

Construcción IV

Apuntes de la asignatura del Grado de
Arquitectura de la URV

Dr. Arq. Sergio Coll Pla, Dr. Arq. Agustí Costa Jover, Arq. Jordi Queral Llaberia
25 de Agosto de 2018



Universitat Rovira i Virgili
Escola Arquitectura de Reus
Campus Bellissens,, Av. de la Universitat, 1, 43204 Reus, Tarragona, España
Agost de 2018
www.urv.cat

Autoria: Sergio Coll Pla, Agustí Costa Jover, Jordi Queral Llaberia

Colaboradores: Mauro Viciano Rull, Jorge Hernandez Milan



Aquesta obra està subjecta a la llicència de Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional Creative Commons. Per veure una còpia de la llicència, visiteu <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Índice

1	ACERCAMIENTO AL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN	4
2	INFORMACIÓN BÁSICA	6
2.1	Documentos legales de obligado conocimiento.....	6
2.2	Documentos necesarios para el desarrollo del proyecto	7
2.2.1	Proyecto ejecutivo.....	8
2.2.2	Documentación del seguimiento de la obra	9
2.2.3	Agentes que intervienen en la obra	9
2.3	Importancia de los materiales.	13
3	ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	16
3.1	Terreno	18
3.2	Cimentación.....	19
3.2.1	Cimentaciones superficiales	19
3.2.2	Muros	20
3.2.3	Pantallas.....	20
3.2.4	Cimentaciones profundas:	21
3.3	Forjados	21
3.3.1	Unidireccional:.....	21
3.3.2	Bidireccional:	21
3.4	Pórticos de hormigón y acero.....	22
3.4.1	Estructuras isostáticas.....	22
3.4.2	Estructuras hiperestáticas.....	22
3.4.3	Estudio por separado	23
3.5	Muros.....	24
3.5.1	Construcción tradicional	24
3.5.2	Construcción actual.....	24
4	Bibliografía.....	26

1 ACERCAMIENTO AL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción es un ámbito en el que se accede como parte del proceso necesario para llevar a cabo la estructura del objeto arquitectónico. Es necesario tener en cuenta que la estructura no debe ser subordinada al diseño ni que el diseño se subordine a la estructura, sino que debe haber una coordinación de ambas por parte del proyectista.

Uno de los aspectos más importantes de proyectar es aprender a tener una visión global del proyecto, sólo entendiendo la globalidad se puede trabajar con minuciosidad; aspecto que desarrolló Gaudí cuando dijo:

“El arquitecto es el hombre sintético, aquel capaz de ver las cosas en conjunto antes de que estén hechas.”

Posteriormente también haría gala de uno de los conceptos más difícil de aprender:

“La sabiduría de los ángeles consiste en ver directamente las cuestiones del espacio sin tener que pasar por el plano.”

Uno debe ser capaz de entender el proceso constructivo. Este consejo también fue uno de los que Lina Bo Bardi dio a sus alumnos, insistiendo en la importancia del material para la arquitectura:

“El espacio universal, ilimitado, no se comprende por nosotros, sin su interpretación en los aspectos materiales y sensibles. (...) El espacio se puede extender de manera más definitiva cuando se considere que se limita por una combinación de superficie plana, curva, cilíndrica y esférica. Estas forman los espacios delimitados, definidos y cerrados que en las realizaciones prácticas pueden ser construidos para proteger, contener y acoger. Esos espacios expresan receptividad y consecuentemente nos dan una sugestión psicológica que es bienvenida.”

Aquí observamos la importancia de la materialidad i el resultado final del volumen/espacio. Si no existe esta relación visual final, la arquitectura desaparece. Tenemos que insistir en que estos arquitectos, antes citados, definen la importancia del entendimiento global del arquitecto. Richard Buckminster Fuller (1895-1983), arquitecto americano que influyó en la arquitectura de los 50, expresó uno de los momentos claves en el proceso constructivo, el punto en el que se define la belleza de la arquitectura, ese

momento en el que se decide si un edificio es arquitectónicamente favorable:

“Cuando estoy trabajando en un problema, nunca pienso en su belleza, solo pienso en como resolver el problema. Pero cuando lo termino, si la situación no es bella, se que está equivocada.”

Richard Buckminster Fuller se centraba en el desarrollo constructivo del Pabellón de la Expo 67. Una vez terminaba la obra, si esta no era estéticamente correcta, para él dejaba de ser arquitectura.

El concepto de belleza varía según la sociedad imperante, casi siempre hablaremos de armonía i de proporciones adecuadas. Si se revisa la definición de estética. Platón fué quién desarrolló un tratado sobre la belleza, que acabaría influenciando en Vitruvio. Este último sería el encargado de relacionar dicho concepto con la arquitectura. Vitruvio dijo que un edificio ha de cumplir tres cualidades: Firmitas, Utilitas i Venustas (firmeza, utilidad y belleza). La belleza en este caso, está relacionada con las proporciones, principalmente las del cuerpo humano.

2 INFORMACIÓN BÁSICA

2.1 Documentos legales de obligado conocimiento

Hay numerosos manuales que son de utilidad para la asignatura, como el “Manual de construcción de edificios” de Roy Chudley y Roger Greeno, donde se explican los procesos de construcción modernos y su tecnología asociada; la guía “Aprendiendo a construir la Arquitectura” de Liliana Palaia Pérez donde se explica con claridad todo el proceso a seguir antes de llegar a la obra; o “Construir la arquitectura, del material en bruto al edificio; un manual” de Andrea Deplaze, donde se explica también la importancia del material. Hay otros manuales que responden a una forma de entender la construcción en su definición más estricta del sistema, son el caso de “Claves del construir arquitectónico” de Jose Luis Gonzalez, “La construcción de la Arquitectura” de Ignacio Paricio o “El gros de l’obra; unsapunts de construcció” de Fructuós Mañà Reixac; todos ellos profesores del departamento de construcción de la Escuela de Arquitectura de Barcelona.

