

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
LA SALLE

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

PROYECTO INTEGRADO DE ARQUITECTURA

EL LENGUAJE DE LA ESTRUCTURA: EL MURO DESCOMPUESTO
F.MANGADO, ARQ. Y J.JIMENEZ, ING.



ALUMNO/A
Arq. José Hernández Navarro

DIRECTOR/A
Dra. Arq. Núria Martí i Audí

FIGURA DE LA PORTADA:

Fotografía de www.viajerosexpress.com,
publicada por Pepa García, 12 Octubre
2011

EL LENGUAJE DE LA ESTRUCTURA: EL MURO DESCOMPUESTO

F.MANGADO, ARQ. Y J.JIMENEZ, ING.

ARQ. JOSÉ HERNÁNDEZ NAVARRO
pepe.hernandez.navarro@gmail.com
2013

AGRADECIMIENTOS:

Es obvio que todo esto no hubiera sido posible sin el apoyo de mi familia y amigos, pero tampoco sin el apoyo del resto de personas de la universidad. Me gustaría agradecer a Jesús Jiménez toda la ayuda prestada, siempre dispuesto a explicar y debatir conceptos conmigo, a pesar de no tener obligación alguna de hacerlo. Si la atención prestada hacia la tesina fue envidiable por su parte, la de mi directora de tesina, Núria Martí, no lo fue menos. Siempre atenta a todas mis evoluciones, buscando sacar lo mejor de mí en todo momento. Esa actitud y ayuda han sido decisivas. ¡Gracias a todos!

JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN	5
DE LA VISIÓN PARTICULAR A LA VISIÓN GENERAL	7
¿QUÉ ES LA FORMA? ¿QUÉ ES LA ESTRUCTURA?	7
ENFOQUE DE LOS GRANDES MAESTROS DE LA ARQUITECTURA	9
EL ARQUITECTO Y EL INGENIERO	27
1. ESTRUCTURA ARQUITECTÓNICA	31
1. 1. CRITERIOS DE DISEÑO: ECUACIONES E INCÓGNITAS	32
1. 2. ESTRUCTURA VERTICAL: EL MATERIAL	34
PÉTREOS	
HORMIGÓN ARMADO, PRETENSADO Y PREFABRICADO	
MADERAS	
FUNDICIÓN Y ACERO	
1. 3. LA ESTRUCTURA EN LAS ARQUITECTURAS MACIZA Y LIGERA	45
2. NUEVA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: MURO DESCOMPUESTO	47
2. 1. EL MURO DESCOMPUESTO	
2. 1. 1. PRECEDENTES: BALLOON FRAME Y STEEL FRAME	48
2. 1. 2. DEFINICIÓN Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	51
2. 2. FRANCISCO MANGADO: ARQUITECTURA DE CONTRASTES	54
2. 3. COLABORACIÓN FRANCISCO MANGADO + JESÚS JIMÉNEZ, ARQUITECTO + INGENIERO	58
2. 4. CASOS DE ESTUDIO	
2. 4. 1. MUSEO DE ARQUEOLOGÍA DE ÁLAVA, VITORIA, FRANCISCO MANGADO + JESÚS JIMÉNEZ, 2002-2009	60
2. 4. 2. CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS, SANTIAGO DE COMPOSTELA, FRANCISCO MANGADO + JESÚS JIMÉNEZ, 2004-2008	71
3. CONCLUSIONES	73
3. 1. ¿ES DETERMINANTE EN UN PROYECTO LA CORRECTA RELACIÓN ENTRE FORMA Y ESTRUCTURA?	74
3. 2. ACERO Y MURO DESCOMPUESTO. LA IMPORTANCIA DEL MATERIAL	76
3. 3. TABLA COMPARATIVA DE LA TIPOLOGÍA EN LOS CASOS DE ESTUDIO	78
3. 4. CONVERSACIONES CON JESÚS JIMÉNEZ: "LA DESCOMPOSICIÓN DEL MURO ROMÁNICO Y GÓTICO A TRAVÉS DE ARBOTANTES NOS MARCÓ EL CAMINO A SEGUIR"	80
3. 5. LAS INTENCIONES O IDEAS QUE PROPICIARON LA APARICIÓN DEL MURO DESCOMPUESTO	85
4. REFLEXIONES FINALES	89
4. 1. EXPRESIVIDAD ESTRUCTURAL: "EL LENGUAJE DE LA ESTRUCTURA"	90
ANEXOS	97
ANEXO A: SOBRE LA RELACIÓN ENTRE ESTRUCTURA Y ESPACIO. CONSTRUCCIÓN MACIZA Y CONSTRUCCIÓN LIGERA	98
ANEXO B: SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO	99
ANEXO C: MUSEO DE ARQUEOLOGÍA DE ÁLAVA. PLANOS Y FOTOGRAFÍAS	100
ANEXO D: CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS. PLANOS Y FOTOGRAFÍAS	113
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y FUENTES DE LAS ILUSTRACIONES	125

JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN

Ya como estudiante, y ahora como arquitecto, me surgen una serie de dudas sobre el momento en el que se encuentra la arquitectura, de si hemos perdido el rumbo. Un momento en el que todo vale y en el que proyectos que carecen de ninguna lógica funcional, estructural o formal (Fig.1), que se suelen vender por su imagen atractiva, tienen cabida en nuestra sociedad. Quizás este aspecto nos ha llevado a que se nos considere como unos artistas plásticos a los que se nos permite todo, olvidando nuestra condición de arquitectos.

Un arquitecto no es un mero artista, debe conjugar en sí más virtudes. Todo arquitecto debe tener su lado de ingeniero, no simplemente dedicarse a ser un creador de espacios, ya que para ello debe apoyarse en ciertos criterios como la lógica estructural.

En el pasado no existía distinción entre un arquitecto e ingeniero, ya que el propio arquitecto conjugaba en su misma persona todas aquellas tareas estructurales que ahora se le encargan al ingeniero. Esta distinción entre ingeniero y arquitecto no existió hasta el siglo XIX, la especialización existente en la actualidad ha dado lugar a diferentes ingenierías.

El problema surge no por la especialización en sí, sino porque al separarse las competencias, parece que se tiende a obviar las obligaciones del otro, es decir, el arquitecto tiende a obviar problemas estructurales y el ingeniero a obviar problemas de estética. Todo esto es lo que desemboca en esa tendencia en la que el arquitecto se interesa cada vez más por la forma y la imagen, mientras que el ingeniero simplemente se dedica a solucionar los problemas estructurales sin tener en cuenta ningún criterio estético.

Es un error pensar que cuando se hace arquitectura -porque, no olvidemos, que los ingenieros estructurales también la hacen- se puede simplemente obviar aspectos como la estructura o la estética. Hemos de observar esta tendencia como un error del que aprender, como una piedra más en el camino, para que no se vuelva a repetir. La lógica ha de imponerse a la imagen, esta sensación de que la arquitectura la puede hacer cualquiera no favorece al arquitecto, nos hace parecer prescindibles.¹

Pero... ¿cómo saber que no es una simple impresión mía? Mies van der Rohe, uno de los mas grandes maestros de la arquitectura moderna, rechazó la idea de que el arquitecto fuese un creador de formas (Fig. 2), afirmando que *"rechazamos conocer problemas de forma; sólo de construcción. La forma no es el objetivo de nuestro trabajo, tan sólo es el resultado"*².

Mi estudio se centrará, por tanto, en la relación que existe entre la estructura y la forma. En este sentido, tras investigar sobre el enfoque que adoptaron los grandes maestros de la arquitectura para resolver esta relación, se desprenderá que la estructura será el concepto que más interrogantes nos suscitará. De esta manera, la estructura, se convertirá en el punto central de mi investigación, siendo claves sus criterios de elección, el material y su expresividad.

La tipología estructural del muro descompuesto planteada en algunas obras de Francisco Mangado, en colaboración con el ingeniero Jesús Jiménez, será el punto final de este estudio. Mi elección se basará tanto en la inquietud que me suscita esta nueva tipología estructural como en la arquitectura de Mangado. Para él, también es importante que en la arquitectura no prevalezca la imagen, y el mismo comenta el que *"una de las cosas que más critico de la arquitectura de estos días es esta obsesión por la identidad. Me*



Fig. 1: Proyecto y forma carecen de relación, claro ejemplo de edificación que se vende por su imagen

Santiago Calatrava: Palacio de las Artes Reina Sofía, Valencia, España, 2005



Fig. 2: La forma como resultado

Mies van der Rohe: Pabellón Alemán, Barcelona, España, 1929

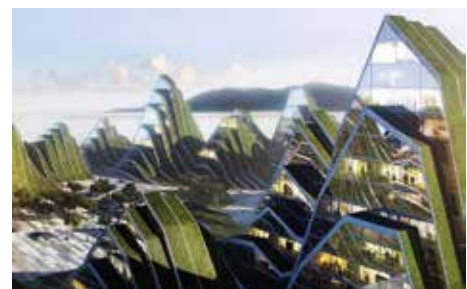


Fig. 3: Imagen atractiva que cualquier diseñador gráfico podría generar sin la necesidad de ser arquitecto

Bjarke Ingels Group (BIG): Hualien Beach Resort, Hualien, Taiwan, proyecto.

parece absurdo. [...] Yo no sé por qué la arquitectura quiere convertirse sólo en imágenes que puede hacer cualquier diseñador gráfico. No me interesa."³ (Fig. 3)

Es importante remarcar que en todo este proceso tendré en cuenta la posición del ingeniero, ya que pese a sus diferencias con el arquitecto, deben favorecerse el uno del otro. Desde el inicio, este aspecto, parece ser una de las piezas claves para que esta relación fluya y de lugar a la verdadera arquitectura, como es el caso de Mangado y Jiménez.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de usuario amor8 de Flickr

Fig. 2: Fotografía de usuario javier1949 de Flickr

Fig. 3: Imagen generada por Bjarke Ingels Group (BIG)

NOTAS:

1. Tal como se desprende de la propuesta de Ley de los Servicios Profesionales, lo que vino a corroborar la veracidad de mis argumentos.

2. Mies Van der Rohe, Segundo número de "G", 1923.

3. David Cohn, Conversación con Francisco Mangado, Revista TC Cuadernos, Número 72/73, 2006

¿QUÉ ES LA FORMA? ¿QUÉ ES LA ESTRUCTURA?

¿Qué es la forma? ¿Qué es la estructura? Todos pensaríamos que la forma es la geometría que tiene cualquier artefacto y la estructura el esqueleto que lo sustenta, pero cuando hablamos de forma y estructura en arquitectura, son mucho más que eso (Fig. 1). Ambos conceptos son la respuesta a una serie de condicionantes. Esta definición como respuesta, es la que aquí interesa, y no, la mera respuesta de que así es más atractivo o llama más la atención.

Todo proyecto o edificación posee una forma, pero... ¿cómo ha encontrado su forma? ¿qué criterios determinan la misma? En la forma pueden intervenir una serie de circunstancias, requisitos o demandas exteriores como pueden ser los factores geográficos, culturales y de mentalidad histórica, o criterios que podríamos llamar personales como la intención. En este sentido el arquitecto, historiador y crítico de arquitectura Kenneth Frampton determina tres grandes y fundamentales factores de influencia (Fig. 4), afirmando que "objetivamente parece que lo construido surgiese siempre de la interacción de tres vectores convergentes; el topos, el tipo y la tectónica".

