenta la longitud de perfiles que descansan sobre el pilar:

$$P_t = 26,3 (4,20 + 2,10 + 1,05) + 3 \times 21,9 \times (2,10 + 1,05) = 0,4 \text{ T}$$

Así, la carga correspondiente a cada redondo es de 0,2 T, lo que hace una carga total de $(1,77 + 0,2) = 1,97 \text{ T}$

Dada la proximidad del punto de apoyo de la carga con la cara exterior del pilar, puede considerarse que el esfuerzo al que dicha carga somete al redondo es un cortante puro. La excentricidad es tan pequeña que el momento resultante de la aplicación de la carga puede ser considerado despreciable.

Comprobada la hipótesis de que el hierro utilizado en 1915 podía ser asimilable a un acero sin corrugar A-316 (dato aportado por expertos en rehabilitación de obras coetáneas a la Dom-ino), se trataría de comprobar si la resistencia a esfuerzo cortante del redondo (en T) es superior a 1,97 T; con lo que el redondo aguantaría la carga a la que se ve sometido.

La resistencia de cálculo para el acero seleccionado viene determinada por la expresión:

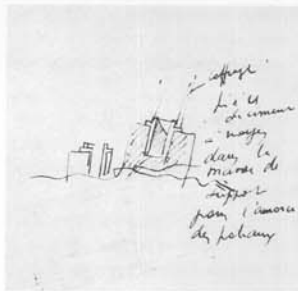
$$\sigma_s = \sigma_s / v_s$$

donde

σ_s , para el acero seleccionado, es un valor que se va a estimar en 2.000 kp/cm², un valor inferior al realmente empleado, que deja la comprobación dentro de los márgenes de la seguridad.

$v_s = 1,1$: coeficiente de minoración de la resistencia, por considerarse que el acero no presenta un límite elástico mínimo garantizado.

Por lo que



40. MD-C-18 (Carnet 1915, FLC 110). Estudio del sistema de encofrado de los pilares. "Encofrado // piezas de cemento para embutir en la masa soporte para sujetar los pilares".

40

$$\sigma_v = \sigma_c / v_a = 2.000 / 1,1 = 1.818,18 \text{ kp/cm}^2$$

En un estado de cortadura simple ($\theta_x = \theta_y = 0$), la condición de agotamiento es:

$$\tau_v = \sigma_v / \sqrt{3} = 1.818,18 / \sqrt{3} = 1.049,72 \text{ kp/cm}^2$$

Suponiendo que el redondo empleado por Jeanneret fuera un $\varnothing 20$ (aunque posiblemente sería mayor, dada la costumbre constructiva de la época de emplear redondos de gran dimensión), la sección resistente del mismo sería:

$$S_{\varnothing 20} = \pi r^2 = 3,14 \times 1^2 = 3,14 \text{ cm}^2$$

De tal forma que la carga total de agotamiento a cortante es:

$$Q = 1.049,72 \times 3,14 = 4.744,76 \text{ kp} = 4,75 \text{ T} > 1,97 \text{ T}$$

Al someter al redondo a una carga cortante inferior a la admisible, se concluye que *no se producirá la rotura a cortante* del redondo dispuesto de manera temporal en la cabeza del pilar.

Cabe igualmente la comprobación de si dicho redondo pasante en la cabeza del pilar no produciría el desgarramiento del hormigón, al tratarse de una carga aislada importante que actúa sobre éste. La carga total transmitida por el redondo al hormigón es de $(1,97 \times 2) = 3,94 \text{ T} = 3.940 \text{ kp}$, distribuida linealmente en una longitud de 15 cm (distancia de cara a cara del pilar). La carga por cm^2 aplicada de esta forma al hormigón (suponiendo un redondo de $\varnothing 20$ y la columna de hormigón bajo el mismo) sería de $3.940 / (15 \times 2) = 131,33 \text{ kp/cm}^2$.

Dado que se ha supuesto el empleo de un hormigón de 160 kp/cm^2 , y al ser la carga de compresión inferior a este valor, se puede deducir que *no se produce el desgarramiento* del hormigón en el punto donde se apoya el redondo. Tras todo ello se concluye que el sistema de sujeción del encofrado sería válido desde el punto de vista mecánico, al no sobrepasarse en ningún caso el valor de agotamiento de ninguno de los materiales que inciden en la carga. Según las anteriores consideraciones, el sistema podría ser mejorado mediante la disposición de cuatro elementos verticales metálicos (a modo de pilares), situados junto a cada una de las caras del pilar, para recoger y conducir hasta el suelo la carga eventual del forjado en ejecución. Un sistema que salvaría los inconvenientes estructurales antes citados, trabajando independientemente sin necesidad de disponer de los elementos constructivos recién construidos. En cuanto al sistema global de encofrado, hay que señalar en este punto dos cues-

tiones fundamentales que arrojan dudas sobre su validez. En principio, parece que Jeanneret no tuvo en cuenta el proceso de desencofrado de la planta baja del conjunto. Esta omisión hace que, tras el hormigonado del forjado correspondiente a la misma, todo el sistema de encofrado metálico correspondiente a dicho nivel se pierda y no pueda recuperarse para una nueva puesta en obra. Asimismo, el sistema de sujeción de cargas basado en un perfil IPN que apoya en sus dos extremos sobre dos collarines dispuestos en las cabezas de los pilares se hace inviable en el caso de las bandas de forjado correspondientes a los vuelos. Ante la falta evidente de uno de los puntos de apoyo de los perfiles metálicos, sería necesaria (tal y como se representa en los planos constructivos) la disposición de un entramado auxiliar para el apoyo del sistema de encofrado de dichas bandas exteriores de forjado.

Disposición de armaduras y piezas cerámicas

Una vez dispuesto el encofrado del conjunto se procede a la colocación de las piezas cerámicas, apoyadas lateralmente sobre los tablonetes-encofrado de los nervios y vigas. Dichas piezas deberán ser dispuestas de forma que cada una apoye sobre la contigua, y así sucesivamente. Tras ello se procede a la distribución de la armadura: la armadura de los nervios (2 redondos en la cara inferior), la armadura de las vigas (4 redondos, dos en cada cara), la armadura de reparto del forjado, conformada a base de redondos dispuestos longitudinalmente en una pequeña acanaladura superior de las piezas cerámicas, situada en la arista de unión entre unas y otras. Los redondos se dispondrán de manera continua en la dirección mayor de las piezas, es decir perpendicularmente a los nervios, así actúan tanto de armadura de reparto como de conexión entre piezas y nervios.

Hormigonado

Se procederá al hormigonado de todo el conjunto. Vigas y nervios son conformados de manera unitaria y monolítica, por vertido del hormigón en los cuencos correspondientes. Seguidamente, mediante el vertido de una lechada de cemento, se cubrirán las acanaladuras donde están los redondos de reparto. El estado fluido de la lechada tiene que rodear completamente la sección de los redondos de reparto, produciendo la unión entre piezas y nervios:

"un material de características especiales, que permite crear losas completamente lisas por arriba y por abajo"¹⁶.

La disposición de una capa de base de pavimento y la colocación de éste conformarán el acabado final del forjado de piso Dom-ino.

LOS PILARES

Es evidente que los pilares ocupan un terreno poco definido dentro del sistema constructivo del conjunto Dom-ino. Realizados en obra con una sección cuadrada de 15x15 cm y con una altura libre de 3 m, la construcción de los mismos, así como su armado, no fue detallada por Jeanneret ni en la definición del sistema ni en ninguno de los documentos gráficos del mismo. Únicamente, una de sus primeras anotaciones recoge la opinión de Schneider de que tanto los pilares como los forjados deberían ser conformados a pie de obra, tal y como fueron planteados posteriormente por Jeanneret. En otro de los croquis del cuaderno de mano, deja intuir alguna información acerca del modo de unión de los pilares con la masa de hormigón:

Una pieza especial, cuya sección se detalla, queda embutida en la masa soporte del hormigón, bien de la zapata en los pilares de planta baja, bien del forjado inferior en el resto, antes de proceder al hormigonado. Mediante un sistema de machihembrado, a dicha pieza de unión se añadirá posteriormente la pieza perimetral de encofrado del pilar. El vertido del hormigón a través de esta última hará penetrar la masa del material en el espacio libre interior de dicha pieza especial, introducida previamente en la sección, así como en el interior del forjado. En este sentido, cabe la discusión de si, con este sistema, se puede efectivamente lograr la perfecta unión entre piezas y masa soporte. La ausencia de armadura en espera (al menos tal y como lo describe Jeanneret en su croquis) plantea la duda sobre el necesario empotramiento del pilar de hormigón en el nudo estructural. La ausencia de definición acerca de la armadura de unos pilares con una sección tan reducida conduce igualmente a la conclusión de la inexistencia de un estudio profundo por parte de Jeanneret sobre unos elementos fundamentales en el proceso estructural y constructivo.