El uso de manuales de construcción es bastante antiguo, deberemos referirnos de forma obligada a Marco Lucio Vitruvio quien aúna la mayoría del conocimiento constructivo de la antigua Roma. Su autor se esfuerza por formalizar los conceptos más importantes para la arquitectura, esta, tiene que cumplir con la “Venustas” la “utilitas” y un concepto que se transmitirá hasta la actualidad como es la “firmitas”. Otros autores de igual importancia para esta asignatura son Marco Porcio Catón, quien habló del Opus cuementicium o Plinio el Viejo que habló de los materiales y de su uso en construcción.

La construcción clásica fue recogida por autores renacentistas tales como Leon Baptista Alberti, quien recogió a Vitruvio en su libro Reedificatoria o Copernico quien estudió a filósofos como Pitágoras y Heràclides Póntico. Otro punto clave, previo a la industrialización será el siglo XVIII con Viollet-le-Duc, quien recoge en su “Dictionnaire de l’architecturefrançaise du XIe auXVIe siècle” (1854-68) la arquitectura y los detalles constructivos medievales.

La anterior evolución de la ciencia de la construcción se verá truncada por la industrialización, quien introdujo de forma masiva el hormigón en la construcción. La primera norma española que reguló el uso del hormigón es del 1939 y fue la “Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de

hormigón” publicada por el ministerio de Obras Públicas. En 1941 se aprueba el “Reglamento sobre las restricciones del hierro en la edificación”. En los años 60 la normativa de construcción terminó con las restricciones de material. La actual Instrucción de hormigón estructural EHE 08 unifica la reglamentación de estructuras de hormigón armado, hormigón en masa, pretensado y lo relativo a forjados. Desde la publicación y entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación y sus documentos básicos quedaron derogadas las NBE.

Hasta 1977 la construcción en España estaba regulada mediante normas del ministerio de vivienda, denominadas Normas MV. El 10 de junio de 1977 se aprueba el Real Decreto 1650/1977, sobre normativa de edificación, que describe como se deben organizar todo este tipo de normativas. A raíz de este Real Decreto se desarrollan las Normas Básicas de la Edificación (NBE), de tipo prescriptivo, que son publicadas paulatinamente y por separado en los años posteriores.

En 1999 se aprueba la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), que establece la organización completa de la edificación y sus normativas. La incompatibilidad de las NBE con la aplicación de esta ley obligó a la sustitución de todas ellas por un nuevo conjunto de normas. La propia LOE exige la redacción de un nuevo Código Técnico de la Edificación para su desarrollo. El 17 de marzo de 2006 se aprueba el Real Decreto 314/2006, por el cual entra en vigor el Código Técnico de la Edificación y se derogan las anteriores NBE. Se estableció un plazo de 6 o 12 meses según norma en el cual podían convivir ambas normativas. El apartado DB-HR, de protección frente al ruido, fue aprobado posteriormente al resto en el Real Decreto 1371/2007. El resto de normativas aplicables a la edificación que no se incluían en las NBE no fueron sustituidas por la redacción del CTE.

2.2 Documentos necesarios para el desarrollo del proyecto

Contenido documental de un proyecto está definido por el CTE, en el Anejo 1. En él se relacionan los contenidos del proyecto de edificación. La memoria se divide en Memoria descriptiva, memoria constructiva, cumplimiento del CTE, anejos, planos, mediciones y presupuesto.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde 2006. Es el código de edificación en vigor en el país. En él se establecen los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de las construcciones, definidos por la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE). Sus exigencias intervienen en las fases de proyecto, construcción, mantenimiento y conservación. Es una normativa basada en prestaciones. Aunque el CTE aglutina la mayoría de las normativas de edificación de España, existen otras que siendo vigentes no pertenecen al CTE, como son la Instrucción Española

del Hormigón Estructural (EHE-08) o la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE).

2.2.1 Proyecto ejecutivo

En el CTE se incluyen todos los apartados y documentos que debe contener un proyecto ejecutivo, sin perjuicio de lo que, en su caso, establezcan las Administraciones competentes. Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos, en la memoria del proyecto se hará referencia a éstos y a su contenido, y se integrarán en el proyecto por el proyectista, bajo su coordinación, como documentos diferenciados de tal forma que no se produzca duplicidad de los mismos, ni en los honorarios a percibir por los autores de los distintos trabajos.

El contenido documental del proyecto se inicia con una memòria descriptiva donde se especificant los agentes que intervienen en la obra, los antecedentes del proyecto, datos del edificio, descripción del edificio y prestaciones del edificio, así como sus limitacions.

El segundo apartado a desarrollar es la memòria constructiva, donde se especifica el sistema de sustentación del edificio, como las características del suelo (para lo que hará falta un estudio geotécnico), sistema estructural, hipòtesis para los cálculos, sistema envolvente, sistema de compartimentación, de acabados y sistemas de acondicionamiento e instalaciones (este apartado también incluye a los sistemas antiincendios) y equipamiento que contiene el edificio.

Un tercer apartado justificará las prestaciones del edificio por requisitos básicos y en relación a las exigencias básicas del CTE. Se justificará las prestaciones del edificio que mejoren los mínimos exigidos por el CTE. También se justificarà los reglamentos autonómicos así como los locales y la normativa específica.

El proyecto contendrá tantos anejos como sean necesarios para la definición y justificación de las obras: Información geotécnica; Cálculo de la estructura; Estudio topográfico; Protección contra el incendio; Instalaciones del edificio; Eficiencia energética; Estudio de impacto ambiental; Plan de control de calidad; Estudio de Seguridad y Salud o Estudio Básico, en su caso.

El contenido planimétrico también se encuentra estipulado por el CTE. El contenido mínimo serà: Plano de situación; Plano de emplazamiento; plano de urbanización; Plantas generales; Planos de cubierta; Alzados y secciones; Planos de estructura; Planos de instalaciones; Planos de definición constructiva; Memòrias gráficas y otros;

Otra parte importantes es el pliego de condiciones; disposiciones económicas; Características técnicas; Mediciones y Presupuesto.