Dicho así, estos tres conceptos, "el topos, el tipo y la tectónica", nos pueden parecer hasta ajenos, sobre todo si buscamos el significado literal de cada una de las palabras. El **topos, o topología**, incluye aquellos factores relacionados con la topografía como lo son el país, el espacio, el terreno, es decir, aquellos relacionados con el lugar en el que se va a emplazar la obra (Fig. 2). Por su parte, el concepto de **tipo, o tipología**, se refiere al contexto de la obra, a todos aquellos factores relacionados con la sociedad, la época y la función (Fig. 3). Por último, aparece la **tectónica**, concepto que se refiere a todo aquello relacionado con la construcción, como lo son el material, la estructura y la técnica.

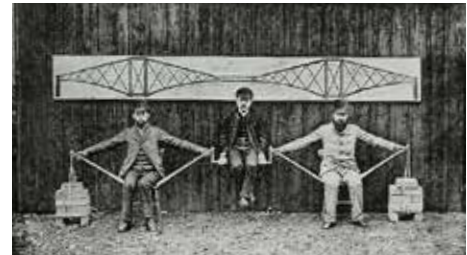


Fig. 1: ¿Qué es la forma y qué la estructura?

Modelo Humano que utilizó Benjamin Baker para ilustrar ante la Royal Institution el principio del puente en ménsula aplicado al viaducto de Forth, John Fowler.



Fig. 2: La vivienda interactúa con el entorno debido a sus geometrías que se asemejan a las rocas

José Antonio Coderch: Casa Rozés, L'Almadrava, España, 1960-1962

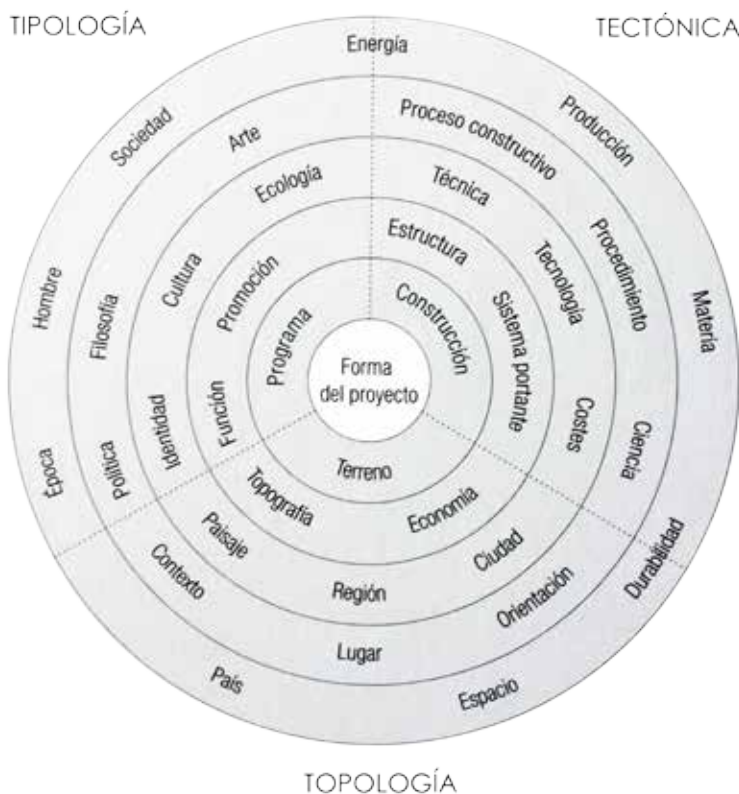


Fig. 3: Con estilos y de épocas totalmente diferentes, mantienen una estrecha relación por la disposición de la fachada y los huecos

Arne Jacobsen: Edificio Stelling, Copenhague, Dinamarca, 1934-1937

Fig. 4: Esquema que recoge los tres conceptos de "el topos, el tipo y la tectónica" como los tres grandes factores que influyen en la forma. Lugar, contexto y construcción

Cátedra de Andrea Deplazes, diagrama basado en los postulados de Kenneth Frampton

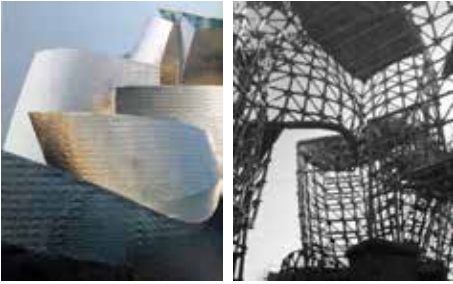


Fig. 5 y 6: Tras estos volúmenes plásticos se acomodará una estructura de acero

Frank O. Gehry; Museo Guggenheim, Bilbao, España, 1997

La forma es, por tanto, el resultado de un complejo juego de conjunto, lo cual no significa tener que llegar a un resultado formal forzado; en el marco de lo evidente siempre hay distintas posibilidades de elección. Algo que en la actualidad muchos arquitectos parecen haber olvidado para entender la forma como algo meramente artístico y no como una respuesta a una serie de factores.

Explicado el concepto de forma, pasemos al de estructura. La estructura en la actualidad se concibe simplemente como el elemento sustentante de un edificio (Fig. 5 y 6), pero tras lo descrito anteriormente sobre los factores que influyen en la forma y analizando las estructuras del pasado, podemos afirmar que la estructura no es un mero elemento sustentante. Está claro que toda estructura debe cumplir su función de equilibrio, resistencia y estabilidad, pero eso no quiere decir que haya que forzarla para acomodarla a la forma.

Dicho todo esto, parece quedar patente que la estructura ha de ser importante en un proyecto, pero... ¿es así? En caso de que así sea, ¿qué la hace importante? Al igual que hace la forma, ¿podría llegar a definir el tipo de arquitectura que se pretende plasmar en una obra? Si llegase a ser capaz de eso, ¿qué criterios seguiría? ¿Cuál sería su lenguaje?

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS::

Fig. 1: Fotografía de la Institution of Civil Engineers, Londres

Fig. 2: Fotografía de José Anta Rodríguez

Fig. 3: Fotografía de José Hernández Navarro

Fig. 4: Andrea Deplazes, Construir la arquitectura del material en bruto al edificio, Editorial Gustavo Gili, 2010, pág 10

Fig. 5: Fotografía de Luc Boegly

Fig. 6: Coosje Van Bruggen, Frank O. Gehry; Guggenheim Museum Bilbao, Guggenheim Museum Publications, Nueva York, 2000, pág 159

NOTAS:

1. Andrea Deplazes, Construir la arquitectura del material en bruto al edificio, Editorial Gustavo Gili, 2010, pág 10

ENFOQUE DE LOS GRANDES MAESTROS DE LA ARQUITECTURA

En este capítulo abordaremos el enfoque de los grandes maestros de la arquitectura respecto a la relación que se establece entre forma y estructura, siendo conscientes de que se trata de un breve repaso histórico. Lo importante en este apartado será percibir el cómo y el por qué de esa inclinación hacia la forma, observar que factores pudieron intervenir para que con el paso de los años la relación de respeto y dependencia que existía entre forma y estructura se fuese perdiendo.

Si volvemos la vista atrás y pensamos en las primeras edificaciones (Fig. 1), nos daremos cuenta que la forma y la estructura dependían íntimamente la una de la otra. En estas primeras edificaciones predominaban las formas puras, debido a las escasas libertades formales que sus estructuras le proporcionaban. Estas primeras estructuras, constituidas por materiales pétreos, surgieron como respuesta de las capacidades mecánicas de los materiales. A su vez, el conocimiento que se tenía de las capacidades de cada material, provenía del método conocido como prueba y error (Fig. 2 y 3), por lo que todo era mucho más sencillo.

Con el paso de los años, y la aparición de nuevos materiales y tipologías estructurales, esa íntima relación que mantenían la forma y estructura se fue desvaneciendo, pero... ¿qué aspecto fue el causante de esa disgregación?

El primer elemento que es capaz de reducir esa íntima dependencia será el contrafuerte. Con él, el muro adquiere una libertad de la que hasta ese momento no disponía. A partir de ese momento la distribución de los huecos ya no depende tan íntimamente de la estructura, es decir, el contrafuerte comenzó a desmaterializar el muro. Podríamos considerar, por tanto, la aparición del contrafuerte como clave en este proceso de disgregación.

El contrafuerte (Fig. 4) aparece en el arte románico como la respuesta para resistir por peso propio los empujes horizontales generalmente producidos por las bóvedas sin aumentar el espesor de todo el muro, constituye así un soporte adosado al muro que le proporcionará la sección necesaria en ese punto. A su vez, el contrafuerte proporcionó una herramienta para conseguir mayores alturas y abrir un mayor número de huecos en fachada y dotar de una mejor iluminación natural al interior de las edificaciones.

Continuando con esa tendencia de liberar parte del muro de su función estructural aparecerá, ya en el arte gótico, el arbotante (Fig. 4). En el siglo XII, con la combinación del contrafuerte y el arbotante, se le otorga aún más libertad al muro. En este proceso, la Catedral de Notre Dame de París (Fig. 5) será muy importante, constituyendo uno de los primeros ejemplos en los que se empleó el arbotante. El arbotante persigue la misma finalidad que el contrafuerte, pero en este caso se trata de un elemento estructural en forma de medio arco que se encargará de redireccionar el empuje lateral hacia un soporte externo, en este caso a un contrafuerte exento, liberando así al muro de estos empujes. Liberado el muro, éste se permite ser más alto, más esbelto y una mayor perforación, o desmaterialización. Recordemos que otra de las premisas del arte gótico es la aspiración por conseguir una mayor altura en sus edificaciones.

Antes de comenzar con el enfoque de los grandes maestros de la arquitectura, no debemos olvidar la importancia del contrafuerte y el arbotante cómo punto de partida de la modificación de la relación forma-estructura.



Fig. 1: Estructura clásica basada en materiales pétreos

Ictinos y Calícrates: El Partenón, Acrópolis de Atenas, Grecia, 447-432 a.C

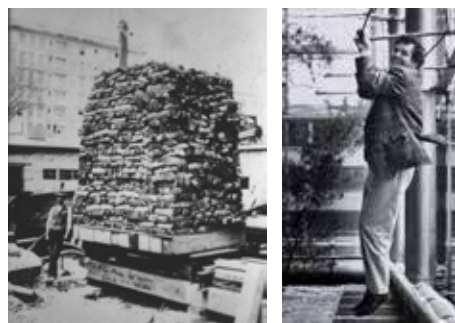


Fig. 2 y 3: Método prueba y error

Ejemplo clásico de una prueba de carga y Peter Rice ensayando con su propio peso un cable rigidizador en los grandes invernaderos de La Villette en París

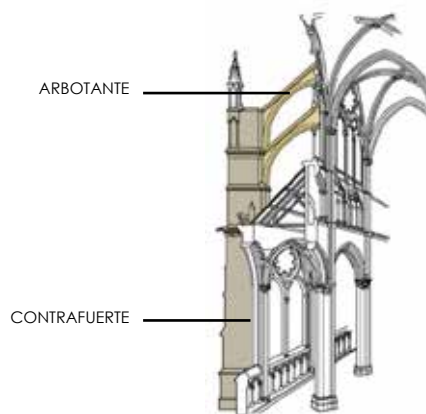


Fig. 4: Contrafuerte y arbotante



Fig. 5: El arbotante desmaterializa el muro

Catedral de Notre Dame, París, Francia, 1163-1345

Fig. 6: Muros preexistentes y sección de la cúpula

Sección transversal de la catedral de Santa María dei Fiore realizada por Ludovico Cigoli a finales del siglo XVI, y en el que se aprecia el diseño de doble pared de Brunelleschi.