LA ESCALERA

Anteriormente han sido definidas estructuralmente las losas de escaleras como paños inclinados de forjado apoyados lateralmente en vigas que, a su vez se apoyaban superior e inferiormente en vigas-jácena correspondientes a los diferentes niveles salvados. Jeanneret resolverá la escalera mediante el empleo de las mismas piezas cerámicas componentes del forjado, un detalle que queda recogido en su cuaderno de croquis. La nueva ubicación de las piezas, con igual misión resistente que en el entrevigado del forjado, pasa por la conversión del perfil en "C", mediante la eliminación de un ala (o parte de ella), en un nuevo perfil en "L". Dichas piezas se colocan sobre las vigas inclinadas laterales con el mismo sistema de apoyo: cada pieza en la contigua, dando forma así al perfil escalonado del conjunto. Con este procedimiento, la propia definición de las piezas limita y a la vez conforma el perfil y dimensión de la huella y de la tabica de la escalera. De esta forma, como algo inherente a este sistema constructivo concreto, se encuentra nuevamente el concepto de la prefabricación. Una misma pieza sirve para la resolución de diferentes elementos constructivos, forjado y escalera, con misión estructural y conformadora respectivamente. Con ello, la resolución de elementos particulares no requiere componentes específicos. En claro intento por aunar y unificar el conjunto, Jeanneret consigue hacer de la pieza cerámica básica del forjado el elemento constructivo básico de todo el conjunto.

LA CUBIERTA

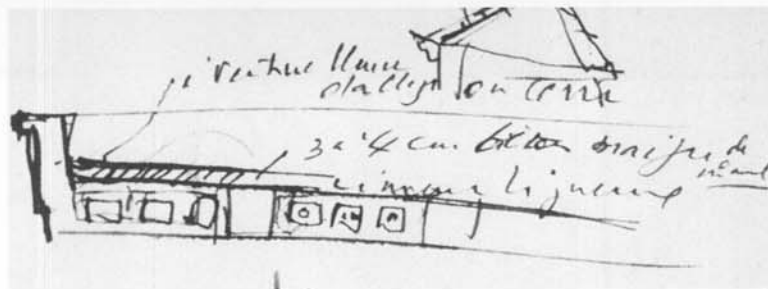
El tema de la cubierta aparece en el cuaderno de croquis de Jeanneret como una de las cuestiones a consultar con Auguste Perret. Varios son los aspectos señalados por Jeanneret como objeto de cuestión:

*El tejado,
aislamiento,
cornisa,
plantaciones, árboles, etcétera*¹⁷.

— 16 *Ibid.* — 17 MD -C - 02 (Carnet 1915.FLC-79). Estudio constructivo de la cubierta.



41



42

41. MD-C-23 (Carnet 1915, FLC 115). Sistema de ejecución de los escalones. Las mismas piezas bovedillas del forjado, previamente cortadas, se van apoyando sucesivamente y conformando la sección escalonada.

42. MD-C-02 (Carnet 1915, FLC 79). Estudio constructivo de la ejecución de la cubierta plana junto con la especificación de sus componentes.

Temas surgidos del planteamiento de una cubierta plana a modo de cubrición del conjunto, planteada ya por Tony Garnier para las casas de hormigón de su Ciudad Industrial: el aislamiento, que se convierte en el principal escollo a la hora de hacer viable la disposición plana de la cubierta, en lugar de anteriores planteamientos en pendiente. La nueva disposición plantea el tema de la cornisa, que adoptará ahora muy diferente carácter con respecto a anteriores planteamientos, tanto desde un punto de vista funcional como formal.

La idea de la conversión de la cubierta en una terraza-jardín acarrea el problema añadido de la posible plantación de árboles, que se suma al general de la evacuación de las aguas. Éste será, años después, uno de los "Cinco Puntos de la Nueva Arquitectura". La disposición de la cubierta, levemente esbozada en la sección transversal del conjunto estructural, se detalla en uno de los croquis explicativos del cuaderno. Los dibujos de Jeanneret muestran la siguiente conformación constructiva:

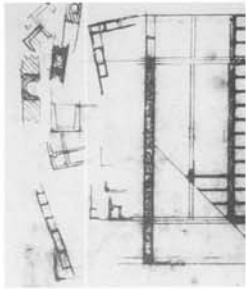
Sobre el forjado, de canto 20 x 22 cm (aun cuando más tarde se amplíe a 28 cm por cuestiones de resistencia), se dispone: una capa de cemento fluido o lechada de cemento para poder penetrar entre las juntas, logrando así el recubrimiento de los redondos de reparto y la unidad del conjunto; una capa de 3 a 4 cm de mortero bastardo, de carácter más elástico frente a los efectos térmicos. El acabado de cubierta presenta varias posibilidades: travertino blanco, losa o tierra.

En cuanto a la evacuación de las aguas pluviales, una pequeña planta seccionada deja ver la disposición de un bajante situado en el punto central de uno de los planos medianeros. Jeanneret volcará todas las pendientes de cubierta hacia dicho punto. Sin embargo, la disposición del elemento bajante supone la ruptura, al atravesar el forjado, de la viga de atado que discurre paralelamente a la medianera, justo en el punto de máximo momento positivo de la misma. Un problema que podría haber sido solventado con la disposición algo más interior del bajante, que sólo habría supuesto la ruptura de una de las piezas cerámicas en el punto concreto de la planta.

CERRAMIENTOS

La configuración de los cerramientos muestra la misma filosofía constructiva que la empleada en la resolución de la escalera; el elemento conformador básico surgirá del empleo de la misma pieza cerámica del forjado. Con ello quedan demostradas sus numerosas posibilidades formales y constructivas, ya que dicha pieza es empleada en forjado, cerramientos y escalera, resolviendo así todos los elementos no realizados en hormigón armado dentro del conjunto. En el caso del cerramiento, el perfil inicial de sección en "C" se simplifica, por la eliminación de una de sus dos alas, en una "L" como pieza base (al igual que sucedía en el peldaño de la escalera), esta vez en la conformación de cajones. Así, la yuxtaposición de dos piezas en "L" conformará un cajón interior que será posteriormente relleno con aislante mediante turba. Con ello, el resultado constructivo está basado en la disposición de dos láminas de cerámica armadas entre las que se dispone una capa interior de aislante. Las piezas cerámicas son colocadas yuxtapuestas, de igual manera que ocurría en el forjado y la escalera, aprovechando los resaltes y hendiduras de las mismas en la conformación de la cadena. Una solución cuya referencia anterior cabe buscarla en la conformación del cerramiento de la "Casa-botella" de Perret, quien entre dos paneles de hormigón disponía igualmente el aislante. Incluso en uno de los croquis de Jeanneret, éste apunta la posibilidad de hacer los paños de ladrillo como "Grandes paneles de ladrillo. Hacer también paneles de hormigón moldeado y enlucido sobre el hormigón", referencia exacta de la disposición constructiva de Perret en su "Casa-botella".

Asimismo, la visita de Jeanneret a la Exposición Berlina de la Construcción de 1910 habría abierto las perspectivas del arquitecto hacia nuevos materiales de cerramiento. Un interés que le llevaría años después a la obtención de una patente para un cerramiento conformado sobre la base de esta inicial filosofía de la Dom-ino. Su intención queda ya esbozada en la primera de las descripciones del conjunto: "Otra patente: tabiques aislantes moldeados"¹⁸.



43. MD-A-012 (FLC 19139). Diversos croquis de disposición y ensamble de las piezas cerámicas conformadoras del cerramiento exterior.