2.2.2 Documentación del seguimiento de la obra

Sin perjuicio de lo que establezcan otras Administraciones Publicas competentes, el contenido de la documentación del seguimiento de la ejecución de la obra, tanto la exigida reglamentariamente, como la documentación del control realizado a lo largo de la obra. La documentación obligatòria del seguimiento de la obra es: El libro de ordenes y asistencias; el libro de incidències en materia de Seguridad y salud; El proyecto ejecutivo visado y sus anejos; la licencia de obres y la apertura del centro de Trabajo y en su caso otras autorizaciones administratives; El certificado final de la obra. Una vez finalizada la obra, la documentación de obra será depositada en el colegio profesional pertinente o según corresponda en la Administración pública para su conservación.

2.2.3 Agentes que intervienen en la obra

Los responsables en materia de edificación serán las personas, que la Ley denomina Agentes de la Edificación. La Ley de 5 de noviembre, en su capítulo III, que se denomina Agentes de la Edificación, da un concepto de agentes de la edificación, los enumera y define a cada uno de ellos, estableciendo al propio tiempo sus respectivas obligaciones.

"Son agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas que intervienen en el proceso de la edificación". Sus obligaciones son las determinadas por la Ley de 5 de noviembre de la Ordenación de la Edificación, las demás disposiciones que sean aplicables y las derivadas del contrato que origina su intervención.

Los Agentes de la Edificación, según la nueva ley, son el promotor, el proyectista, el Constructor, el Director de obra, el Director de ejecución de obra, las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación, los suministradores de productos. En cuanto a los propietarios y los usuarios, pese a que la Ley los regula en el mismo capítulo III, lo cierto es que no pueden conceptuarse como Agentes de la edificación, ya su intervención es posterior a la construcción del edificio y además las obligaciones que les impone producen efectos después de que se les haya transmitido materialmente el bien inmueble.

Promotor:

Se considera promotor a "cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente, decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior entrega o cesión a terceros bajo cualquier título". (Art. 9 ,Ley 38/1999, de 5 de noviembre).

Hoy en día es perfectamente conocido que la responsabilidad decenal del artículo 1.591 del C.C. es también exigible al Promotor, sin embargo su exigencia ha sido una labor efectuada por la Jurisprudencia, la que ha declarado que "la figura del promotor es equiparable a la del contratista a los efectos de incluirlo en la responsabilidad decenal.

Con la finalidad de proteger a los adquirentes de viviendas o de edificios, la ley regulada detalladamente las obligaciones del promotor; Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él; Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de la obra las posteriores modificaciones del mismo; Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra; Suscribir un seguro de daños materiales o un seguro de caución para garantizar, durante tres años, el resarcimiento de los daños causados pro vicios o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones que ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad; Suscribir un seguro de daños o un seguro de caución para garantizar, durante diez años, el resarcimiento de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales y que comprometan directamente la resistencia mecánica y estabilidad del edificio. En ambos supuestos, no obstante el promotor podrá pactar expresamente con el constructor que éste sea el tomador de seguro por cuenta de aquél. En estos será el constructor el obligado a suscribir dichos contratos de seguro de daños materiales o de caución; Entregar al adquirente, en su caso, la documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

Proyectista.

El proyectista es "el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto." (Art. 10 ,Ley 38/1999, de 5 de noviembre). Sin embargo, la Ley acoge un concepto más amplio que el de aquél que redacta el proyecto, al admitir la posibilidad de que otras personas complementen el proyecto o redacten parte del mismo, como se desprende de lo preceptuado en los párrafos 2 y 3 del número 1 del art. 10, al disponer: "Podrán redactar proyectos parciales del proyecto o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste."

"Cuando el Proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de esta Ley, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto".

Pueden ser Proyectistas las personas físicas o jurídicas; y en cuanto a su titulación académica y profesional pueden serlo los Arquitectos, Arquitectos Técnicos, Ingenieros o Ingenieros Técnicos. Sin embargo, la Ley establece limitaciones según los tipos de edificios que se vayan a construir (vid. art. 10-2 y artículo 1, apartados 2 y 3).

El Constructor:

"El constructor es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato" (Art. 11 ,Ley 38/1999, de 5 de noviembre).

La Ley, consecuente con su finalidad de regular las responsabilidades del constructor, deficientemente contenidas en el Código Civil, en el artículo 11-2 establece las obligaciones del constructor: Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto; Tener la titulación académica o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor; Designar al jefe de obra que asumirá la representación técnica del constructor en la obra y que por su titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra; Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera; Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato; Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra; Facilitar al director de la obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada; Suscribir los seguros de daños materiales o de caución para garantizar durante un año, el resarcimiento de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras. Además, en el supuesto de que hubiera pactado con el promotor que asumía su condición del tomador del seguro, también deberá suscribir los seguros de daños y caución que corresponden al promotor.

Operarios que dependen del constructor:

El jefe de obra controla una o varias obras; se encarga de estudiar los proyectos, de pedir presupuestos y de realizar ofertas. En las obras adjudicadas, el jefe de obra contrata materiales y oficios, consulta con la dirección facultativa dudas de ejecución, imparte las ordenes alencargado

de la obra y con la ayuda de este, realiza mediciones para el pago de los trabajos a oficios y especialistas y la confección de certificados.

El encargado de obra es la persona escogida entre la mano de obra, por su experiencia y dominio de todos los oficios que puedan necesitarse en la obra, que se encargará de recibir órdenes directas del arquitecto, del aparejador y del constructor transmitirlas a los obreros. Controla la obra en ausencia de la dirección facultativa siendo el responsable permanente a pie de obra

Los operarios: son los trabajadores que ejecutan con sus manos los diferentes componentes del edificio como albañilería, fontanería, electricidad, y otras partidas, pudiendo ser cualificados o no, como oficial de 1º o el peón.