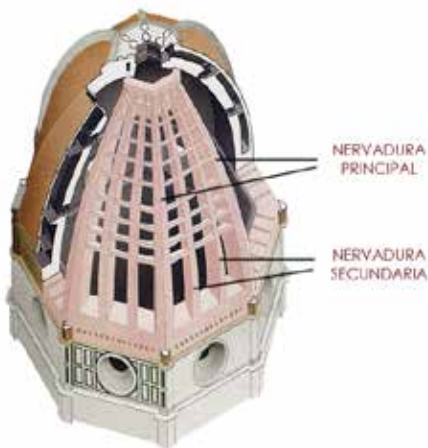
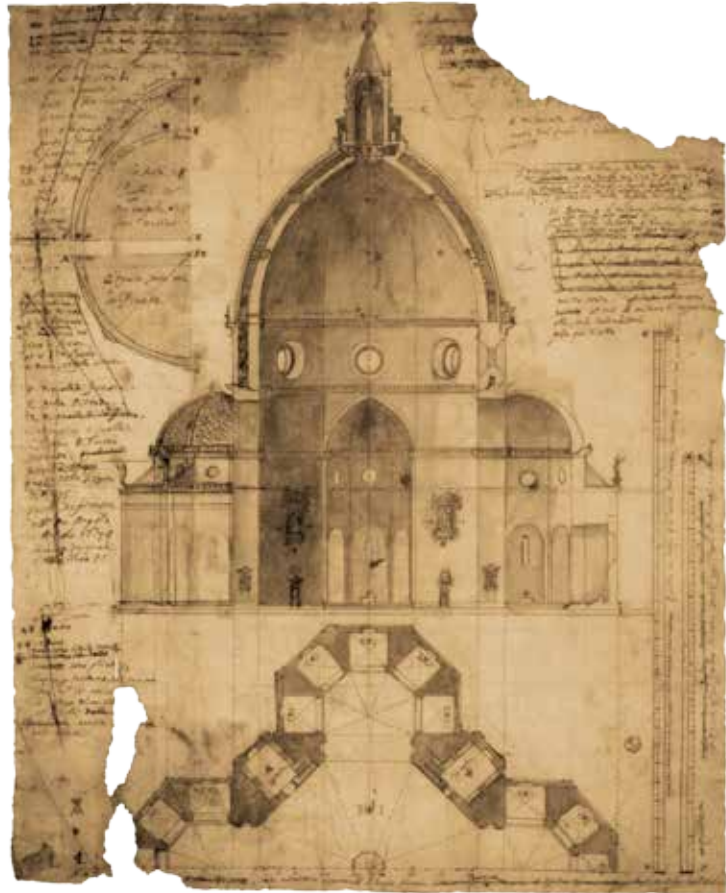


Fig. 7: Cúpula de doble pared con componentes tramados para obviar la necesidad de contrafuertes exteriores

Filippo Brunelleschi: Cúpula de Santa Maria dei Fiore, Florencia, Italia, 1420-1436



Fig. 8: Cúpula de doble pared con componentes tramados para obviar la necesidad de contrafuertes exteriores

Filippo Brunelleschi: Cúpula de Santa Maria dei Fiore, Florencia, Italia, 1420-1436

S. XV-XVI:

Aunque el contrafuerte y el arbotante fuesen los primeros elementos que generaron un cambio en la relación forma-estructura, no fue hasta el Renacimiento, con la figura de **FILIPPO BRUNELLESCHI** (1377-1446), cuando entre en escena el primer arquitecto que innovó en esta relación.

Brunelleschi fue el encargado de resolver un problema estructural sin precedente alguno en la arquitectura, conflicto que en la actualidad se le encargaría a un ingeniero y que nos muestra esas similitudes entre el arquitecto e ingeniero. La cúpula de Santa Maria dei Fiore (1420-1436) supuso el desafío de cubrir la catedral con una cúpula de 42 metros de diámetro con unos muros preexistentes (Fig. 6), ya que el proyecto fue ideado por Arnolfo di Cambio. Se encontraba frente a un problema de ingeniería que debía de resolver con una calidad arquitectónica y artística acorde con la propia catedral.

En esta obra, Brunelleschi, ideó una cúpula de doble pared en la que "los componentes estaban tramados de tal manera que obviara la necesidad de contrafuertes exteriores, y las nervaduras (ocho principales y dieciséis secundarias), que conforman la estructura central (Fig. 7), distribuyen las cargas para que las paredes y muros puedan soportarlas"¹. A su vez, "el linternario

que Brunelleschi diseñó tiene la función estructural de sujetar las nervaduras de la cúpula y es una pieza importante de la lógica geométrica formal de esta, subrayando el ascenso vertical"¹².

El resultado fue una obra maestra de arquitectura e ingeniería, de forma y estructura, de belleza y función, que domina la imagen de la ciudad (Fig. 8) por su monumentalidad y expresividad estructural.

Esta prolífica relación entre forma y estructura siguió patente en la sociedad durante el siglo XVI. Prueba de ello es la aparición, en el panorama de la arquitectura, de Miguel Ángel y Mimar Sinan.

MIGUEL ÁNGEL (1475-1564), al igual que Brunelleschi, fue el encargado de resolver una gran cúpula (Fig. 9), en este caso la de San Pedro (1546-1561), Roma. Miguel Ángel resolvió la cúpula atando los sillares con unas llaves de hierro, ya que sabía perfectamente que los sillares serían incapaces de resistir por sí solos las tracciones que se generaban. Su efecto consistía en que al no apreciarse estas llaves al interior y con la aparición de los contrafuertes en la cara exterior, observe desde donde observe, el espectador se podrá imaginar el espesor que crea necesario para que los sillares aguantasen la cúpula sin venirse abajo, es decir, mejoró la resistencia de los sillares y jugó con la percepción visual.

MIMAR SINAN (1494-1588), arquitecto del Imperio otomano, basó su arquitectura en el principio de que la estructura interior debía reflejarse en el exterior (Fig. 10 y 11). Función y estructura son la piedra angular de cualquiera de sus edificaciones, de manera que la estructura se muestra como una unidad de componentes definitoria del espacio, más que como un simple elemento para soportar el edificio. La Mezquita de Süleymaniye (1550-1557), en Estambul, es un claro ejemplo de este lenguaje empleado por Sinan, quedando reflejada en el exterior cada una de las cúpulas interiores.

Con Brunelleschi, Miguel Ángel y Sinan nos encontramos con un periodo en el que la estructura corresponde con la forma del edificio. Función y estructura dominan el panorama, siendo la forma el resultado. A su vez, utilizaron la estructura como un elemento que marca el espacio y lo define, más que como un simple elemento para soportar el edificio. Las grandes cúpulas, bóvedas y columnas dotaban a los espacios de una belleza, gracias al orden y ritmo que se establece entre ellas. Por tanto, la estructura llega a convertirse en algunos casos en el elemento mayor belleza de una edificación.

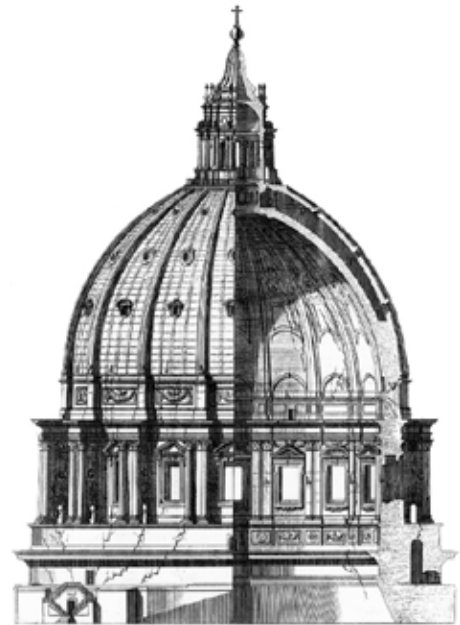


Fig. 9: Miguel Ángel se basó en el diseño de Brunelleschi para resolver la cúpula

Sección transversal de la Cúpula de San Pedro, Roma, Italia, 1558-1561



Fig. 10 y 11: El espacio interior corresponde con las geometrías que se muestran al exterior

Mimar Sinan: Mezquita de Süleymaniye, Estambul, Turquía, 1550-1557



Fig. 12 y 13: Predominan las formas clásicas pero la estructura pierde presencia en su interior

Karl Friedrich Schinkel: Schauspielhaus (actualmente el Konzerthaus), Berlín, Alemania, 1819-1821

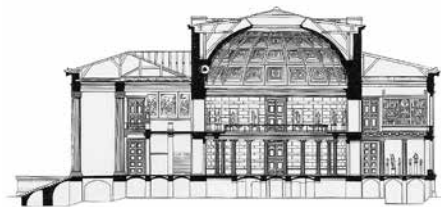


Fig. 14: Ausencia de bóvedas, solo aparece una gran cúpula en el espacio central

Karl Friedrich Schinkel: Altes Museum, Berlín, Alemania, 1823-1830



Fig. 15: Empleo de un lenguaje clásico y monumental

Karl Friedrich Schinkel: Altes Museum, Berlín, Alemania, 1823-1830

S. XIX:

KARL FRIEDRICH SCHINKEL (1781-1841), ya en el siglo XIX, seguía representando el pasado a través de su lenguaje y forma clásicas (Fig. 12). Función y estructura seguían definiendo el espacio, aunque la estructura perderá ese gran peso visual que venía teniendo en sus interiores (Fig. 13). Este aspecto será el que le diferencie del pensamiento de los arquitectos mencionados anteriormente.

Schinkel realizó obras en las que sus características exteriores nos muestran fielmente su sistema estructural, sin embargo, en muchos de sus interiores, la presencia estructural se va diluyendo a favor del ornamento. Es curioso cómo, la ausencia de bóvedas (Fig. 14), hace que la estructura pierda gran parte de su presencia en el espacio, ya que en aquellos espacios, de su obra, en los que aparece la cúpula, la estructura se vuelve a dominar la estética del espacio.

Un buenos ejemplos de este lenguaje, empleado por Schinkel, son el *Neue Wache* (1816-1818), el *Schauspielhaus* (1819-1821) y el *Altes Museum* (1823-1830). En su visión exterior, muestra su lenguaje clásico y monumentalidad (Fig. 15), sin embargo, en el interior mostrará dos tipos de lenguaje. El primero de ellos queda escenificado en el espacio central del *Altes Museum*, en el que la cúpula y soportes dominan el espacio. El segundo queda patente en los interiores del *Schauspielhaus*, en los que la presencia de la estructura se diluye. Podríamos decir que Schinkel comienza a liberar al interior de esa presencia estructural tan potente, la estructura ya no tiene por qué determinar la imagen interior.