43

La conformación del cerramiento es especialmente cuidada en el paño de medianería. En éste, como se ha apuntado, el apoyo en la estructura se realiza cómodamente sobre un ensanchamiento de la viga de atado que la limita con la cara exterior de los pilares. Dichos pilares quedarán constructivamente embutidos en el cerramiento, que discurre así de manera continua, sin ser interrumpido por tacones. La opacidad final de las fachadas del planteamiento Dom-ino contrastará con los criterios de libertad con que se diseñaron. A pesar de la supuesta libertad en la conformación de los vanos, que sugiere soluciones de carácter muy transparente, llama la atención la falta de transparencia de las soluciones propuestas, en las que los vanos no irán más allá de las propuestas tradicionales.

PARTICIONES INTERIORES. ELEMENTOS DE CARPINTERÍA Y CERRAJERÍA

Poco dejó dicho Jeanneret sobre la realización de los elementos de partición a lo largo del desarrollo del proyecto Dom-ino. La única referencia a los mismos, en la primera definición del conjunto estructural, ubica el momento de la realización de todos los elementos de distribución interior como posterior al levantamiento del esqueleto estructural: "Distribución interior a realizar en adelante"¹⁹.

Jeanneret sólo hará alusión a la libertad de los sistemas de partición con respecto al esquema estructural, sin llegar a detallar, ni escrita ni gráficamente, sus materiales ni su modo de construcción concreto. Las plantas de distribución de los distintos tipos los muestran con un espesor de 5 cm, lo cual, unido al hecho de la prefabricación estimada para los mismos, apunta a una posible solución de los elementos de partición interior mediante algún tipo de tablero. Será en 1929 cuando Jeanneret detallará en la *Obra Completa* el modo de ejecución concreta de los mencionados elementos y su relación con el conjunto estructural:

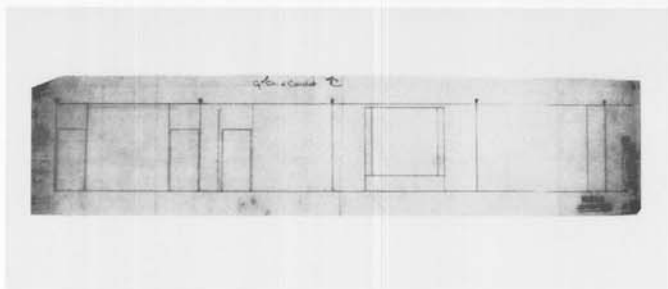
Se ha concebido la idea de una Sociedad, hermana de la primera, que suministrará todos los elementos de equipamiento de la casa, es decir todo aquello que pueda ser fabricado en serie, siguiendo las medidas estándar y respondiendo a las múltiples necesidades de un equipamiento racional: ventanas, puertas, bote-

lleros estándar para las alacenas, armarios o muebles contruidos como tabiques.

Se trata de una realización en taller completamente innovadora: las ventanas se ajustarán a la estructura Dom-ino; las puertas quedarán fijadas a sus carpinterías y alineadas con los armarios, a modo de tabiques. Después, y sólo en este momento, comenzarán a construirse los muros exteriores o los tabiques interiores²⁰.

La anterior explicación constructiva constituye una de las principales novedades del planteamiento del sistema en 1929 con respecto al desarrollo de 1915. Un método de ejecución, por tanto, que explica la gran cantidad de documentación que hace referencia a los desarrollos lineales, en alzado, de los paramentos interiores conformadores de cada habitación para los distintos tipos de distribución. Cuatro paramentos representados a modo de alzado continuo, donde Jeanneret representa de manera acotada todos y cada uno de los elementos que conforman las paredes de cada habitación (puertas, ventanas, armarios...). La idea no es otra que la perfecta concreción de todos los elementos de partición interior. Unos elementos cuya perfecta definición venía exigida por el hecho de que, decididos los distintos tipos distributivos, cada elemento realizado en taller debía ser correctamente ajustado y montado en obra. Esta documentación, junto con la correspondiente a la distribución interior para cada tipo y las medidas planteadas por Jeanneret para uno u otro caso, permite extraer la conclusión de que el diseño de los elementos de partición interior no se ajusta a ningún sistema modular concreto. Planteados los elementos de puertas y ventanas como elementos estándar, las restantes dimensiones están regidas únicamente por criterios de distribución y tamaño de cada habitación, fuera del sistema modular estructural de cada tipo. Así, el módulo afectará sólo al ámbito estructural, mientras que los tabiques interiores serán dimensionados para "completar" o "rellenar" la inicial disposición de los elementos estándar. Un paso más lejos, en este sentido, lo dará, años después, el ya maestro Le Corbusier quien, al proyectar las unidades de vivienda correspondientes a las Unidades de Habitación, diseñará hasta el último de sus elementos componentes según el sistema de medidas de su creación: el Modulor.

— 19 *Ibid.* — 20 Le Corbusier et Pierre Jeanneret, *Œuvre Complète 1910-1929*, op. cit., pp 23-24.



44

44. MD-A-064 (FLC 19210). Alzado desarrollado de los elementos de partición de una habitación.

5. VIABILIDAD ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVA DEL SISTEMA DOM-INO

LA OPINIÓN DE PERRET

Cabe ahora plantearse la viabilidad de la propuesta Dom-ino, tanto desde el punto de vista estructural como constructivo. El propio Jeanneret, con dudas al respecto, no vaciló en acudir a su maestro en hormigón armado, Auguste Perret, para someter a su juicio el planteamiento de reconstrucción, tal como lo indica una carta remitida a Dubois el 15 de junio de 1915.

15 de Junio de 1915. (...) He ido a ver a Auguste Perret. Le he llevado mis dossiers de reconstrucción. Los ha encontrado muy bien y no ha hecho ninguna objeción, salvo que nuestro procedimiento puede servir para hacer fábricas, colegios, edificios públicos, etcétera.

Auguste Perret cree que nos hacen falta vigas un poco más fuertes y ha dicho que nuestra estructura mejoraría si se pudiera financiar por una sociedad de préstamos hipotecarios para hacer que no deba ser financiada por la municipalidad o los particulares; he ahí el problema.

Igualmente hay que prestar atención al encofrado...²¹

La mirada de Perret es considerada por aquel entonces como una de las más fiables en lo que se refiere a la corrección de un planteamiento surgido del empleo del hormigón armado. Su aprobación y el ánimo prestado a su joven alumno pudieran ser, sin embargo, interpretados erróneamente. Así, aunque la aprobación de un maestro especialista en el diseño y construcción en hormigón armado, seguro conocedor de la normativa vigente relativa al empleo del mismo, pudiera conducir a la aceptación estructural y constructiva del planteamiento, merece la pena prestar atención a la fecha concreta de la carta enviada por Jeanneret a Dubois: el 15 de junio de 1915. Estudiada la cronología referente a la información Dom-ino, en este momento, inicios del verano de 1915, en que el planteamiento del sistema Dom-ino había sido ya plasmado en croquis (todos los del cuaderno de croquis son anteriores al 21 de junio de 1915) y comenzaba el desarrollo en profundidad del mismo, tanto a nivel es-

tructural como constructivo (todas las fechas aparecidas en los documentos de estudio son posteriores a la de la carta). Así, la aprobación de Perret alude únicamente al planteamiento general de la idea Dom-ino, así como de los principales objetivos y pretensiones de la misma, y no respecto al sistema estructural y constructivo detallado concreto, tal y como erróneamente puede interpretarse por la forma en la que Jeanneret se dirige a Dubois. La aprobación del maestro francés se refiere por tanto a la viabilidad concreta del planteamiento, pero no al desarrollo particular del mismo.