El Director de obra.

"El Director de obra es el agente que, desarrollando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto" (Art. 12 ,Ley 38/1999, de 5 de noviembre).

El Director de la ejecución de la obra.

"El Director de la ejecución de la obra es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado". (Art. 13 ,Ley 38/1999, de 5 de noviembre).

Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación.

Esta figura jurídica se contempla por primera vez en nuestro ordenamiento jurídico privado, colmando una laguna ausente, ya que no se les podía exigir responsabilidad al amparo del artículo 1.591 del Código Civil. La doctrina se había ocupado del tema, señalando Luís Martínez Calcerrada que "hoy en día, por múltiples razones, en particular, por la cada vez más sofisticada tecnología de la construcción, unido al cada vez más acuciante sentido de indefensión y, como remedio, o afán de los técnicos y constructores a ejecutar la obra con las máximas garantías evitatorias de reclamaciones más o menos tardías, se procura, a todo trance, que en la fase adecuada intervengan en una labor de asesoramiento o pericia privada o dictamen profesional unos entes empresariales constituidos al efecto y que cuentan no sólo con personal especializado - arquitectos, ingenieros, etc., amén de personal subtitulado o auxiliar - sino, en particular, con un completo acervo instrumental o material de investigación, mediante los cuales, aceptando el previo encargo conferido por aquellos ejecutores, informan sobre la <<calidad>> de los materiales a emplear, o sobre

cualquier otro aspecto que se les somete a los fines de construir con las debidas garantías".

Los suministradores de productos.

"Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción".

"Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o par te de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución".

En esta materia, aparte de las acciones de repetición que puedan existir contra los suministradores de producto al amparo de esta Ley, debe tenerse en cuenta la Ley 22/1994, de 6 de julio, de responsabilidad civil por los daños causados por productos defectuosos y la Directiva Comunitaria 85/8374, de 25 de julio de 1985, que dejan sin aplicación los artículos 25 a 28 y modifican el artículo 30 de la Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios. (Vid. BOE núm. 161, 7 de julio).

Los propietarios y los usuarios.

Se declara la obligación de conservación a cargo de los usuarios (sean o no propietarios), a través del uso y mantenimiento adecuado, que se habrá de realizar con arreglo a las instrucciones contenidas en el Libro del Edificio.

2.3 Importancia de los materiales.

Para iniciar el análisis del funcionamiento de una estructura podemos empezar estudiando los materiales que la conforman y su comportamiento frente las acciones mecánicas. Las exigencias y requerimientos del material pasan por la realización de controles de fragilidad o agriez o ductilidad, o por el coeficiente de dilatación volumétrica. Una de las propiedades más importantes y que nos obliga a un estudio exhaustivo de los materiales es la isotropía o anisotropía del material: un material isótropo tiene la misma respuesta en todas direcciones a un esfuerzo; en cambio un material anisótropo tiene respuestas distintas a un mismo esfuerzo dependiendo del plano de aplicación. Istropo es el hormigón y anisótropo es la madera o la pizarra o materiales vítreos. A continuación, se muestra una primera clasificación atendiendo a su comportamiento mecánico (En ella se han incluido los materiales más utilizados en estructuras en nuestro país, abarcando la construcción tradicional y la moderna).

Clasificando los citados materiales según su comportamiento, tenemos un primer grupo de pétreos, que se comportan muy bien recibiendo cargas a compresión y muy mal a tracción, los tejidos que son el

inverso y finalmente la madera y el hierro estructural que suelen ser idóneos para cualquier tipo de sollicitación. Para la estructura es importante que los materiales tengan una fase elástica y una zona plástica con el objetivo de prever las posibles patologías del edificio.

La piedra, la tierra, la cerámica y los tejidos fueron empleados para construir desde la antigüedad en lo que nosotros denominaremos “construcción tradicional”, en la que la elección del material estaba supeditada principalmente a su disponibilidad cerca del emplazamiento de la obra. En aquella época el hierro fue empleado de una forma marginal ya que su elaboración era costosa. Con la revolución industrial se introdujo el empleo del hierro de forma extensiva en la edificación, empezando por el hierro colado y, cuando se perfeccionaron las técnicas, hierros tratados de forma que resultaran mucho menos frágiles.

Al hablar de hierros estamos hablando de una familia de materiales con propiedades muy dispares. Podemos definir de una forma simplificada este grupo de materiales como una mezcla en distintas proporciones de hierro y carbono. Así tenemos en un extremo el hierro puro, denominado “dulce”, blando maleable, con poca resistencia mecánica y en el otro el “hierro colado”, con una gran cantidad de carbono disuelto en su interior (más del 2%), frágil, quebradizo pero muy resistente mecánicamente a compresión. Dentro de este intervalo están los denominados aceros, con un contenido medio en carbono, nunca inferior al 2%, elástico, más bien frágiles, con buena resistencia tanto a tracción como a compresión, poco dúctiles y al igual que el hierro colado, difícilmente soldables. En construcción los hierros que se emplean “hierro estructural” son muy bajos en carbono (inferior al 0.3%) pero sin llegar al extremo del hierro dulce; para que tengan buenas prestaciones mecánicas sin ser por ello frágiles y por ello no se les suele denominar aceros sino hierros. Sus propiedades son medias en todos los sentidos, tanto en elasticidad como en ductilidad y algunos de ellos son soldables. El hierro colado es un caso particular de metal que se comporta de forma similar e a un pétreo, aunque con mayores prestaciones.