El siguiente en indagar en la relación entre forma y estructura será **EUGÈNE-EMMANUEL VIOLLET-LE-DUC** (1814-1879). Su gran importancia e influencia en arquitectos posteriores proviene más de su obra escrita, que recoge proyectos que no llevó a cabo, que de las edificaciones en las que intervino.

Los dos volúmenes de *Entretiens sur l'architecture* (1853-1868) fueron de obligada lectura en el siglo XIX y el arquitecto Frank Lloyd Wright lo calificó como "el único libro de arquitectura sensato del mundo"³. En ellos exhibió una lógica estructural un tanto contorsionada, en la que soportes metálicos aguantan bóvedas y cúpulas de ladrillo (Fig. 16). Aplica los nuevos materiales según sus prestaciones estructurales.

El lenguaje empleado por Viollet-le-Duc surge de la unión de su conocimiento sobre la evolución histórica de las formas y su interés por la naturaleza. Todo ese conocimiento sobre las formas lo adquirió gracias a las restauraciones que realizó en la iglesia de la Madeleine de Vézelay (1840) y, sobre todo, en la catedral de Notre Dame (1844), en París. A su vez, ese interés por la naturaleza no solo queda patente en sus diseños estructurales resumidos en *Entretiens sur l'architecture*, ya que pasó gran parte de sus últimos años de vida admirando y estudiando la lógica la estructura y la lógica formativa de las cordilleras del Mont Blanc (Fig.17).

Viollet-le-Duc introdujo, por tanto, el concepto de que la naturaleza, juega un papel muy importante en la lógica estructural, y como consecuencia, en la arquitectura. Este concepto será muy importante para ingenieros y arquitectos, que encontrarán en ello la base para crear su propio y novedoso lenguaje.

Unos cincuenta años después, **GUSTAVE EIFFEL** (1832-1923), un ingeniero, fue capaz de aportar un concepto muy importante para esta relación entre forma y estructura. La estructura debe expresar sus propiedades resistentes, de esta manera adquiere una belleza y naturalidad propia que favorece al proyecto arquitectónico.

El mensaje fue muy importante por el momento en el que se produjo, ya que con la aparición de nuevos materiales, la arquitectura avanzaba hacia formas y tipologías totalmente diferentes a las concebidas hasta ahora. Las estructuras de fundición son un claro ejemplo de ello, su lenguaje no ha de basarse en reproducir las formas clásicas con este nuevo material. En el pasado, la piedra obtuvo su modo de expresarse a través de su comportamiento resistente, por ello se utilizan arcos y bóvedas, por lo que... ¿qué tipo de lenguaje debe adoptar la fundición?

Eiffel, con la Torre Eiffel (1887-1889), nos recordó el lenguaje que ha de emplearse en cualquier estructura y nos mostró cómo una gran estructura metálica puede expresar belleza, para no convertirse en un simple amasijo de hierros. Esto lo consiguió expresando las capacidades resistentes a través de las formas que el cálculo le ofrecía, por lo que la lógica estructural adquiere un papel principal (Fig. 19).

Por todo lo descrito anteriormente, podemos concluir este siglo XIX, afirmando que la lógica estructural planteada por Viollet-le-Duc sigue patente, aunque en éste caso, Eiffel haga alusión al cálculo en vez de a la naturaleza, algo que él mismo expresó en una entrevista concedida a Paul Bourde de Le Temps:

"...la torre tendrá su belleza propia. ¿Porque nosotros somos ingenieros, creen ustedes que la belleza no nos preocupa en nuestras construcciones y que incluso al mismo tiempo que hacemos algo sólido y perdurable no nos esforzamos por hacerlo elegante? ¿Es que las auténticas condiciones de la fuerza no son siempre compatibles con las condiciones secretas de la armonía? El primer principio de la estética arquitectónica es que las líneas esenciales de un monumento estén determinadas por la perfecta adecuación a su destino. [...] ¡Pues bien! Pretendo que las curvas de los cuatro pilares de la torre del monumento tales como el cálculo las ha determinado, sean los que partiendo de un enorme e inusitada distancia entre ellos, vayan alzándose hasta la cima. Darán una gran impresión de fuerza y belleza".

Extracto de la respuesta de Gustave Eiffel a los artistas, Le Monde 1887.



Fig. 16: Soportes metálicos soportan cúpulas de piedra

Viollet-le-Duc: Lámina de Entretiens sur l'architecture, 1868

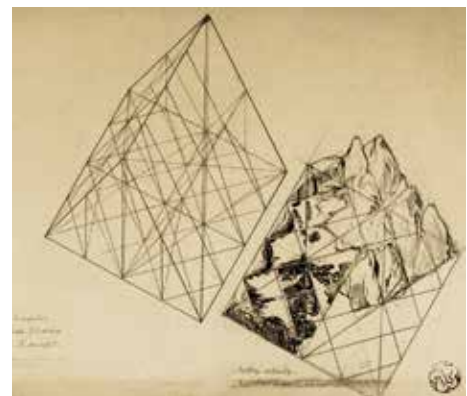


Fig. 17: Estudio de las cordilleras del Mont Blanc

Viollet-le-Duc: Blaitière de la Vallée Blanche, Mont Blanc, 1874



Fig. 18: El nuevo lenguaje estructural

Gustave Eiffel: Torre Eiffel, París, Francia, 1887-1889



Fig. 19 y 20: Maqueta y vista invertida, forma y estructura dependían íntimamente la una de la otra. En ellas se aprecian las catenarias de arcos y bóvedas

Antoni Gaudí: Capilla de la Colonia Güell, Maqueta de trabajo y perspectiva, 1908-1915

S. XX:

Hasta ahora la estructura y forma dependían íntimamente la una de la otra, algo que continuará siendo así a comienzos del siglo XX. **ANTONI GAUDÍ** (1852-1926), se dedicó a incorporar complejas geometrías, entre las que destacan los arcos de catenaria, paraboloides hiperbólicos e hiperboloides de revolución. Gracias a ellos, entre los años 1904 y 1914, Gaudí consolidó este concepto en el que la forma y estructura dependían íntimamente la una de la otra (Fig. 19 y 20). Gaudí es considerado un gran arquitecto no solo por la originalidad de sus formas, sino también por la audacia de sus estructuras.

Con Gaudí una cosa no excluye a las otras, sus edificaciones surgen de la armonía de un todo, un todo en el que esas formas basadas en la naturaleza, formas resistentes, no dejan diferenciar claramente la estructura portante de aquello que no lo es.

“Mis ideas son de una lógica indiscutible; lo único que me hace dudar es que no hayan sido aplicadas anteriormente.”

Antoni Gaudí.



Fig. 21: Al llegar a cierta altura los pilares se ramifican para recoger todos los empujes sin la necesidad de contrafuertes o arborantes

Antoni Gaudí: La Sagrada Familia, Barcelona, España, 1882...

La relación que se produce entre la estructura y la forma, con Gaudí, surge de su afán por ir más allá de las estructuras ojivales (Fig. 21) en las que el empuje horizontal era compensado por los contrafuertes exteriores o por arbotantes, a los que calificaba de “muletas”. Es curioso que el contrafuerte, que supone el primer elemento en variar esta relación, sea el que le llevó, a través de su eliminación, a generar estas estructuras.

Por todo lo descrito, afirmamos que Gaudí continuó el camino iniciado por Viollet-le-Duc, la naturaleza y lógica estructural dominan el proyecto de arquitectura. De esta manera, se olvidan las formas de las estructuras clásicas, para dar paso a unas nuevas basadas en el conocimiento de los materiales y en la naturaleza. A su vez, puede ser considerado como el primer y último arquitecto que explotó esta relación hasta unos límites inimaginables. En su arquitectura, forma y estructura son una.



Fig. 22: Las fachadas se desmaterializan permitiendo la apertura de un gran número de huecos

Auguste Perret: Notre-Dame du Raincy, Le Raincy, Francia, 1922-1924

AUGUSTE PERRET (1874-1954) fue el primero en separar el cerramiento de la estructura, lo que conllevaría que la estructura y forma no dependiesen tan íntimamente la una de la otra. Perret consiguió liberar a las fachadas de su función resistente gracias a las estructuras de hormigón armado que planteó. De esta manera, esa liberación estructural de los interiores de Schinkel, se aplica en este caso al cerramiento.

La catedral de Notre Dame du Raincy (1922-1924) es un claro ejemplo de su lenguaje, en ella consigue la desmaterialización de las fachadas. Al perder las fachadas su función resistente, éstas permiten la apertura de una gran cantidad de huecos (Fig. 22), y por tanto, la inclusión de una gran cantidad de luz. El otro punto interesante fue su capacidad para, a través del el hormigón armado, dotar a la estructura de expresividad. Sin el hormigón armado no



Fig. 23: La estructura de hormigón armado libera las fachadas expresando al mismo tiempo su esbeltez y liviandad en comparación con las catedrales anteriores. Al mismo tiempo una gran cantidad de iluminación natural inunda el espacio.

Auguste Perret: Notre-Dame du Raincy, Le Raincy, Francia, 1922-1924



Fig. 24: La escasez de ornamento, dejando el hormigón visto, nos permite percibir perfectamente la expresividad de su estructura

Auguste Perret: Notre-Dame du Raincy, Le Raincy, Francia, 1922-1924

hubiera sido posible alcanzar la esbeltez necesaria para transmitir liviandad (Fig. 23), dando la sensación de recibir un menor esfuerzo que en las catedrales anteriores. Al mismo tiempo, el hecho de dejar el hormigón visto ayuda a que percibamos esa expresividad estructural, la escasez de ornamento permite que la vista se centre en la arquitectura, y en este caso en la estructura (Fig. 24).

Con la separación de estructura y cerramiento, la fachada pasa a ser un simple cerramiento, cuya única función estructural es la de soportar su propio peso. Si llevamos este concepto al extremo, la forma no tendría por qué depender de la estructura. Este concepto supone el punto crucial en la futura evolución de esta relación.

Charles Édouard Jeanneret (1887-1965), mundialmente conocido como **LE CORBUSIER**, tuvo como mentor a Perret y continuará con esta tendencia de separación entre forma y estructura. Perret, y su racionalismo estructural, influyeron en la primera parte de su carrera, ya que más adelante, en la obra de Le Corbusier, aunque no oculta la estructura, esta pasa a un segundo plano en favor del diseño (Fig. 25).



Fig. 25: Claro ejemplo de los <<Cinco puntos para una nueva arquitectura>>

Le Corbusier: Villa Savoye, Poissy, París, Francia, 1929

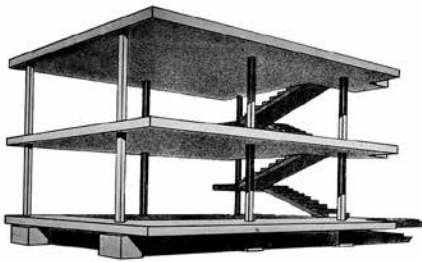


Fig. 26: La forma del edificio viene determinada por la estructura

Le Corbusier: Proyectos casas Dom-ino, 1915

Aunque la estructura pase a un segundo plano, Le Corbusier no olvida que dependen la una de la otra. El sistema planteado en las casas Dom-ino (Fig. 26), basado en el "racionalismo estructural", desprende ésta idea de que la forma de un edificio venía determinada por la estructura.