LA SOLICITUD DE PATENTE COMO PRUEBA DE LA VALIDEZ DEL SISTEMA

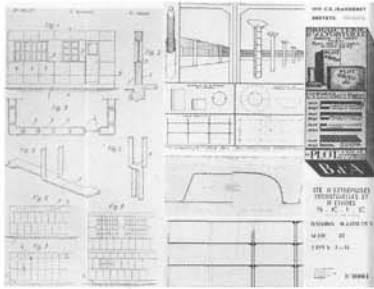
Planteado el desarrollo Dom-ino como base arquitectónica para un proyecto de repoblación de las ciudades, el primer objetivo del proceso era la obtención de una patente. La verificación de la misma por parte del organismo oficial correspondiente suponía la aprobación técnica del desarrollo constructivo y estructural planteado y establecía el visto bueno por parte de las autoridades especializadas, tanto por su corrección como por el cumplimiento de la normativa específica relativa al empleo del hormigón armado en la edificación: la todavía vigente "Circular Ministerial Francesa del 20 de Octubre de 1906 para el empleo del Hormigón Armado"²². En respuesta a una carta escrita por la investigadora Eleanor Gregh a Max Dubois, en relación con el documento de patente, recibía la siguiente respuesta del ingeniero, fechada el 16 de agosto de 1978:

La demanda de patente fue depositada en París el 11 de enero de 1916 por mí, por encargo del demandante Jeanneret. Se trataba de una demanda, pero no de la atribución de la patente.

Dado que el pago de los derechos no se realizaba sino después de la concesión de la patente (un proceso que duraba casi doce meses), no importaba que se hiciera una demanda sin gastos, ya que la demanda constituía el derecho de anterioridad y protegía contra los que tuvieran la misma idea.

Todo ello tranquilizó por otra parte a Jeanneret en su obsesión de que su idea fuera copiada.

— 21 Joyce Lowman, *Le Corbusier: 1900-1925. The Years of the Transition*, op. cit., p 276. — 22 Ministère des Travaux Publics, des Postes et des Télégraphes. Direction du Personnel et de la Comptabilité. Service Intérieur, *Instructions relatives à l'emploi du béton armé. Circulaire. Paris, le 20 octobre 1906*. Publicado en Paul Planat, *Emploi du Béton Armé. Analyse des expériences*



45

45. Patentes recogidas a nombre de Charles-Édouard Jeanneret anteriores a 1920.

Una idea simple que yo había tenido sin esfuerzo, pero que Jeanneret, con su entusiasmo juvenil, había decidido convertir en una revolución.

Supongo que la patente no fue nunca atribuida porque la idea no era patentable...

Max Dubois. 16 de Agosto de 1978²³.

He realizado una búsqueda de la patente (o de su solicitud) en el Institut National de la Propriété Industrielle francés, en el departamento correspondiente al Registre National du Commerce et des Sociétés, sin resultado alguno. La búsqueda ha abarcado el período 1900-1925, bajo los nombres "Dubois", "Jeanneret", "Schneider", "SABA" y "SEIE", sin más resultado que las patentes a nombre de Jeanneret de 1919 y posteriores. Idéntica indagación ha sido realizada por la autora en el Instituto Federal Suizo de la Propiedad Industrial, así como a través de la Embajada Suiza, con idéntico resultado. Tras lo cual cabe concluir que, si bien parece que la patente fue solicitada por Dubois el 1 de enero de 1916 (este dato no puede ser contrastado desde la propia institución), nunca fue otorgada, dada la falta de información de la misma en el organismo competente. Puesto que otras patentes del mismo período han aparecido, la ausencia de la patente Dom-ino demuestra la inexistencia de ésta.

COMPROBACIÓN TEÓRICO-ESTRUCTURAL DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA VIGENTE EN 1916 RESPECTO AL EMPLEO DEL HORMIGÓN ARMADO EN EDIFICACIÓN

Se propone a continuación la revisión, bajo el punto de vista de las prescripciones de la normativa, de los principales componentes estructurales y constructivos relativos al sistema Dom-ino: pilares, forjados y vigas.

Se pretende, en definitiva, aportar algo de luz sobre aspectos planteados anteriormente, que sólo pueden ser concretados contrastándolos con la normativa vigente en 1916 como único criterio válido bajo el punto de vista estructural. Así, se procede al cálculo

estructural de cada uno de los elementos de la estructura Dom-ino mediante el procedimiento fijado por la Circular Ministerial Francesa del 20 de octubre de 1906. Dicha Circular establecía los cálculos de resistencia según métodos científicos basados en datos experimentales y no según procedimientos empíricos. Tras encontrar defectuosa la mayoría de las teorías de los diversos constructores, el Gobierno francés obligó a éstos a establecer los cálculos tal como se estipulaba en dicha circular, a fin de unificar los métodos, anular el empleo de las fórmulas empíricas y evitar catástrofes. De este procedimiento, *El hormigón y sus aplicaciones*, de Arrizabalaga, Zubiñas y C^a, bajo la dirección de Ramón Sarriá, publicado en Bilbao en 1910, adjunta un sistema resumido de cálculo para los distintos elementos estructurales. Por tratarse de un resumen simplificado de la citada Circular, el cálculo Dom-ino se ha realizado siguiendo los pasos y especificaciones descritos por Sarriá, con la ayuda de las distintas tablas de cálculo elaboradas según las prescripciones de la normativa francesa. Se toma como punto de partida la hipótesis de semejanza del material con el de 1915, fecha en la que fue concebida la Dom-ino, para poder fijar unas condiciones de resistencia, deformabilidad y durabilidad concretas. Así, se procede al cálculo a partir de la asimilación que el hormigón empleado en la Dom-ino presentara las mismas características del que en 1910 fabricaba la empresa bilbaína Arrizabalaga, Zubiñas y C^a, teniendo en cuenta dicha consideración a la hora de realizar el análisis de los resultados.

Características del hormigón (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a)

Se considera un hormigón de las siguientes proporciones:

0,800 m³ de gravilla (malla máxima 0,025),

0,400 m³ de arena (que no tenga granos de más de 0,005 a 0,007)

300 k de cemento Portland artificial y la cantidad de agua necesaria para la compacidad de la masa sin que resulte excesivamente fluida.

El hormigón de esta composición no se aplasta al cabo de 90 días sino por una carga de 160 k por cm² y, aplicando la regla que

faites sous la direction des commissions ministerielles et instructions officielles. Formules théoriques, Librairie de la Construction Moderne, Paris 1906. — 23 Eleanor Gregh, "The Dom-ino Idea", *op. cit.*, p 82, nota 41.

aconseja la circular francesa, se le puede someter a un trabajo de $0,28 \times 160 = 44,8$ k por cm^2 .

Así pues, tomaremos un hormigón de las siguientes características resistentes:

resistencia a los 90 días: 160 kg/cm^2

tensión máxima de trabajo: $44,8 \text{ kg/cm}^2$

Las unidades empleadas a lo largo de todo el desarrollo son las utilizadas en la circular ministerial.

Cálculo de los pilares

Constituimos nuestros pilares englobados dentro de un prisma de hormigón cuadrado o poligonal, barras verticales enfrente de cada ángulo. Estas barras las reunimos de distancia en distancia por rios-tras constituidas por hierros redondos de la forma indicada.

En los pilares, las barras verticales se unen con el hormigón para contribuir a la resistencia total.

El hormigón y las armaduras longitudinales soportan únicamente el esfuerzo de compresión. Las armaduras transversales no participan directamente, pero aumentan notablemente la resistencia del hormigón, evitando que éste se hinche y se desagregue.

Cuando consideramos pilares soportando fuertes cargas recurrimos al hormigón zunchado. En este caso reemplazamos la riostra de nuestro sistema por un alambre de acero enrollado en hélice alrededor de las armaduras longitudinales. El paso de la hélice es más o menos grande según la carga que actúa.

Teniendo en cuenta lo anterior y que las dimensiones de los pilares Do-mino son de $0,15 \times 0,15$ m, se procede al cálculo de la armadura necesaria para los mismos. Para ello, se procede al cálculo del pilar más cargado, AA.

Las teorías expuestas en la circular ministerial francesa no son prácticas para determinar la armadura y las dimensiones de los pilares; son más bien métodos de comprobación, una vez determinados los elementos que constituyen las diferentes piezas del hormigón armado.

En nuestros cálculos determinaremos las armaduras y dimensiones por métodos particulares y luego comprobaremos los resultados para que queden satisfechas las condiciones impuestas por la mencionada circular.