El acero estructural es un buen material para las estructuras, se trata de un material tenaz. Es importante tener en consideración los posibles problemas de los aceros como los procesos acelerados de oxidación por diferencia de potencial galvanico (pila de corrosión) y los saltos térmicos importantes que le obligan a grandes dilataciones. De esta época podemos datar también el principio de resurgir del hormigón, el cual ya fue empleado con anterioridad a los romanos. Concretamente nace el denominado hormigón armado que consiste en la disposición de barras de hierro en el interior de la masa de dicho material dispuestas en él de forma que suplan su poca capacidad para absorber tracciones. Debe controlarse su compacidad para evitar bolsas de aire que acelerarán la oxidación del acero. Se debe tener en cuenta la carbonatación del hormigón. Para evitarse se recurrirá a la imprimación de pinturas o resinas impermeabilizantes. El

hormigón armado estructural resiste mejor, que el acero, las dilataciones debido a su bajo coeficiente de dilatación (6×10^{-6} en hormigones frente a 12×10^{-6} del acero).

Las maderas se comportan óptimamente cuando las cargas las reciben en una dirección paralela a la dirección de sus fibras. En cualquier otra dirección su comportamiento es peor. Las fábricas son otros elementos de construcción compuesto, en este caso por mortero y fábrica. En ocasiones se instala armado, que por motivos prácticos se evita o se coloca solamente en horizontal. Un aspecto a tener en cuenta son las capacidades mecánicas de los dos materiales; al igual que ocurría en el hormigón armado, donde los diagramas de tensión-deformación del acero y hormigón son semejantes, en este caso debe ocurrir lo mismo.

3 ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Por forma estructural se entiende en general el sistema estructural primario de un edificio o el que domina visualmente. Aunque la mayor parte de los edificios incluye varios sistemas estructurales primarios, alguno sólo tiene uno. La mayoría de los edificios tiene dos o tres sistemas estructurales: uno que resiste las cargas gravitatorias y uno o dos que resisten las acciones horizontales en direcciones perpendiculares; o bien un sistema unidireccional mixto para las cargas verticales y horizontales (en una dirección) completando por otro sistema para las cargas horizontales en la dirección perpendicular. En edificios con más de un sistema estructural y cuando no está muy claro a simple vista cuál es el sistema primario, el concepto de “forma estructural” resulta demasiado simplista. En estos casos es más apropiado hablar de “sistemas estructurales”.

Tal actitud hacia una estructura que “sigue la forma” en lugar de “dar forma” contrasta totalmente con otras posiciones opuestas formuladas en diversos periodos de la historia de la arquitectura. Por ejemplo, Viollet le duc expresaba así las opiniones de los racionalistas estructurales del siglo XVIII:

“Dadme un sistema estructural y yo encontraré formas que resultan de él. Pero si cambiáis de estructura, me veré obligado a cambiar de formas”.

Viollet hablaba pensando en la arquitectura gótica, en la que los muros portantes y los contrafuertes de fábrica definen el cerramiento exterior.

La mayoría de los edificios encajan dentro de la categoría en la que la forma arquitectónica y la estructural ni se integran ni se oponen, sino que más bien existe entre ellas una relación cómoda y a menudo nada llamativa. Suele suceder que dentro de la misma forma arquitectónica coexistan distintos sistemas estructurales. Por ejemplo puede que haya pórticos destinados a soportar las cargas gravitatorias y arriostramientos en cruz para resistir las acciones horizontales. La forma arquitectónica y la forma estructural contrastan entre sí cuando se percibe cierta yuxtaposición de cualidades arquitectónicas como la geometría, la materialidad, la escala o la textura.

Cierto elemento de sorpresa es también una característica común a los edificios con formas contrastantes. A medida que nos aproximamos a un

edificio y tenemos conciencia de su forma arquitectónica, normalmente esperamos encontrar una determinada forma estructural, basada en nuestra experiencia arquitectónica previa. Si la forma real difiere considerablemente de lo que se espera, considerablemente de lo que se espera, es probable que la forma arquitectónica y la estructural contrasten entre sí. Las formas contrastantes bien diseñadas ofrecen muchas posibilidades a una arquitectura interesante e innovadora.

Así la estructura de un edificio constará generalmente de los siguientes elementos:

El terreno: es el sustrato existente en la parcela, no podemos escogerlo, por eso es de gran importancia los estudios geotécnicos

La cimentación: que es el conjunto de elementos que hace posible que el edificio descansa en el suelo, para que este sea estable y duradero.

Los elementos verticales: que se apoyan en la cimentación y reciben las cargas de las distintas plantas. Los hay de distintos tipos; así tenemos los pilares y columnas, que son elementos lineales y los denominados muros de carga, que son elementos planos que sirven como elemento estructural y a su vez como cerramiento o partición.

Los forjados y las losas: que son elementos planos sensiblemente horizontales o a veces deliberadamente inclinados, que a su vez se apoyan en muros y pilares. La distinción entre los términos forjado y losa es sutil y responde a la estructura interior de los mismos; así, se considera losa a un elemento absolutamente macizo y uniforme, mientras que un forjado posee estructura interna a modo de nervios que permite aligerarlo. Dentro de este grupo, cuando un forjado tiene el cometido de separar la planta baja del terreno, se le denomina forjado sanitario.

Los pórticos: que suelen ser elementos complejos formados por muchos elementos lineales unidos entre sí (a modo de esqueleto), con usos variados tales como soportar la cubierta o salvar una distancia muy grande. Un edificio común de planta baja tiene un suelo (con forjado sanitario o sin) y una cubierta (ya sea mediante un forjado o un entramado). Un edificio de varios pisos suele tener un suelo, varios forjados intermedios y una cubierta. Todo ello con unos pilares o muros que hacen de nexo entre la cimentación y los elementos citados.

Muros estructurales: Los muros son elementos formados por diversos materiales, principalmente son el mortero de hormigón, el ladrillo y el acero estructural. El uso principal es el de transferir las cargas, soportar forjados y el de arriostrar el edificio.