La arquitectura de Le Corbusier (Fig. 27), que parte de un concepto estructural, quedó resumida en sus <<Cinco puntos para una nueva arquitectura>>(1926): pilotis para elevar el edificio sobre el suelo; planta libre gracias a que las cargas descargan sobre los pilares, permitiendo una distribución libre; fachada libre, separa la estructura del plano de fachada para permitir cualquier composición; fenêtre en longueur, ventanas longitudinales a lo largo de toda la fachada; y por último, jardín en la cubierta para compensar el terreno ocupado por el edificio. Aunque estos puntos se basaron en la relación del edificio con la estructura, se acabaron convirtiendo en un conjunto de normas estilísticas.

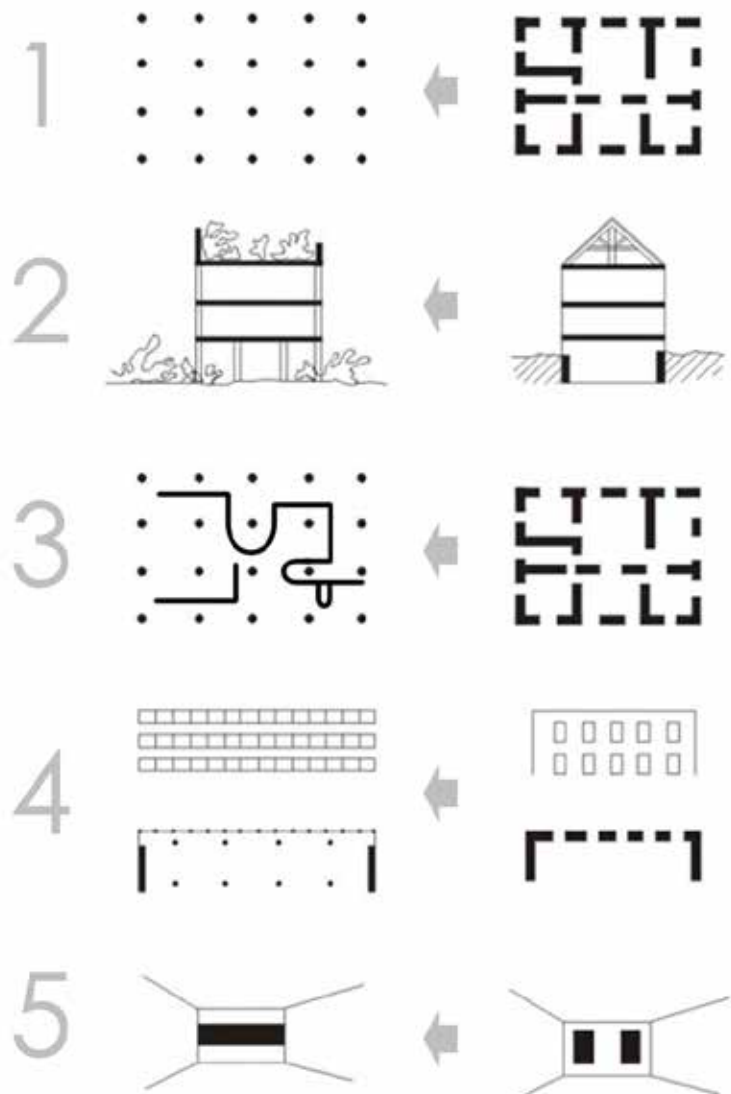


Fig. 27: Búsqueda de la libertad de composición a través de la separación de forma y estructura

Le Corbusier: <<Cinco puntos para una nueva arquitectura>>, 1926

LUDWING MIES VAN DER ROHE (1886-1969), el arquitecto del orden y el silencio, conjugó en sus obras expresión, función, materiales y estructura (Fig. 28). En su obra no hay lugar para prejuicios, ningún punto de los cuatro descritos anteriormente sobresale sobre el otro, todos son importantes e imprescindibles.

Aunque, Mies y Le Corbusier, fueran coetáneos y predicaran la arquitectura moderna, sus obras son muy diferentes. Mientras el segundo partió de la estructura para acabar centrándose en la forma y el diseño, Mies fue más allá. Su arquitectura se basó en obviar la forma para centrarse en otros aspectos que realmente eran importantes para él, situándose en las antípodas del formalismo.

“La forma no es el objetivo de nuestro trabajo, sino el resultado”

Mies van der Rohe

Si observamos dos de sus obras más conocidas, el Pabellón Alemán de Barcelona (1929) y la National Gallery de Berlín (1968), queda patente esta afirmación. Con estos principios, consiguió una arquitectura con formas solemnes y lógica estructural (Fig. 29), una arquitectura en la que cada uno de los elementos se encuentra en total armonía con el resto, generando así una arquitectura atemporal, sin ornamento, sin modas.

“Menos es más”

Mies van der Rohe

Dentro de esta época en la que aparecen muchos de los grandes referentes de la arquitectura actual, aparece también **PIER LUIGI NERVI** (1891-1979), un ingeniero con un aura especial, que creó estructuras de una gran belleza. En su obra, esa belleza estructural proviene, al igual que con Eiffel, de la naturalidad a la hora de expresar sus propiedades resistentes. En sus estructuras, las formas expresarán las tensiones que ésta recibe.

Nervi, considerado como el primer ingeniero que adquirió una identidad internacional como técnico-artista, indagó en el campo de las formas tridimensionales del hormigón armado, lo que propició un incremento en las posibilidades en esta relación entre forma y estructura. Siempre defendió la forma adecuada. Esta visualización de formas tridimensionales en concordancia con la capacidad estructural queda muy patente en sus proyectos (Fig. 30).

El atractivo de sus estructuras y formas proviene de la sinceridad estructural. Los puntos con mayor canto serán aquellos con mayor esfuerzo y viceversa (Fig. 31). Esta sinceridad estructural queda muy clara en el Estadio Municipal de Florencia (1932), aunque también en otras de sus obras como: los Hangares de Ovrieto, Orbetello y Torre del Lago Puccini (1939-1942), el Almacén Gatti (1951) y en el Palazzetto dello Sport (1957).



Fig. 28: La forma como resultado de un conjunto de factores

Mies van der Rohe: Pabellón Alemán, Barcelona, España, 1929



Fig. 29: Menos es más, sin ornamento, sin modas

Mies van der Rohe: Neue Nationalgalerie, Berlín, Alemania, 1962-1968



Fig. 30: La estructura expresa su forma a través de su funcionamiento

Pier Luigi Nervi: Gatti Wool Factory, Roma, Italia, 1951



Fig. 31: Estructura fungiforme en la que vuelve a expresar las necesidades resistentes

Pier Luigi Nervi: Palazzo del Lavoro, Turín, Italia, 1959-1968



Fig. 32 y 33: La estructura se adueña de la expresividad del espacio convirtiéndose en el elemento principal de la estancia

Frank Lloyd Wright: Edificio oficinas Johnson Wax, Racine, EEUU, 1939



Fig. 34: La estructura de la planta superior se desmaterializa gracias a los elementos verticales para la fijación del vidrio

Jean Prouvé: Casa del Pueblo, Clichy, Francia, 1936-1939

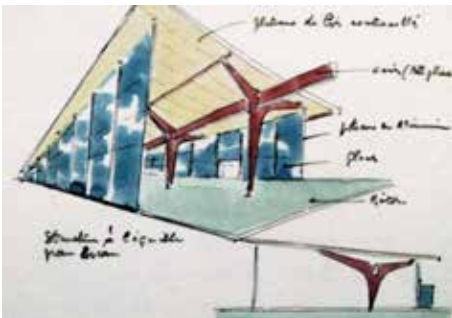


Fig. 35: Boceto realizado por Prouvé para explicar la estructura en espina central

Jean Prouvé: Pump room of Cachat spring, Évian, Francia, 1956

Pocos años después de que Le Corbusier, Mies y Nervi interactuaran con diferentes conceptos respecto a la relación entre forma y estructura, aparece **FRANK LLOYD WRIGHT** (1867-1959). Al igual que Mies, trabajó teniendo en cuenta diferentes factores como forma, estructura, materiales y luz. En esta relación, cada factor será importante, ninguno de ellos se impondrá sobre el resto.

Un claro ejemplo de expresividad estructural es el edificio Johnson Wax (1939). En él, Wright, creó una obra maestra en la que al contrario que en la arquitectura de Gaudí, en la que no se diferencian los elementos portantes, nos muestra cómo la estructura puede ser el elemento de mayor expresividad de un proyecto (Fig. 32 y 33). Un espacio fabuloso en el que aparece ésta singular estructura, que al entrar en contacto con la luz, adquiere una ligereza inusual. Los empleados trabajaban en una estancia que parecía un bosque (de columnas) en el que la luz se filtraba a través de las hojas (las claraboyas). Wright creó un espacio de culto para un ritual diario.

Por su parte, **JEAN PROUVÉ** (1901-1984), realizó edificaciones que no mostraban la estructura al exterior, sino que más bien parecía desmaterializarse al exterior y mostrarse fielmente en el interior. En la Casa del Pueblo de Clichy (1939), en colaboración con los arquitectos Eugène Beaudouin y Marcel Lods, la estructura se desmaterializa al exterior gracias a los elementos verticales de fijación del vidrio que gracias a su tamaño quedan enrasados con la estructura de manera que cuesta distinguir la estructura portante (Fig. 34). Gracias a esto consigue un gran contraste con la planta inferior que es mucho más maciza y que aumenta esa sensación de liviandad de la planta superior.

A lo largo de su carrera, la relación entre la estructura y la forma continuó evolucionando por el camino de la liberación estructural tanto de la planta como de la fachada marcados por Le Corbusier. Prouvé creó "esqueletos" básicos. A este armazón estructural fijará la cubierta, para así liberar las fachadas, las cuales resuelve con muros cortina susceptibles de ser flexibles, móviles, sólidos o translúcidos (Fig. 35). Buen ejemplo de ello son la Casa Tropical (1951) y el Cuarto de Bombas de Evian (1982), que surge de la colaboración con el arquitecto Maurice Novarina. En ambas crea una estructura en forma de espina central dejando así las fachadas libres de estructura.

Ya en la segunda mitad del siglo XX, **OSCAR NIEMEYER** (1907-2012) exploró sin cesar las posibilidades formales y estructurales del hormigón armado en busca de lo que el llama "la arquitectura del espectáculo, la libertad plástica y la inventiva" (Fig. 36). Él mismo describió su arquitectura como: "Mi trabajo no se trata de la forma que sigue a la función, sino de la forma que sigue a la belleza o, todavía mejor, de la forma que sigue a lo femenino"⁴.



Fig. 36: La forma no sigue a la función, sino que sigue a la belleza

Oscar Niemeyer: Museo de Arte Contemporáneo, Niterói, Brasil, 1991-1996



Fig. 37: La plasticidad de Niemeyer comenzó a mostrarse desde sus primeras obras

Oscar Niemeyer: Palácio do Planalto, Brasília, Brasil, 1958-1960

Niemeyer encontró en la curva la herramienta expresiva perfecta para su arquitectura. La curva está asociada con lo blando y la fragilidad, cuando no es necesariamente así. Una curva solo es frágil cuando no está bien diseñada (Fig. 37). Por lo que gracias a ella se pudo conseguir esa libertad plástica. Sus edificaciones representan la plasticidad formal que tanto ansiaba. Plasticidad que se comenzó a expresar en el proyecto para el Palácio do Planalto (1958-1960) y que llegó a su máximo esplendor con obras como el Museo de Arte Contemporáneo de Niterói (1991-1996) o el Museo Oscar Niemeyer (2002).