Para los pilares consideraremos que el hormigón trabaja a la compresión de 30 k por cm^2

Considerando P como la carga que actúa sobre el pilar a y b las dimensiones de éste, el hormigón sin armadura resistirá (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a):

$$a \times b \times 30 \text{ k} = X \text{ k}$$

donde:

$$a = 0,15 \text{ m}$$

$$b = 0,15 \text{ m}$$

con lo que:

$$X = 15 \times 15 \times 30 = 6.750 \text{ k}$$

Cálculo de la carga que actúa sobre el pilar, P

$$P = A \times P$$

Donde:

$$A = \text{área de influencia del pilar (m}^2) = 4,20 \text{ m} \times (2,10 + 1,15) \text{ m} = 13,65 \text{ m}^2$$

$$P = \text{peso por m}^2 \text{ del forjado (k/m}^2) = \text{con carga (kg/m}^2) + \text{sobrecarga (kg/m}^2)$$

Sobrecarga:

Para viviendas (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a), se da un valor entre 200 y 250 kg/m^2 . Se tomará 250 kg/m^2

Con carga:

según el catálogo del forjado BAL, de 1941, con el que se realiza una asimilación por la similitud de su composición con el del Dom-ino, el peso propio es de 267,1 kg/m^2 .

Cargas permanentes:

$$\text{solería} = 80 \text{ kg/m}^2$$

$$3 \text{ cm de capa de mortero de agarre} = 60 \text{ kg/m}^2$$

Todo lo cual hace un valor de $P = 657 \text{ kg/m}^2$

Con lo que $P \text{ total} = A \times P = 13,65 \text{ m}^2 \times 657 \text{ kg/m}^2 = 8.968 \text{ kg}$ es la carga total que actúa sobre el pilar.

Un pilar de 15×15 (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a), con una resistencia a la compresión de 30 kg por cm^2 , tiene una resistencia de 6.750 T.

La diferencia entre P y X será la carga que tiene que soportar la armadura,

$$Z = P \text{ total} - X = 8.968 - 6.750 = 2.218 \text{ T}$$

y la sección de hierro necesaria será:

$$S \text{ (m/m}^2\text{)} = Z/R = 2.218 / 12 = 184,83 \text{ m/m}^2.$$

Se disponen cuatro aceros trabajando a 12 kg por mm², lo cual (según tabla de Arrizabalaga, Zubiñas y C^a) lleva a la disposición de una armadura de 4Ø8.

Se dispondrá una armadura en pilares de 4Ø10.

La realización del cálculo de los pilares, siguiendo las pautas establecidas por la norma de hormigón al uso, conduce a un resultado que merece ser comentado. Así, el establecimiento de unas medidas y de una armadura para los mismos, concretas y situadas dentro de los intervalos de valores estipulados por dicha disposición ministerial, no debe inducir al error de asumir un resultado cuyas consecuencias prácticas no son en ningún momento aceptables, al menos desde la perspectiva de la actualidad. Es decir, sin poner en duda la corrección del proceso de cálculo de esos pilares de 15 cm de lado armados con 4Ø10, hay que señalar las siguientes consideraciones:

La dimensión de los pilares, de 15 cm de lado, conforma unas piezas demasiado esbeltas tanto para las luces que se han de salvar como para las cargas que se han de recibir. La práctica de la época llevaba, sin embargo (según expertos consultados) a la realización de pilares incluso más pequeños (de 10 cm). El hecho es achacable al momento inicial que se está viviendo en la aplicación de una nueva técnica, el hormigón armado, sobre la que se están efectuando los primeros ensayos de carga y deformación. La disposición ministerial no asume otra carga en el pilar que la vertical correspondiente a la carga del forjado que actúa sobre la cabeza del mismo, y hay conceptos como los del posible punzonamiento del forjado debido a la esbeltez de dichos pilares o la ruptura a cortante en su cabeza, que son todavía desconocidos para los técnicos redactores de dicha disposición.

La armadura, calculada simplemente para cubrir el esfuerzo axial por compresión del pilar, se adivina insuficiente (el cálculo conduce al empleo de un Ø8) para cubrir tanto las posibles tracciones del pilar, consecuencia del momento a que éstos están sometidos (sobre todo en los pilares de esquina), como el cortante que afectará en mayor medida a los extremos de la pieza. Así, es la propia Norma de Cálculo la que carecía de perspectiva para plantear una serie de conceptos fundamentales sobre los que todavía

en 1906 no se había profundizado, debido al corto período de práctica y puesta en obra del hormigón armado. Por otra parte, se ha efectuado una revisión de proyectos de la época referidos a viviendas realizados por Perret y Garnier en hormigón armado para unas luces y unas condiciones de carga semejantes.

Perret, en su "Casa-botella" de 1908, había empleado pilares de 20 cm de lado. En otros proyectos posteriores, ésta será la dimensión elegida para los mismos (Casa del Director en Grand Queville, de 1922, o el Hotel en Rue Nansouty, París, de 1924). Garnier, en las casas de hormigón armado para su Ciudad Industrial, recurría siempre a pilares superiores a 25 cm (llegando incluso hasta 40 cm). En este sentido, se ha de constatar que los maestros de la época se mostraban más prudentes que los redactores de las tablas de cálculo. Todo ello se traduce en una intención de Jeanneret, con respecto a las pautas dimensionales elegidas por sus maestros en hormigón, de reducir aún más la dimensión de los elementos verticales.

Cálculo de las vigas y de los nervios

Estimamos que en las vigas es necesaria, en todos los casos, la doble armadura. Llamamos doble armadura a la disposición que consiste en poner barras en la parte inferior y superior de la viga: las primeras trabajando a tensión, las segundas a compresión.

Disponemos las barras de tensión de la siguiente manera: dividimos la sección total de hierro en dos partes iguales, adoptando para cada parte el número de barras necesarias para satisfacer a la sección hallada. La primera parte de las barras se coloca en la parte baja de la viga, de manera que la parte inferior de las barras esté separada 0,015 m de la cara inferior de la viga; estas barras serán siempre rectas. La segunda parte de las barras se colocará sobre las primeras, curvándolas de modo que en los arranques vengan a la parte superior de la viga. De este modo se coloca la armadura en consonancia con las variaciones del momento flector y se disponen las partes curvas en la posición más favorable para contrarrestar al esfuerzo cortante.

Las barras de la armadura superior se colocan siempre rectas y en igual número que la serie de barras rectas y curvas de la parte inferior. En nuestro sistema adoptamos los ganchos aconsejados por el Sr. Messenger en las barras que pueden estar expuestas a deslizarse,

como son las barras curvadas y las barras de dilatación y compresión. Las barras de tensión las terminamos en pata de cabra. Las ligaduras están constituidas por estribos de varillas redondas de 7 mm de diámetro de la forma indicada en la figura siguiente, en la que empleamos la sección transversal y longitudinal de una viga de nuestro sistema.

Se ha procedido al cálculo con el mismo procedimiento, tanto de las vigas-jácena como de las vigas de atado y los nervios del forjado, por actuar todos a modo de vigas independientes cargadas linealmente.

El método indicado por la circular ministerial no es práctico para determinar la armadura con rapidez. Determinamos la armadura inferior trabajando a la tensión, para luego comprobar los resultados a fin de ver si éstos satisfacen las condiciones impuestas por la circular.

Arrizabalaga, Zubiñas y C^a establecen un procedimiento según el cual se calcula la sección, bien de una viga, bien de un forjado, en la mitad de la luz de éstos.

Hacemos trabajar al hormigón a 45 k por cm² (máximo) y el metal a la tensión de 12 kg por mm².

Si z es el brazo de la palanca del par de flexión, es decir la distancia del eje de la armadura en tensión al eje de compresión, se tomará $z = 0,88 h$ en el caso de una viga, siendo h la distancia del eje de la armadura a la cara superior del forjado comprimida.

Cálculo de las vigas-jácena

Se considera para dicho cálculo una viga de 4,20 m de luz y sometida a la carga lineal correspondiente a su área de influencia, 2,10+1,05 m. Considerando la viga biapoyada, se consiguen unas condiciones más desfavorables en cuanto al valor del momento flector que considerándola continua.

Armadura inferior

Si z es el brazo de palanca del par de flexión, es decir la distancia del eje de armadura en tensión al eje de compresión:

$$z = 0,88; h = 0,88 - 0,255 = 0,2244 \text{ m}$$

donde h es la distancia del eje de la armadura a la cara superior del forjado comprimido; $h = 0,255$ m para el forjado Dom-ino de 28 cm de espesor.