Hay edificios singulares que no cumplen este esquema; así tenemos los monumentos u otras construcciones para usos específicos que no suelen

estar organizados por plantas y disponen de pasillos y escaleras interiores para su visita (la Torre Eiffel). En ellos también suele haber forjados, pero con un papel muy secundario. Tradicionalmente, en el mundo de la construcción español, se han venido empleando para designar las cargas el kilopondio y el metro. Así una carga repartida en una superficie se designaba en kp/m^2 . En toda Europa se emplea, actualmente para este cometido, el Sistema Internacional de Unidades, el cual contempla que las fuerzas se expresarán en Newtons y las longitudes en metros. Esta convención es fruto del esfuerzo de los representantes del mundo científico y técnico para conseguir un sistema uniforme con la ambición puesta en que sea universal, para que cualquier persona sea capaz de interpretar un documento técnico. La normativa reciente española, fruto del interés en la armonización con los demás países de Europa, establece como obligatorio el empleo del sistema internacional.

3.1 Terreno

El terreno debe ser considerado como un material constructivo más. Con un inconveniente, es el material del proceso constructivo que no está normatizado, ello provoca que para poder trabajar con él, sea obligatorio la realización de un estudio geotécnico. El estudio geotécnico nos ayudará a escoger el tipo de cimentación. En el código técnico están especificadas las tipologías de terreno así como las formas en que se puede estudiar el terreno. Las características más relevantes de un terreno, aparte de su capacidad portante, compacidad, permeabilidad y plasticidad, son:

- Granulometría: es de suma importancia para tener en cuenta el drenaje y la resistencia, es importante saber las cargas. Saber su redondeo o los cantos nos da seguridad frente a la obra

- Trituración y desgaste: las piedras al rascarse se desgastan, para que esto suceda necesito vibraciones (canal, carretera, río de agua...), por más que estemos lejos de ellas, esto puede pasar siempre.

- Contenido en materia orgánica.

- Agresividad química, muchas veces seguida del contenido de materia orgánica. Para que la vida exista necesito una agresividad del terreno pero a nosotros no nos interesa, nos interesa su resistencia, aún así es un concepto que va ligado al otro.

- Solubilidad: si cuesta que sea soluble significará que tiende a que tengamos inestabilidad del volumen, como muchas veces tenemos arcillas expansivas, que con el aumento de agua varían y pueden producir patologías complicadas.

- Posibles cambios debidos a la excavación, transporte y colocación: si cojo un terreno y me la llevo a otro lugar debemos pensar y mirar cuánto tiempo tarda en alcanzar las mismas características que tenía antes de coger -el de su lugar de origen hasta que vuelva a compactar cuando lo dejan en el lugar transportado.

En el terreno también debemos tener en cuenta la gestión del agua. Uno de los mayores problemas de la existencia de agua es la existencia de una rotura hidráulica, ello es debido a: Presión contraria a la que tenía

previsto, si le quito peso es probable que salga agua. Una rotura viene vía de agua, supresión = abombamiento del terreno; Levantamiento del fondo de una excavación del terreno cerca de un apoyo de una estructura, por excesivo desarrollo de fuerzas de filtración que llegan a anular la presión efectiva, el llamado sifonamiento; Rotura por erosión interna, contacto de dos estratos de diferente granulometría o del terreno con la estructura; Rotura por tubificación, en la que se acaba contruir un tubo por el que, bajo el terreno, se producen importantes flujos de agua; Las temperaturas por debajo de unos 10 grados nos demuestran que evitamos trabajar, incluso por debajo de los 0 grados, ya que el agua se congela y el hielo tiene la problemática de que después s'expansina y termina reventando todo lo que toca.

3.2 Cimentación

Los cimientos es aquella parte de la estructura que està en contacto con el terreno y que garantiza la estabilidad del edificio a partir del equilibrio con la tensión máxima admisible del terreno. Existen los siguientes tipos de elementos pertenecientes a las cimentaciones, estos pueden encontrarse en combinación o de forma individual.

3.2.1 Cimentaciones superficiales

La cimentación directa es aquel elemento que transformará las cargas verticales en horizontales sobre el terreno. Para calcular una cimentación directa nos hace falta saber el axil, el momento, la resistencia del hormigón, el tipo hierro y la resistencia del terreno.

Las cimentaciones directas pueden tener diferentes formas: cuadradas, rectangulares cuya decisión dependerá del arquitecto, ya que es el único capacitado para hacerlo. Lo que no podrá hacer es elegir cualquier dimensión de la zapata, hay unas dimensiones mínimas geométricas a cumplir sea cual sea el terreno según el CTE. La rigidez estructural viene establecida por unos valores determinados, según su vuelo y su canto: Zapata rígida es aquella que su vuelo es menor a 2 veces el canto; Zapata flexible es aquella que su vuelo es mayor a 2 veces el canto.

Las cimentaciones directas tipo combinada, corrida y aislada son casi lo mismo, la única diferencia es que puede variar el muro de cimentación pero el cálculo sigue el mismo proceso.

Las vigas centradores sirven para que no se levante la Zapata sometida a un momento, por lo tanto trabaja a flexión, si tengo un corrimiento de la cimentación no deberían trabajar a tracción. Las vigas centradoras sólo me sirven para desplazar el eje de la cimentación.

Principalmente la combinada, la corrida y la aislada son casi lo mismo, la única diferencia es que puede variar el muro de cimentación pero el cálculo sigue el mismo proceso.

Las vigas de atado estarán siempre en el perímetro para tener los mínimos movimientos horizontales. Cuando calculamos los aros de los forjados, también tienen que aguantar la carga vertical.

Emplearemos zapatas combinadas o corridas cuando tengamos muros de carga. Para hacer zapatas corridas cuando tengo pilares tenemos que conseguir que las cargas en todos los puntos sean constantes por no generar momentos. En el caso de tener una estructura de muros la descargar de la estructura se realizará con la misma tensión, por lo que no tendré esa preocupación. Cuando se utilizan zapatas combinadas o corridas es importante tener en cuenta el paso de las instalaciones por tal de tener una previsión de estas.