Si hemos de describir la relación que Niemeyer establece entre la forma y la estructura, la forma sale totalmente victoriosa, quedando la estructura en segundo plano. La curva y el hormigón armado son los elementos que se repiten a lo largo de su carrera.

En una dirección opuesta trabajó **EERO SAARINEN** (1910-1961), que se caracterizó experimentar con la capacidad tensional de los materiales, por otorgar un papel principal a la estructura en sus edificios, presentándose la estructura como el elemento visual más potente de la gran mayoría de sus proyectos (Fig. 38).

Un claro ejemplo de esta visión, que otorga Saarinen al problema, es la Terminal TWA del aeropuerto John F. Kennedy (1956-1962). En ella una potente estructura de cubierta libera el interior, en el que las formas curvilíneas dominan el espacio. De esta manera, la estructura libera el espacio (Fig. 39). Si Niemeyer innovó con las formas, Saarinen innovó con las estructuras, aunque en ambos casos el resultado es igual de expresivo y plástico.



Fig. 38: Potente estructura de cubierta que otorga un papel principal a la estructura

Eero Saarinen: Terminal TWA del aeropuerto John F. Kennedy, New York, EEUU, 1956-1962



Fig. 39: El interior lo resuelve con formas curvilíneas

Eero Saarinen: Terminal TWA del aeropuerto John F. Kennedy, New York, EEUU, 1956-1962



Fig. 40: Imagen exterior en la que se observan las bóvedas de cubierta

Sigurd Lewerentz: Iglesia de San Pedro, Klippan, Dinamarca, 1962-1966

Mientras Niemeyer y Saarinen experimentaban con la forma o estructura, en el año 1963, **SIGURD LEWERENTZ** (1885-1975) construye la Iglesia de San Pedro en Klippan. Lewerentz persigue la relación entre forma y estructura como respuesta a una serie de condicionantes, relación que plantearon previamente Mies y Wright.

La iglesia se muestra al exterior como una edificación sin apenas aberturas construida con fábrica de ladrillo estructural (Fig. 40), en la que su interior nos transmite silencio, paz y serenidad, gracias al control de la iluminación. Lewerentz remata el espacio interior colocando un pilar metálico, en forma de T, en el espacio central que será el encargado de recibir todas las cargas de la cubierta abovedada (Fig. 41). El espacio queda definido con la estructura que se convierte en el elemento principal del proyecto, al igual que ya hiciera Wright en el edificio Johnson Wax (1939). La estructura, nada expresiva en su cara exterior, se muestra al interior como el único elemento expresivo de la sala, aumentando así la sensación de vacío y tranquilidad. A su vez, la oscuridad junto con los tonos marrones de los materiales, ladrillo y acero, favorecen este sentimiento.



Fig. 41: La estructura central se adueña de la expresividad del espacio

Sigurd Lewerentz: Iglesia de San Pedro, Klippan, Dinamarca, 1962-1966

Al igual que Lewerentz, **LOUIS I. KAHN** (1901-1974) continuó con la tendencia que establecía la relación entre forma y estructura como respuesta a una serie de factores. Una de las constantes a lo largo de su carrera fue la perfección estructural y el carácter del material. Kahn, que en un principio utilizó estructuras de acero ligero, tras estudiar obras de la Antigüedad quedó fascinado por la cualidad eterna de la construcción pesada y de los espacios delimitados por macizas mamposterías. A partir de este momento, su obra se centrará en la búsqueda de esta cualidad eterna mostrando el modo en el que el edificio había sido erigido.



Fig. 42: La bóveda está partida por la mitad para dejar que la luz penetre en el espacio interior

Louis Kahn: Museo de Arte Kimbell, Fort Worth, EEUU, 1966-1972

Por todo lo anterior, la expresividad de sus estructuras se basará en la pesadez, en lo eterno de las construcciones macizas. En estas construcciones pesadas resueltas a través de estructuras murarias, la luz jugará un papel crucial, creando efectos de luz y sombras que dotan de profundidad y un ambiente especial a cada uno de sus espacios (Fig. 43).

En el Museo de Arte Kimbell de Forth Worth (1972), Kahn, creó un espacio formado por una serie de formas abovedadas partidas por la mitad para dejar pasar la luz. Se trata de un claro ejemplo de cómo trabajó la relación entre estructura e iluminación. La iluminación natural o artificial que reciben los elementos estructurales nos permiten su perfecta articulación con el resto de elementos de la sala. La estructura es una herramienta más en el diseño de este espacio.

Unos años más tarde de que Saarinen mostrara su forma de trabajar en la Terminal TWA del aeropuerto John F. Kennedy (1956-1962), **RENZO PIANO** (nacido en 1937) y **RICHARD ROGERS** (nacido en 1933) construyen el Centro Georges Pompidou (1977) con el que mostraron ciertas similitudes con su manera de trabajar, la estructura se convierte en el elemento visual más potente del edificio. En el caso de Piano y Rogers la estructura no se convierte en una gran cáscara que cubre el edificio, sino que constituye el propio edificio. La edificación muestra con total sinceridad hasta en el más mínimo detalle, quedando claro el funcionamiento del edificio con un ligero vistazo.

La potente imagen de la estructura que se manifiesta en el exterior, en el interior parece desaparecer, confundirse (Fig. 44 y 45). En el interior del edificio, las instalaciones adquieren ese peso visual, desplazando a la estructura a un segundo plano. Todas las instalaciones se dejan a la vista, además se pintan con colores que llaman la atención, las cuales desvían la atención de la estructura.

En el proyecto, la forma y estructura podrían haberse liberado la una de la otra, pero no lo hacen. Su relación convierte al Centro George Pompidou en una edificación en la que tanto el diseño estructural como artístico obtuvieron la misma importancia.

Para terminar con esta relación de arquitectos e ingenieros, me gustaría nombrar también a **FRANK GEHRY** (nacido en 1929), el cual optó por la línea de la expresividad formal y no estructural. Podríamos decir que sigue la línea de sucesión marcada por Niemeyer, dando un paso más a favor de la expresividad formal.

Sus edificaciones retorcidas con formas totalmente plásticas y expresivas, más propias de las esculturas, ocultan el lenguaje estructural. En su arquitectura podríamos hablar de deconstructivismo, cuyo objetivo es liberar a la arquitectura de su disciplina tecnológica. Obviando así las reglas de la arquitectura moderna como «la forma sigue a la función», «la pureza de la forma» y la «verdad de los materiales».

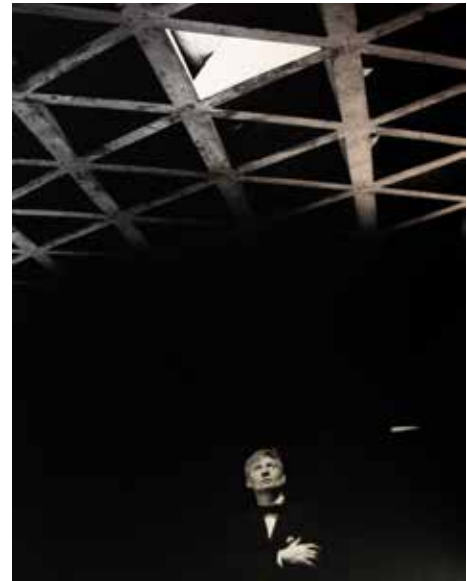


Fig. 43: Luz y estructura

Louis Kahn en la Yale University Art Gallery, New Haven, 1951-1953



Fig. 44 y 45: Expresividad estructural potente en el exterior pierde su presencia al interior en favor de las instalaciones

Renzo Piano y Richard Rogers : Centro Georges Pompidou, París, Francia, 1977



Fig. 46: Formas plásticas que ha de perforar para adecuarlas a su uso

Frank O. Gehry: Lou Ruvo Center for Brain Health, Las Vegas, EEUU, 2007-2010



Fig. 47: El edificio parece una escultura de grandes dimensiones

Frank O. Gehry: Auditorio Walt Disney, Los Angeles, EEUU, 1987-2003

“Siempre me gustan más los artistas que los arquitectos. La diferencia fundamental se cifra en el modo en que hacemos las cosas. Como arquitecto, puedo hacer formas maravillosas, pero luego tienes que perforarlas en función de su uso interno” (Fig. 46)

Frank O. Gehry.

La relación entre forma y estructura en la arquitectura de Gehry la podríamos calificar como inexistente, ya que la estructura queda reducida a algo que se solucionará tras diseñar las formas. Auditorio Walt Disney (1987-2003), en Los Angeles, es prueba de ello, da la sensación de ser una escultura de gran tamaño que posteriormente se adecuará para el uso que se requiera. Su forma, al mismo tiempo, no parece provenir de la imposición de ningún otro factor que no sea el atractivo (Fig. 47).

EVOLUCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE FORMA Y ESTRUCTURA :

Para concluir haremos un pequeño resumen para intentar recoger todas las ideas mencionadas y conectarlas. Para ello, comenzaremos en el siglo XV y XVI con Brunelleschi, Miguel Ángel y Sinan, con ellos la estructura definía tanto el espacio interior como exterior y la forma era consecuencia de ella, pero la relación entre forma y estructura no se quedó ahí, y aunque la forma continuase dependiendo de la estructura, ésta fue liberándose poco a poco.

Con Schinkel, ya en el siglo XIX, se comenzaron a sentar los cimientos de esta liberación. Gracias a la eliminación de un elemento, tan potente, como las bóvedas, liberó al interior de sus edificaciones de esa presencia de la estructura tan potente en el interior. Tras él, a finales del siglo XIX y principios de siglo XX, se abrieron dos tendencias, una de ellas en la que la estructura y forma eran una, representada por Eiffel y Gaudí; y otra en la que la forma se libera de la estructura, gracias a la separación entre estructura y cerramiento planteada por Perret.

Antes de adentrarnos en la arquitectura moderna, me gustaría aclarar que se caracterizó por tener hasta tres tendencias diferentes,

que a su vez irán evolucionando hacia uno u otro sentido en función de las ideologías que tenían los arquitectos.

La primera de estas tendencias, aquella en la que la estructura adquiere un papel dominante, seguirá los pasos marcados por Eiffel y Gaudí. En ella se plantea la relación entre forma y estructura como una respuesta a las formas resistentes de la estructura. Las formas provenían de la sinceridad estructural, de sus formas resistentes. En este grupo, en el que primará la estructura aparecerá Nervi con sus estructuras totalmente expresivas que muestran su forma de trabajo a través de sus formas. Con el paso de los años esta tendencia irá evolucionando para dar paso a otras dos, una representada por Saarinen, que utiliza formas plásticas en sus estructuras; y la otra queda representada por Piano y Rogers, en los que las formas son mucho más rígidas.

Si la primera de las tendencias provenía de Eiffel y Gaudí, adquiriendo la estructura un papel principal, las dos siguientes tendencias encuentran su razón de ser en los ideales propuestos por Perret. En ellos, la forma y estructura son capaces de liberarse, por lo que la importancia de la estructura puede diluirse.