Si M es el valor del momento flector, determinado como en las vigas metálicas, empleando la fórmula correspondiente para forjados:

$$M = Pl^2 / 8$$

y

P , carga lineal que actúa sobre la viga.

$$P = 750 \text{ k/m}^2 \times (2,10 + 1,05) \text{ m} = 2,362 \text{ T/m}$$

l , luz de la viga = 4,20 m

Con lo que el valor del momento flector máximo es:

$$M = 2,362 \times 4,2^2 / 8 = 5,20 \text{ Tm}$$

El esfuerzo de tensión o de compresión es igual a:

$$F = M / z = 5,20 / 0,2244 = 23,18 \text{ T}$$

De donde, para hallar la sección de armadura, bastará con dividir el valor de F por el coeficiente de resistencia del acero a la tensión, que consideramos igual a 12 k por mm²:

$$S^{\text{tensión}} = F / 12 = 231,8 / 12 = 19,31 \text{ cm}^2$$

Una sección para la que se puede disponer (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a) una armadura de 4Ø25, o bien 2Ø36 (en los croquis de Jeanneret aparecen dibujados 2 redondos).

Dada la anchura de las vigas de 15 cm, se hace imposible la disposición, físicamente hablando, de 4 barras de diámetro 25 mm, pues no queda espacio material (en 15 cm) para los correspondientes recubrimientos de dichas barras. Por otro lado, diámetros superiores, como el diámetro 36 mm, están hablando de barras con grandes dificultades en su disposición en obra, dado el imposible doblado en la realización de patillas o solapes.

Armadura superior

La sección de armadura necesaria en compresión es aproximadamente, en la mayoría de los casos, el 1/4 o 1/5 de S .

$$S^{\text{compresión}} = - S^{\text{tensión}} = 19,31 / 4 = 4,82 \text{ cm}^2$$

Una sección para la que se puede disponer (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a) una armadura de 2Ø18. Una sección de armadura de cuantía, con respecto a la del hormigón, algo más coherente que la estimada en la zona inferior de la viga.

Estribos

Si llamamos:

l a la luz de la viga; $l = 4,2$ m

p el peso permanente por metro lineal; $p = 2,362$ k/m

S la sobrecarga, $S = 657 \text{ k} / \text{m}^2$

El valor del esfuerzo cortante en el apoyo será:

$$E_a = (p+S) l / 2 = (2,362 + 657) 4,2 / 2 = 6.339,9 \text{ k}$$

El esfuerzo cortante máximo en la mitad de la viga estará dado por:

$$E_m = S \times (l / 2) \times (l / 4) = 657 \times (4,2 / 2) \times (4,2 / 4) = 1.448,68 \text{ k}$$

La distancia de las ligaduras (estribos) al apoyo lo dará:

$$x_a = (1.300 \times n \times h) / E_a$$

donde:

n es igual al número de filas de ligaduras o estribos;

h es la altura total de la viga.

Los estribos empleados son siempre varillas de 7 mm de diámetro.

con lo que:

$$x_a = (1.300 \times 2 \times 0,28) / 6.340 = 0,11$$

En la mitad de la viga tendremos:

$$x_m = (1.300 \times n \times h) / E_m = (1.300 \times 2 \times 0,28) / 1.448,68 = 0,50$$

Para obtener el número de estribos de una viga basta con tomar la media aritmética entre estas dos distancias y dividir por esta media la longitud de la viga.

$N = l / ((x_a + x_m) / 2) = 4,2 / ((0,11 + 0,50) / 2) = 14$ estribos
Como hay dos filas de estribos, $14 \times 2 = 28$ estribos, a los que se añaden 2 ó 3 más en el apoyo (2 más aquí); con lo que se dispondrán $N = 30$ estribos de 7mm. Para un canto de la viga de 28 cm, la longitud de cada estribo (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a) es de 0,86 m y de un peso de 0,258 k. Los estribos se colocan uniformemente a lo largo de toda la viga, sin estimarse una distribución de los esfuerzos de valor variable a lo largo de ésta. La carencia en la Norma de un estudio exhaustivo acerca de la posible rotura por cortante y punzonamiento en los extremos de las vigas induce al error de la estimación de la validez de vigas y pilares en la asunción de dichos esfuerzos. La esbeltez de los pilares (15 cm) con respecto al canto del forjado (28 cm) pone en duda la validez de dichas secciones con respecto al problema en cuestión.

Cálculo de las vigas de atado

Se toma para este cálculo una viga de 4,20 m de luz con sendos vuelos en los extremos de 1,05 m y sometida a la carga lineal correspondiente a su área de influencia (1 m). Considerando la viga

biapoyada, se consiguen unas condiciones más desfavorables en cuanto al valor del momento flector que considerándola como continua.

Armadura inferior

Si z es el brazo de palanca del par de flexión, es decir la distancia del eje de armadura en tensión al eje de compresión:

$$z = 0,88; h = 0,88 - 0,255 = 0,2244 \text{ m,}$$

donde h es la distancia del eje de la armadura a la cara superior del forjado comprimido; h = 0,255 m para el forjado Dom-ino de 28 cm de espesor.

Si M es el valor del momento flector, determinado como en las vigas metálicas, empleando la fórmula correspondiente para forjados:

$$M = Pl^2 / 8$$

y:

P, carga lineal que actúa sobre la viga.

$$P = 750 \text{ k/m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,75 \text{ T/m}$$

$$L, \text{ luz de la viga} = 4,20 \text{ m}$$

Con lo que el valor del momento flector máximo en el punto central de la viga es:

$$M_1 = 0,750 \times 4,22 / 8 = 1,65 \text{ Tm}$$

Y el momento en el punto de apoyo correspondiente a la influencia del vuelo es cuatro veces el momento correspondiente a una viga biapoyada con una luz igual a la longitud del vuelo:

$$M_2 = 4 \times 0,750 \times 1,052 / 8 = 0,41 \text{ Tm}$$

El esfuerzo de tensión o de compresión es igual a

$$F_1 = M / z = 1,65 / 0,2244 = 7,36 \text{ T}$$

$$F_2 = M / z = 0,41 / 0,2244 = 1,82 \text{ T}$$

De donde, para hallar la sección de armadura, bastará con dividir el valor de F por el coeficiente de resistencia del acero a la tensión, que consideramos igual a 12 k por mm²;

$$S^{\text{tensión}} = F / 12 = 73,66 / 12 = 6,13 \text{ cm}^2$$

Una sección para la que se puede disponer (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a) una armadura de 2Ø20 (en los croquis de Jeanneret aparecen dibujados 2 redondos).

Armadura superior

La sección de armadura necesaria en compresión es la correspondiente por el vuelo.

$$S_{\text{tensión}} = F / 12 = 182,7 / 12 = 15,22 \text{ cm}^2$$

Una sección para la que se puede disponer (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a) una armadura de 2Ø10.

Estribos

Si llamamos:

l a la luz de la viga; $l = 4,2 \text{ m}$

p el peso permanente por metro lineal; $p = 750 \text{ k/m}$

S la sobrecarga, $S = 750 \text{ k/m}^2$

El valor del esfuerzo cortante en el apoyo será:

$$E_a = (p+S) l / 2 = (750 + 750) 4,2 / 2 = 3.150 \text{ k}$$

El esfuerzo cortante máximo en la mitad de la viga estará dado por:

$$E_m = S \times (l / 2) \times (l / 4) = 750 \times (4,2 / 2) \times (4,2 / 4) = 1.653,75 \text{ k}$$

La distancia de las ligaduras (estribos) al apoyo lo dará:

$$x_a = (1.300 \times n \times h) / E_a$$

donde:

n es igual al número de filas de ligaduras o estribos,

h es la altura total de la viga.

Los estribos empleados son siempre varillas de 7 mm de diámetro.