El pozo de cimentación es un tipo de cimentación superficial, que sirve para medianas profundidades. Se utiliza cuando el sustrato resistente está a una profundidad variable y se requiere de un sistema que permita regularizar la profundidad de cimentación. Existe de dos tipos: el primer tipo consiste en la colocación de un bloque de hormigón que trabajará a compresión debajo de la zapata; el segundo sistema consiste en la instalación de un plinto que permitirá la rigidización del nudo con el pilar.

Es un tipo de cimentación continua que descarga de forma uniforme a todo el terreno. El emparrillado distribuye en los dos sentidos unas zapatas continuas ligándolo de forma horizontal. La losa distribuye en los dos sentidos un emparrillado continuo de tal forma que colmata toda la cimentación.

Se construirá con una losa siempre que: el porcentaje de superficie a hormigonar sea superior al 60 % del total del terreno; el nivel freático del terreno esté por encima de la cota de cimentación; siempre que se requiera realizar una cimentación por sustitución de masa y peso.

3.2.2 Muros

Un muro de sótano es aquel elemento que se usa para contener las tierras y aguas que se encuentran por encima de la cota de cimentación y que transmiten estas cargas horizontales hasta la cimentación o según el caso, hasta el forjado de planta baja.

Existen diferentes tipos de muros, una primera clasificación los distingue entre los que funcionan a flexión (más altos de 5m) o los que funcionan por gravedad (menores de 5m). En el CTE se especifican todos los tipos posibles de muros. Tipos de muros:

3.2.3 Pantallas

Se denominan pantallas a los elementos de contención de tierras que se utilizan para realizar excavaciones verticales en aquellos casos en los que el terreno, los edificios u otros estructuras fundamentadas por excavación, no serían estables sin ser sujetadas, o bien, se trata de eliminar posibles filtraciones de agua a través de los taludes de la excavación y eliminar o reducir a límites admisibles las posibles filtraciones a través del fondo de la misma excavación, o asegurar la estabilidad frente a un posible sifonamiento. Se constituyen desde la superficie del terreno previamente a la ejecución y trabajan fundamentalmente a flexión. Quedan excluidas las pantallas que tienen únicamente por objeto la impermeabilización o la estanqueidad.

3.2.4 Cimentaciones profundas:

Se considera cimentación profunda aquella que su profundidad es 8 veces superior a su ancho. Las tipologías de cimentaciones están enumeradas y definidas en el CTE. Debemos considerar importante que, este tipo de cimentación tiene dos tipos de forma de Trabajo: uno por fuste, donde todo el tronco de pilote trabaja por rozamiento; o por punta, donde el pilote se apoya en el terreno firme.

También es importante considerar el tipo de pilote para su construcción, ya sea prefabricado o fabricado in situ.

3.3 Forjados

Los forjados son elementos que salvan la luz que hay entre planos verticales y constituyen el elemento resistente de las diferentes plantas de un edificio. Son el principal transmisor de cargas.

Anteriormente, los forjados antiguos, eran ligeros y solamente apoyados en los extremos sin participar en la estabilidad de un conjunto, a diferencia de los actuales, que son pesados, monolíticos y colaboran en la estabilidad del conjunto. Hay diferentes tipos de forjados según la forma en que trabajan:

3.3.1 Unidireccional:

La Transferencia de las cargas a los apoyos se realiza en una sola dirección. Disponen de nervios (elementos transmisores de cargas) y espacios o secciones entre nervios para aliviar el entrevigado (el peso propio). Son forjados de este tipo los de viguetas y semiviguetas prefabricadas, viguetas de madera, viguetas de hormigón "in situ" que trabajen en una sola dirección y losas alveolares prefabricadas.

3.3.2 Bidireccional:

La Transferencia de las cargas a los apoyos se realiza en dos direcciones. Son forjados bidireccionales los forjados reticulares, losas y los forjados de chapa colaborante.

3.4 Pórticos de hormigón y acero

El uso de pórticos se fomenta con el movimiento moderno. El uso de pórticos permite una concepción diferente del espacio, permitiendo que este se fugue en dos direcciones. Un pórtico se define como apoyo formado por elementos lineales (barras) que definen un plano virtual y al menos uno de ellos (el superior o jácena) está sometido a flexión. En el plano del pórtico, es necesario que los elementos que lo componen alcancen estabilidad, sea por nudos rígidos o haciendo un plano indeformable. También hay que estabilizarlo en el plano perpendicular. En la transmisión de acciones hay que asegurar un comportamiento unitario de la estructura para transmitir las acciones verticales y horizontales a través de los elementos de apoyo y de estabilización del terreno.

Hay dos tipos de pórticos según sus características: pórticos isostáticos e hiperestático.

3.4.1 Estructuras isostáticas

En ellas, la unión entre elementos no tiene ninguna rigidez, o no se confía que esta exista y bajo esta denominación se incluyen estructuras resueltas con elementos lineales. En esta tipología de estructuras, el forjado también adopta un papel primordial de transmisión de esfuerzos horizontales y por eso la solución más conveniente es la más monolítica. Las cargas se transmiten por el único camino posible. Para estabilizar la estructura de pórticos se pueden establecer tres recursos para garantizar la estabilidad del conjunto frente a cargas horizontales:

- Colocar elementos rigidizadores tales como muros, como en la construcción tradicional.

- La triangulación: Es normal asegurar la estabilidad en la construcción con elementos conformados a través de diagonales o la conocida como cruz de San Andrés. Esta es una solución especialmente adecuada para construcciones metálicas. Cuanto más lejos estén estos marcos rígidos del núcleo, más eficaces serán.

- Elementos de estabilización: Son elementos constructivos generalmente de carácter mural que se construyen para acometer el papel de estabilizador. Puede tratarse de pantallas de hormigón o núcleos cerrados de obra. Suele estar asociado a elementos verticales de comunicación. La exigencia a cumplir es que deben estar cerca del centro para dar una respuesta mecánica a las acciones horizontales. Estos núcleos trabajan a flexión, como si se tratara de un vuelo empotrada en el suelo.