Dicho todo esto, la segunda de las tendencias tiene como máximo exponente a Le Corbusier, alumno de Perret. Con él, la forma se libera de la estructura tanto en la fachada como en la planta para dar lugar a una composición libre. En esta composición libre primará el diseño pero no sin olvidar la estructura. En este mismo sentido se mostró Prouvé con sus esqueletos básicos que liberaban a la forma. Sin embargo, este empeño por priorizar el diseño, con formas donde proliferan las curvas, llevó a que la evolución continuase decantándose hacia él. Niemeyer, al que podemos situar en un punto intermedio entre lo que fue y en lo que se convertirá, priorizó la forma y la plasticidad, apoyándose en el hormigón armado. El resultado de esta tendencia "formalista" se lleva al extremo con Gehry, en el que la forma lo es todo y la lógica estructural no tiene cabida.

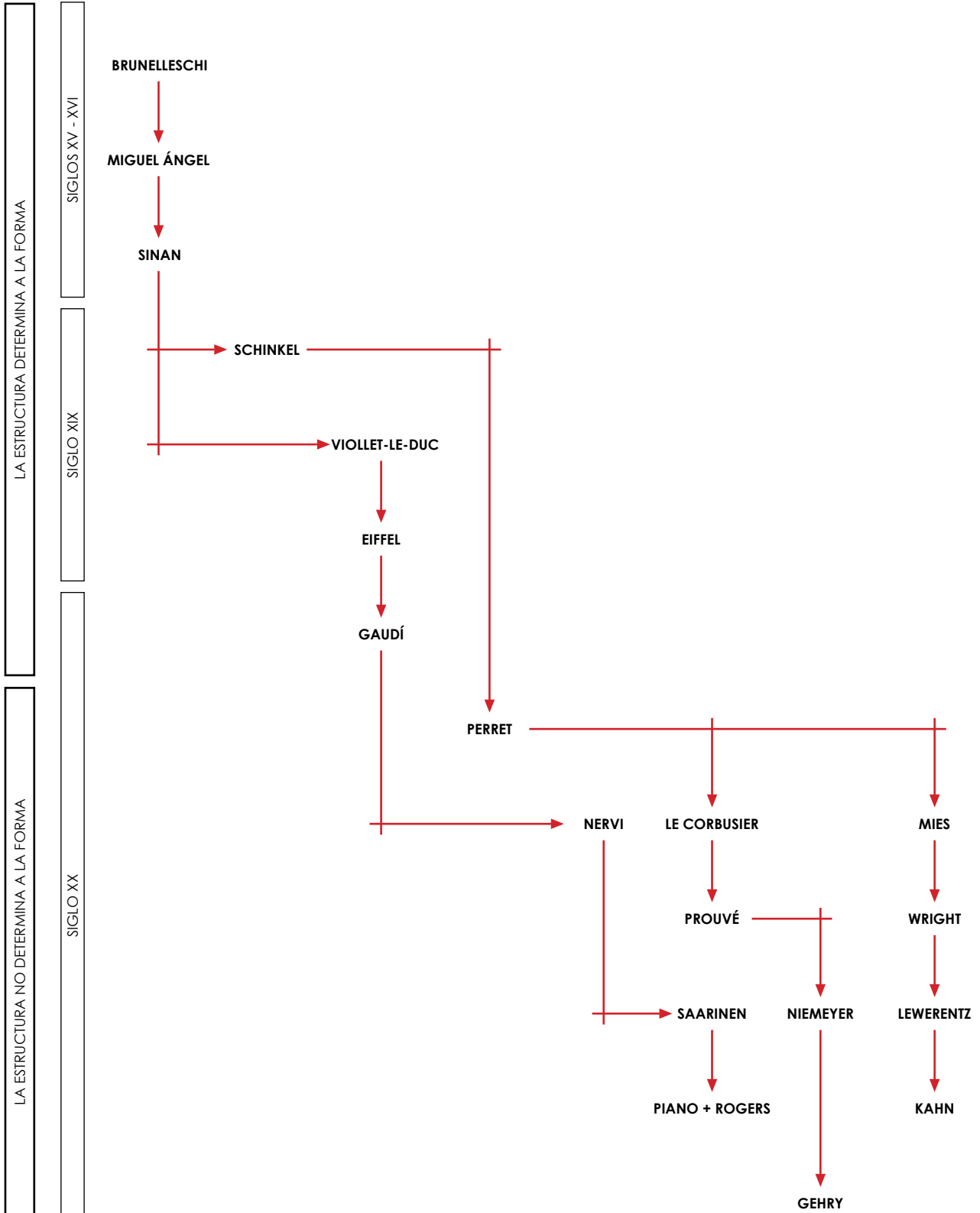
Por último, aparece la tercera tendencia. En ella se mantiene ese concepto de liberación, pero se plantea la relación entre la forma y estructura como una respuesta a una serie de factores más allá de estos dos, como el material, la luz, la función, el lugar, etc.; y no como una respuesta a favor del diseño. Su arquitectura se basará en una idea de estética directa, sin decoración y con más rigor geométrico que en la segunda tendencia. A favor de esta tendencia trabajaron arquitectos como Mies, Wright, Lewerentz y Kahn.

En la actualidad continúa esta lucha de tendencias, dando lugar a arquitecturas totalmente dispares. Parece que cada uno intenta imponer una idea de arquitectura, idea que será lo más diferente y llamativa posible. Aunque sería incapaz de calificar una arquitectura como ineficaz o ilógica, me muestro más partidario de la cordura en la arquitectura. Una arquitectura en la que cada uno de los aspectos que influyen en ella vayan de la mano y no se sobrepongan el uno sobre el otro, ya que cuando las cosas se llevan al extremo se convierten en modas. Sin embargo, la arquitectura serena como la de Frank Lloyd Wright o Mies van der Rohe es atemporal.

ENFOQUE DE LOS GRANDES MAESTROS DE LA ARQUITECTURA

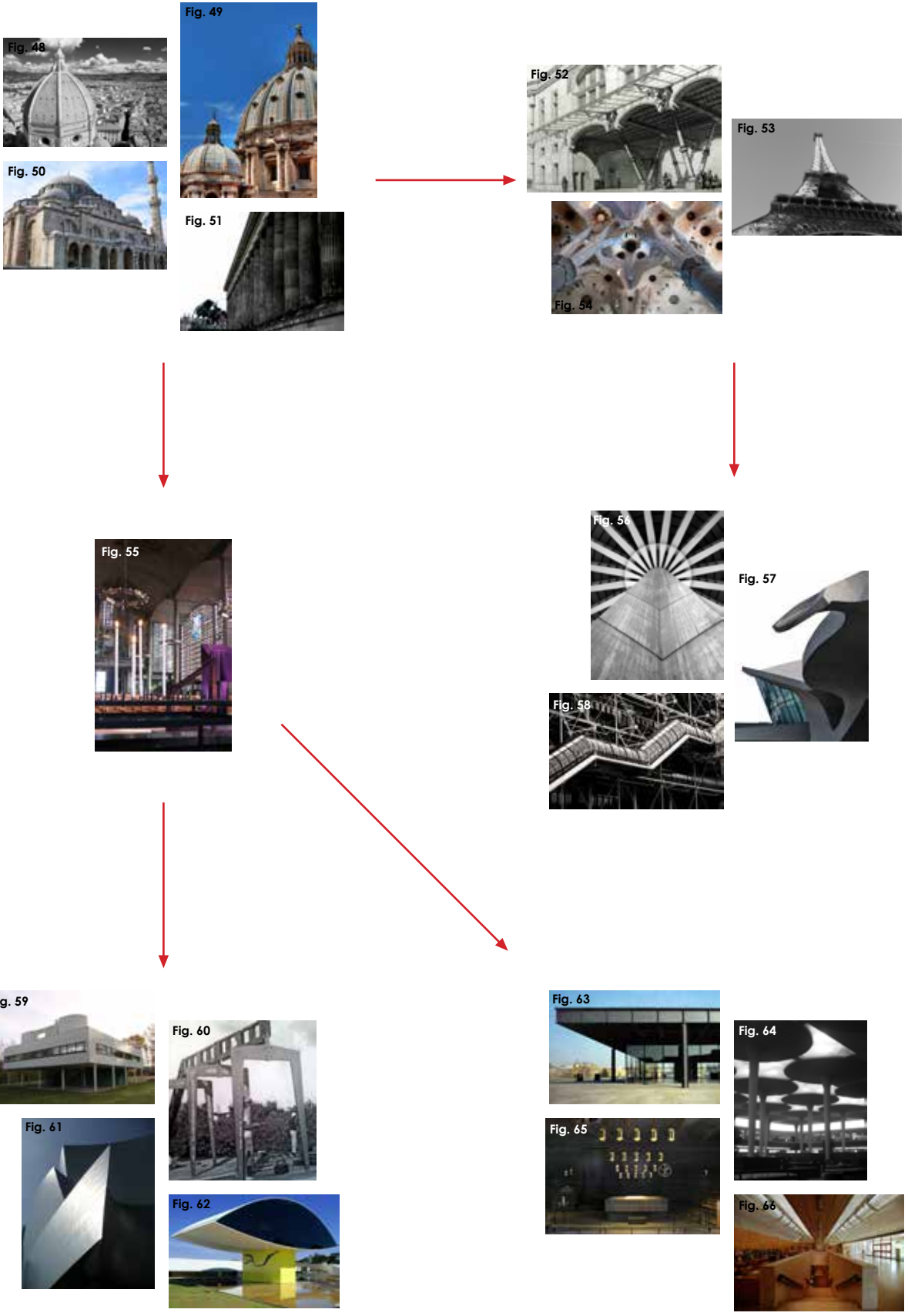
DE LA VISIÓN PARTICULAR A LA VISIÓN GENERAL

RELACIÓN:	LA ESTRUCTURA DETERMINA A LA FORMA		LA ESTRUCTURA NO DETERMINA A LA FORMA					
FORMA:	CLÁSICA	RESISTENTE	ELEGIDA POR EL ARQUITECTO	RESULTADO				
RESULTADO:	DETERMINAN: INT + EXT	DETERMINAN: EXT	DETERMINAN: INT + EXT	NO DETERMINAN	LÓGICA ESTRUCTURAL	DISEÑO Y LÓGICA	DISEÑO	CONJUNTO DE FACTORES