Con lo que:

$$x_a = (1.300 \times 2 \times 0,28) / 3.150 = 0,2311$$

En la mitad de la viga tendremos:

$$x_m = (1.300 \times n \times h) / E_m = (1.300 \times 2 \times 0,28) / 1.653,75 = 0,4402$$

Para obtener el número de estribos de una viga basta, pues, con tomar la media aritmética entre estas dos distancias y dividir por esta media la longitud de la viga.

$$N = l / ((x_a + x_m) / 2) = 4,2 / ((0,23+0,44) / 2) = 13 \text{ estribos}$$

Como hay dos filas de estribos, $13 \times 2 = 26$ estribos, a los cuales se añaden 2 ó 3 más en el apoyo (2 más aquí); con lo que se dispondrán $N = 28$ estribos de Ø7mm. Para un canto de la viga de 28 cm, la longitud de cada estribo (según Arrizabalaga, Zubiñas y C^a) es de 0,86 m y de un peso de 0,258 k.

Cálculo de los nervios del forjado

Los nervios del forjado tienen un esquema estructural igual al de las vigas de atado, con idéntica área de influencia que aquéllas. La única diferencia entre ambas radica en que, mientras las vigas de atado tienen un ancho de 15 cm, el de los nervios es de 10 cm.

Como este dato no influye a la hora del cálculo de la armadura correspondiente, se considera idéntica armadura tanto para las vigas de atado como para los nervios.

Armadura inferior = 2Ø20

Armadura superior = 2Ø10

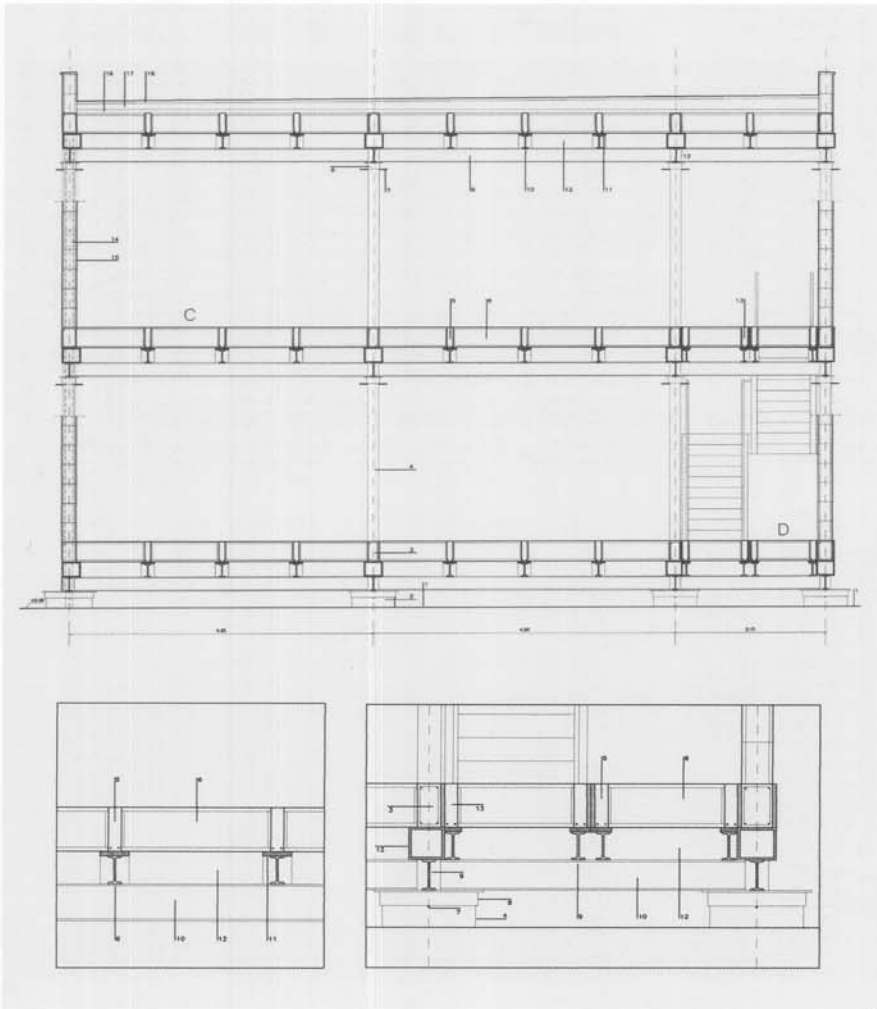
28 estribos de Ø 7mm

No obstante, el cálculo del conjunto según las prescripciones de la Disposición Ministerial de 1906 conduce a la detección de serias deficiencias. La falta de perspectiva con respecto a los primeros resultados fruto del empleo del hormigón armado provoca la omisión de determinados aspectos fundamentales que desembocará en una falta de rigor, evidente en todo cálculo realizado según sus prescripciones. Como ejemplo, la estructura Dom-ino, cuyo cálculo detallado conduce a unos resultados enmarcables dentro de lo estipulado como correcto de acuerdo con la normativa y para la que sólo una visión más alejada puede concluir en el carácter erróneo de muchos de sus aspectos. Finalmente, y en lo referido a la estructura, Jeanneret afirmaba, en la descripción de su patente del año 1915, que cada unidad Dom-ino podía ser levantada y acabada en un período de veinte días. Una afirmación que se intuye en principio muy optimista a falta de más datos al respecto. Con el objeto de realizar una comprobación de la viabilidad de tal estimación se ha procedido a la elaboración de un cronograma de la ejecución de una célula Dom-ino mediante el empleo del diagrama Gant anexo. El estudio cronológico se realiza únicamente para lo que constituye la "estructura Dom-ino" correspondiente al tipo B con escalera de dos tramos. Aun cuando Jeanneret incluyó dentro de los veinte días el "acabado" de la casa, y dado que éste dependería del tipo B concreto, el estudio ha quedado referido únicamente al sistema estructural. Así, se pretende comprobar si la estructura de hormigón proyectada por Jeanneret podría ser ejecutada en el período estimado de veinte días. Para ello se han supuesto unas condiciones laborales y de obra conformes a la época en cuestión (1915), con el fin de poder acercarse a la medida de lo posible el diagrama resultante a la realidad concreta. De esta forma se ha considerado en principio una jornada laboral de diez horas, así como una semana de seis días laborables, tal y como sucedía en el período objeto de estudio. Con respecto a la

- 47. Sistema Dom-ino. Sección constructiva longitudinal.
- 48. Sistema Dom-ino. Sección constructiva transversal.
- 49. Sistema Dom-ino. Sección constructiva transversal con escalera.

1. Cota 0,00 del terreno, establecida como "conveniente" por Jeanneret para lograr la necesaria elevación del plano de planta baja.
2. Pilar enano de hormigón armado H-160, de 60 x 60 cm de sección.
3. Viga de hormigón armado H-160, de 15 x 28 cm de sección, armada con 4 redondos (2r25 en su cara inferior y 2r18 en su cara superior, según cálculo), recogidos mediante estribos (r7 cada 10 cm, según cálculo).
4. Pilar cuadrado de hormigón armado H-160, de 15 cm de lado, armado con 4 redondos (4r10, según cálculo).

5. Nervio de hormigón armado H-160, de 10 x 28 cm de sección y armado con 2 redondos en su cara inferior, según Jeanneret (2r20 en la cara inferior, 2r10 en la superior y estribos de r7 cada 10 cm, según cálculo).
6. Pieza cerámica armada, a modo de cajón y sección transversal en "C", entre nervaduras y 28 cm de canto.
7. Redondo de acero embutido en la masa de hormigón de la cabeza del pilar, como sujeción del collarín dispuesto en apoyo del sistema de encofrado.
8. Collarín metálico sobre el vuelo del redondo con respecto a la cara del pilar, para apoyo del primer orden de vigas IPN



(inferior) del sistema de encofrado.

9. IPN metálico (aprox. IPN-200, según los croquis de Jeanneret) correspondiente al primer orden de vigas (inferior) del sistema de encofrado, de luz igual a la distancia entre caras de pilares (390 cm), apoyado en sus extremos sobre los collarines.

10. IPN metálico (IPN-180, según los croquis de Jeanneret) correspondiente al segundo orden de vigas (superior) del sistema de encofrado, apoyado sobre el primer orden (inferior) y corrido bajo los nervios a lo largo del forjado.