Este tipo de estructura coincide con un tipo de construcción prefabricada

3.4.2 Estructuras hiperestáticas

Es la solución más sencilla, el problema es que la indeformabilidad del nudo exige una gran rigidez a flexión, es decir las barras que convergen deberán soportar a tracción y a compresión. El acero o el hormigón es el material idóneo ya que permite realizar uniones con una notable rigidez, así los elementos trabajan en conjunto. Las flexiones que se originan tanto por esfuerzos gravitatorios como por horizontales se reparten igual que ocurre en una viga continua, pero extendiendo a todos los elementos de la estructura. Así, los pilares colaborarán en la transmisión y el apoyo de las flexiones de las vigas y las vigas soportarán parte de las flexiones originadas en tener que soportar el edificio el viento o cualquier esfuerzo horizontal. Las cargas se transmiten por el camino más rígido posible.

Se puede deducir así que cualquier carga que actúe en la estructura repercutirá en mayor o menor intervención en todos los elementos de la misma, lo que conlleva una dificultad añadida para saber a qué tensiones está sometido un elemento estructural en un determinado momento, inconveniente que no existe en la isostática, donde con un simple cálculo manual lo podemos saber con bastante aproximación.

Tendremos importantes ventajas: una mayor seguridad estructural en situaciones anómalas debida al comportamiento como un conjunto ligado, y que en edificios de varias alturas suele ser más económico, ya que en repartirse las tensiones entre los elementos, éstos se pueden optimizar mejor cuanto a prestaciones.

Por la dificultad en establecer cómo se realiza el reparto de tensiones en el conjunto, el cálculo de estas estructuras es muy complejo y aunque existan métodos manuales bastante laboriosos utilizamos programas informáticos específicos para hacerlo.

Este tipo de estructura coincide con un tipo de construcción insitu.

3.4.3 Estudio por separado

3.4.3.1 Jácenas

Son elementos arquitectónicos rígidos, generalmente horizontales, proyectados para soportar y transmitir las cargas transversales a las que están sometidas, hacia los elementos de soporte.

3.4.3.2 Uniones

Para unir las estructuras se puede proceder a uniones:

- Articuladas: Método o forma de unión entre dos o más elementos conservando cada uno de ellos su individualidad. También llamada junta de pasador, rótula o unión articulada.

- Rígidas: Conexión entre dos miembros estructurales que impide la rotación y el desplazamiento en cualquier dirección de un miembro con respecto a otros. También llamada nudo rígido, junta rígida o empotramiento.

- Semirrígidas: tipo intermedio entre las anteriores: parcialmente permiten el giro entre las barras concurrentes y para coaccionar el restante deben desarrollar fuerzas y momentos.

3.4.3.3 Pilares

Los pilares son elementos verticales que transmiten la carga hasta los cimientos. Los pilares pueden ser de hormigón o acero.

3.5 Muros

3.5.1 Construcción tradicional

Cuando hablamos de muros de construcción tradicional, lo primero que se debe de saber es de que materiales pueden estar compuestos. Estos materiales son mayoritariamente ladrillos cerámicos y mortero. Una de las principales peculiaridades es el tipo de unión que permite este muro con el forjado: siempre permite la rotación, no existe el monolitismo. Cuando hablamos de muro tradicional se debe tener en cuenta que los materiales usados para un muro estructural puede ser para el conglomerante: barro, mortero de cal, mortero de cemento y el conglomerado puede ser, ladrillo cocido, mampostería o ripio.

La forma de conseguir la estabilidad de estos muros siempre es por conformación de cajas, formación de pliegues (pilastres) o por recocado de los muros para disminuir la excentricidad y la esbeltez.

3.5.2 Construcción actual

La construcción garantiza la estabilidad a través del uso del forjado como elemento estructural, de tal forma que, los esfuerzos horizontales que recibe el muro están estabilizadas a través del monolitismo del forjado. El uso del forjado facilita que la estructura muraria no esté obligatoriamente cerrada, ni requiere de recocidos.

4 Bibliografia

Allen, Edward. "Como funciona un edificio". Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1982. Capítol 17.

Bermejo-Polo J. (2011) Formulario práctico de la Construcción (7ª Ed.). S.L. CIE INVERSIONES, Editoriales Dossat-2000.

Chudley R., Greeno R., (2013) Manual de construcción de edificios. Editorial Gustavo Gili. Barcelona. España.

Código Técnico de la Edificació. Ministerio de Fomento. Documento básico SE "Seguridad Estructural". BOE 25/01/2008.

Desplaces A., (2010) Construir la arquitectura. Del material en bruto al edificio. Un manual. Gustavo Gili. Barcelona. España

Despazes, Andrea. "Materials processes structures". Handbook Ed. Birkhäuser. 2005. Consulting Architecture.

Díaz, Cèsar; Llovera, Sílvia; Noró, Montserrat. "Diccionari de Patologia i Manteniment d'Edificis". Barcelona. Edicions UPC, 2004. - Diccionari visual de la construcció". Barcelona, Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques: Termcat, 2000.

EHE-08. Instrucción española hormigón estructural.

Ferri-Cortés J., Pérez-Sánchez V. R., García-González E., (2010) Principios de Construcción. Editorial Club Universitario. Alicante. España.

Fullana Llompart, Miquel. "Diccionari de l'art dels oficis i de la construcció". Palma de Mallorca, 1995. Ed. Moll. - Llorens, J.I.; Soldevila, A. "Construcció amb bloc de formigó". Barcelona. Edicions UPC, 1996.

González Moreno-Navarro, José Luís; Casals Balagué, Albert; Falcones de Sierra, Alejandro. "Les claus per a construir l'arquitectura". Barcelona. Departament de política Territorial i Obres Públiques. Gustavo Gili, 1997.

Mañà i Reixach, Fructuós. "El gros de l'obra: uns apunts de construcció". Barcelona. Edicions UPC, 2000.

Paricio Ansuategui, Ignacio. "La construcció de l'arquitectura: La composició, l'estructura", volum 3. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Barcelona, 1995-96.