11. Tablón de madera (aprox. de 20 x 4, según los croquis de Jeanneret) dispuesto sobre el ala superior del IPN-180, como

encofrado de base del sistema de nervios del forjado.

12. Viga-cajón de madera (aprox. 25 x 20, según los croquis de Jeanneret) dispuesto sobre el ala superior del IPN-200, como encofrado de base de las vigas.

13. Nervio de hormigón armado H-160, de 10 x 20 cm de sección y directriz quebrada en la conformación de la escalera, para apoyo de las piezas cerámicas que, de forma escalonada, conforman los escalones.

14. Bajante de pluviales de cubierta.

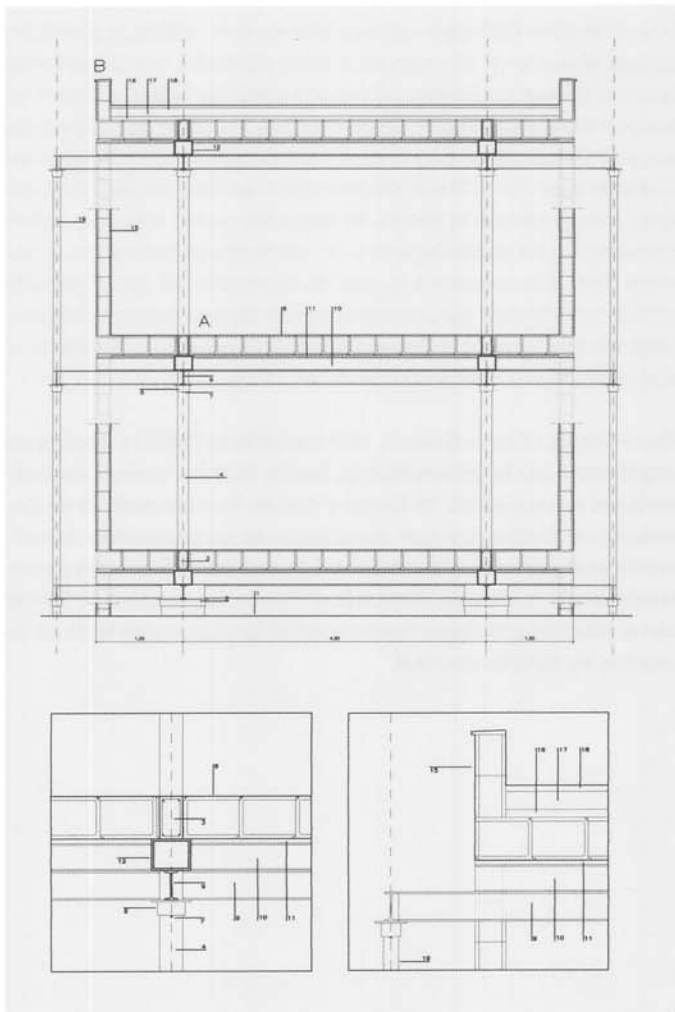
15. Pieza cerámica en "L", de cerramiento que, enfrentada a otra, permite la conformación de un cajón en cuyo interior se dispone

el material aislante (guijo, grava, escombros, cogidos con lechada de cal).

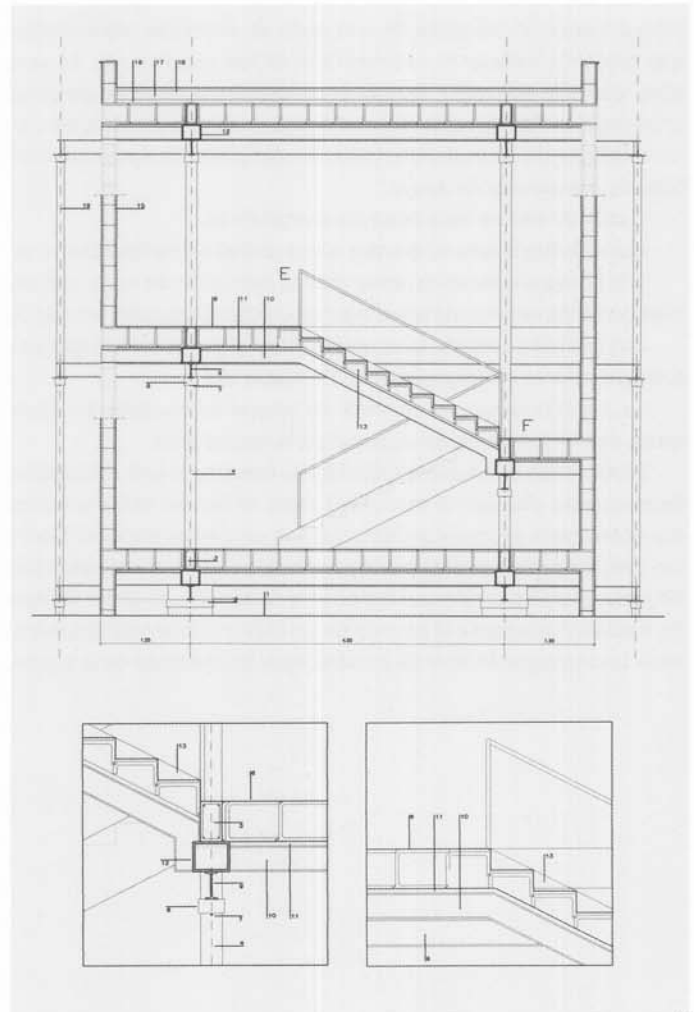
16. Capa de 2-3 cm de espesor de lechada de cemento vertida sobre la cara superior del forjado para lograr la conexión entre las piezas cerámicas y los redondos de reparto.

17. Capa de 3-4 cm de espesor de mortero bastardo para formación de la pendiente de cubierta.

18. Capa de acabado de la cubierta, formada por travertino blanco, losa o tierra.



48



49

propia ejecución, se parte de una serie de premisas elementales que pretende reflejar lo rudimentario de las condiciones de una obra realizada entonces; la realización del hormigón a pie de obra, el transporte de los materiales mediante medios manuales, las características de dichos materiales, en definitiva: la ausencia casi total de maquinaria de apoyo.

Con todo ello se ha procedido al análisis de:

Las distintas tareas inherentes a una unidad estructural Domino.

Los tiempos estimados tanto para la ejecución de cada una de ellas como los necesarios entre algunas de ellas (fraguado, secado...).

Los posibles solapes temporales entre algunas tareas que podrían permitir la simultaneidad en su ejecución.

La consideración del número de operarios posibles en cada tarea, con la limitación del espacio de la propia obra.

El resultado del estudio cronológico conduce a una estimación de cincuenta días (ocho semanas) como el tiempo estrictamente necesario para el levantamiento de una unidad estructural Domino, más del doble de lo estimado por Jeanneret para el acabado total de cada unidad doméstica. Una posible reducción de dicho tiempo de ejecución mediante el empleo de un mayor número de operarios sería bajo todo punto de vista inviable, dada la limitación de la super-

ficie de la obra. Podría ser considerada, en este sentido, la ejecución seriada de la misma, tal y como Jeanneret planteaba, con lo que serían posibles un mayor número de solapes entre las tareas, siempre en función de la organización de las mismas, así como del número de equipos de operarios disponibles para su ejecución (contando en cualquier caso con la limitación del espacio en cada unidad). En cualquier caso, y aunque el tiempo de ejecución podría reducirse sensiblemente, nunca podría llegarse a los veinte días estimados por Jeanneret. Todo ello conduce a la sencilla conclusión de que dicha afirmación fue realizada por Jeanneret con un carácter básicamente propagandístico, lejos de la consideración de la realidad concreta de la ejecución de una obra de hormigón en 1915.

Elena Corres (Vitoria-Gasteiz, 1971), arquitecta (1997) y doctora en arquitectura por la Universidad de Sevilla (2001). Premio Extraordinario del Ayuntamiento de Sevilla y Premio Real Maestranza de Caballería de Sevilla al mejor expediente de su promoción. Actualmente compagina sus labores como profesora de Proyectos Arquitectónicos en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla con el ejercicio profesional como arquitecta. El presente texto es un capítulo de su tesis doctoral.

50. Diagrama Gant para la estimación del tiempo de ejecución del conjunto estructural Dom-ino.