LA ESTRUCTURA DETERMINA A LA FORMA

LA ESTRUCTURA NO DETERMINA A LA FORMA



CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de Pau García Solbes
 Fig. 2: Fotografía de www.cavolo.com
 Fig. 3: Fotografía de Michel Denancé
 Fig. 4: Esquema de José Hernández Navarro
 Fig. 5: Fotografía de Patrick Hinge
 Fig. 6: Fotografía de Photo Scala, Florencia
 Fig. 7: Esquema de José Hernández Navarro
 Fig. 8: Fotografía de Raul Lopez Petisco
 Fig. 9: Sección de www.antoniohernandez.com
 Fig. 10: Fotografía de usuario fdja49 de Flickr
 Fig. 11: Fotografía de Pedro Ferrer
 Fig. 12: Fotografía de Mark Turner
 Fig. 13: Fotografía de Udo Lauer
 Fig. 14: Sección www.greatbuildings.com
 Fig. 15: Fotografía de Rictor Norton
 Fig. 16: De *Entretiens sur l'architecture*, París
 Fig. 17: Fotografía de RMN
 Fig. 18: Fotografía de Beatriz Pitarch
 Fig. 19: Cátedra Gaudí Archives ETSAB-UPC
 Fig. 20: Kenneth Powell, *Los grandes arquitectos*, Editorial Lunberg, 2012, pág 159
 Fig. 21: Fotografía de Núria Carandell
 Fig. 22: Fotografía de Blufon University
 Fig. 23: Fotografía de Archives d'architecture du XXe siècle Auguste Perret
 Fig. 24: Fotografía de Yvette Gauthier
 Fig. 25: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 26: Imagen de www.greatbuildings.com
 Fig. 27: Esquema de José Hernández Navarro
 Fig. 28: Fotografía de usuario caviargirl, Flickr
 Fig. 29: Fotografía de aspiring architect
 Fig. 30: Fotografía de Centro archivi MAXXI architettura, Roma
 Fig. 31: Fotografía de Roberto Saba
 Fig. 32: Fotografía de usuario marmoffotos, Flickr
 Fig. 33: Fotografía de Frank Steltenkamp
 Fig. 34: Fotografía de Bonn VG Bdkunst
 Fig. 35: Fotografía de Collection Centre Pompidou
 Fig. 36: Fotografía de Styliane Philippou
 Fig. 37: Fotografía de Rubens Campos
 Fig. 38: Fotografía de Gabriel Jorby
 Fig. 39: Fotografía de Balthazar Korab Ltd
 Fig. 40: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 41: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 42: Fotografía de Xavier de Juaréguiberry
 Fig. 43: Fotografía de Louis I. Kahn Collection

Fig. 44: Fotografía de Bernard Vincent
 Fig. 45: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 46: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 47: Fotografía de Kwong Yee Cheng
 Fig. 48: Fotografía de Raul Lopez Petisco
 Fig. 49: Fotografía de Igor Zabildea
 Fig. 50: Fotografía de Eduardo Arostegui
 Fig. 51: Fotografía de Joan Hernández
 Fig. 52: De *Entretiens sur l'architecture*, París
 Fig. 53: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 54: Fotografía de David Fernandez
 Fig. 55: Fotografía de Julien Gouric
 Fig. 56: Fotografía de Roberto Saba
 Fig. 57: Fotografía de Timothy Schenck
 Fig. 58: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 59: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 60: Fotografía de SPADEM
 Fig. 61: Fotografía de Christopher Macsurak
 Fig. 62: Fotografía de Davisom Trevizam
 Fig. 63: Fotografía de Klaus Frahm
 Fig. 64: Fotografía de Bjorn CPH
 Fig. 65: Fotografía de José Hernández Navarro
 Fig. 66: Fotografía de Xavier de Juaréguiberry

NOTAS:

1. Kenneth Powell, *Los grandes arquitectos*, Editorial Lunberg, 2012, pág 23
2. Kenneth Powell, *Los grandes arquitectos*, Editorial Lunberg, 2012, pág 25
3. Autobiografía de Frank Lloyd Wright
4. Entrevista para la revista *Architectural Record*

EL ARQUITECTO Y EL INGENIERO

En la actualidad, no podemos abordar un tema como la estructura sin tener en cuenta al ingeniero, ya que en la actualidad parece ser su competencia y no la del arquitecto. En el pasado, no existía distinción entre arquitectura e ingeniería, la figura del arquitecto englobaba la del ingeniero y viceversa. Antes del siglo XV, cualquier persona con cultura y sabiduría, desde un médico hasta un monarca, eran los encargados de abordar las tareas del arquitecto. Será a partir del siglo XV, cuando se afiance la posición del arquitecto. Posteriormente, ya en el siglo XIX, surgirá la distinción entre ingeniero y arquitecto. Esta disgregación surgió de la separación de oficios, que se debe a la especialización.

Esa especialización sigue vigente, por lo que de la figura del arquitecto han surgido diferentes oficios en forma de ingenierías. Oficios que tienden a distanciarse cada vez más de la arquitectura, volviéndose más técnicos. Queda claro, pues, que esa distinción existe pero... ¿qué papel juega cada uno?

Con el anterior apartado, sobre los grandes maestros de la arquitectura, nos queda claro que un arquitecto ha de indagar sobre todo tipo de factores que influirán en su obra, entre ellos la estructura. Su función será la de aglomerar todos los factores de los que disponga para hallar la solución al problema que se le plantea, como si de un matemático se tratase.

La posición del ingeniero estructural es también compleja, ya que en un principio, se muestra, como una liberación de uno de los factores que influyen en la decisión del arquitecto. Por tanto, si trabaja con uno de estos factores, debería recibir la condición de arquitecto, pero en la actualidad se le llama ingeniero. Esto hace que la lógica estructural quede, en muchos casos, en un segundo plano, llegando a considerarse como un simple proceso de cálculo, una comprobación, y no como el conocimiento de las funciones estructurales.

Esta liberación supuso que muchos arquitectos olvidasen, a su vez, su condición de ingenieros, lo que les llevó a centrarse cada vez más en cuestiones de diseño, basándose en malinterpretar afirmaciones como "Sybil Moholy-Nagy, quien tuvo tiempo para enseñar historia de la arquitectura después de salir de Bauhaus, dijo que cualquier loco podría diseñar la mitad de un edificio pero solo un reflexivo arquitecto sabría como doblar la esquina y fundir la tierra con el cielo"¹. Está claro que sólo un arquitecto es capaz de eso, pero olvidan que, por definición, un ingeniero es un arquitecto.

Otro aspecto que quizás haya influido en esta distinción entre arquitectos e ingenieros, es la mentalidad conservadora que parece imponerse entre los segundos. Esta mentalidad conservadora, bien representada en un ingeniero como Peter Rice, afirmando que "nosotros en París podíamos tener muchas ideas y tratar de demostrar que funcionarían a la perfección. Pero en ingeniería de estructuras no existe el derecho a equivocarse. Cuando se innova, como lo estábamos haciendo al emplear acero fundido (Fig. 1 y 2), es esencial poder apoyarse en análisis precisos de gentes altamente cualificadas..."². Quizás este aspecto sea el que lleve a muchos ingenieros a



Fig. 1 y 2: Primeras piezas de acero fundido realizadas por Peter Rice

Renzo Piano y Richard Rogers : Centro Georges Pompidou, París, Francia, 1977



Fig. 4: Ove Arup durante la construcción de la Catedral de Coventry, donde trabajó como asesor

Basil Spence: Catedral de Coventry, Reino Unido, 1951-1962



Fig. 3: Proceso de obra de la Ópera de Sídney, en la que participaron Ove Arup y Peter Rice

Jörn Utzon : Ópera de Sídney, Australia, 1956-1973

rechazar todo aquello que no comprendan, generando así otra diferencia respecto al arquitecto, innovador por definición, siempre buscando su propio camino.

DE OVE ARUP A PETER RICE:

Para intentar comprender mejor a los ingenieros, realizaremos una breve investigación sobre Ove Arup (1895-1988) y Peter Rice (1935-1992), maestro y alumno. Ambos fueron ingenieros, ingenieros que parecían ir en una línea diferente al resto. Arup fundó la que hoy en día es una firma global de consultores, ingenieros y diseñadores que ofrece una amplia gama de servicios profesionales a clientes en todo el mundo. Esto lo consiguió gracias a no seguir el camino establecido e intentar aportar algo más a la ingeniería. Rice, ingeniero civil que trabajó en el grupo de Estructuras 3 en Ove Arup y Asociados, consideró a Arup su padre en ingeniería.

OVE ARUP, que reflexionó sobre el dilema existente entre arquitecto e ingeniero, será el precursor de la creación de una nueva raza de ingenieros. A partir de la década de 1920 empezó a argumentar que la educación básica y la praxis de arquitectos e ingenieros deberían ser remodeladas totalmente. Proponía que los arquitectos adquiriesen una formación de ingeniería previa al estudio de su correspondiente oficio; los ingenieros a su vez debían aprender a delinear y diseñar con estética. Este tipo de opiniones, junto con su trabajo, le hicieron hacerse un nombre entre los grandes ingenieros. Estos llegaron a afirmar que había creado una nueva raza de ingenieros.

“Los ingenieros que colaboran en objetivos compartidos en un espíritu de armonía con buenos arquitectos, pertenecen realmente a una raza creada por, que a su vez, un nuevo tipo de arquitectura y, gracias a Dios, una nueva clase de arquitectos. Una situación que es obra de un solo hombre, usted.”

Alan Harris, ingeniero de estructuras y pionero del hormigón pretensado, sobre Ove Arup, 1960.

Arup, carecía de paciencia ante la verborrea y arrogancia de arquitectos que se escondían bajo una máscara de romántico artista. Asimismo, se lamentaba por la insensibilidad e irresponsabilidad social de los ingenieros. Si tuviéramos que describir a Arup en una palabra, diríamos que fue coherente.

A lo largo de su amplia carrera tuvo la oportunidad de colaborar en grandes proyectos como el de la catedral de Coventry (1951-1962) (Fig. 3) y tras fundar Ove Arup y Asociados se le encargaron la Ópera de Sídney(1956-1973), de Jörn Utzon, y el Centro Georges

Pompidou(1977), de Renzo Piano y Richard Rogers. Esta consultora sigue en funcionamiento actualmente y es una de las mayores, si no la mayor, del mundo. A ella han acudido posteriormente otros arquitectos como Norman Foster, Enric Miralles, Rem Koolhaas, Rafael Moneo y Daniel Libeskind.

PETER RICE, que como se ha mencionado anteriormente, trabajó para Ove Arup y Asociados y consideró a Arup como su padre en el mundo de la ingeniería, por lo que seguirá el camino iniciado por éste. A su vez, Ronald Jenkins, socio de Arup encargado de la Ópera de Sídney (Fig. 4), fue también muy importante en la su carrera. Jenkins representó para él una especie de ideal, un ingeniero que al rigor del cálculo unía una comprensión clara de la estructura y su funcionamiento.

La influencia de ambos socios le marcará, hasta convertirse en uno de los ingenieros de estructuras con más inventiva y mayor rigor de su generación. Como decía Renzo Piano (Fig. 5), Rice proyectaba estructuras *"como un pianista que toca con los ojos cerrados; comprendía tan bien su naturaleza fundamental que era capaz de imaginar, en la oscuridad, lo que sería posible, mas allá de toda evidencia"*.

Por su parte, en lo referente al dilema existente entre arquitecto e ingeniero, Rice defendió que la gran diferencia entre arquitecto e ingeniero radica en el tipo de respuesta que cada uno da. El arquitecto, se mueve por consideraciones personales, dando así una respuesta creativa, de manera que definió la arquitectura, basándose en el infinito número de soluciones correctas, como una respuesta subjetiva basada en la creencia de que es la solución más adecuada.

A diferencia del arquitecto, el ingeniero busca desplazar el problema hacia otro que atañe a las propiedades de la estructura, de los materiales o de cualquier parámetro impersonal, ofreciendo una respuesta esencialmente inventiva. Por tanto, si la respuesta del arquitecto es creativa y la del ingeniero inventiva, la otra gran diferencia entre ambos radica en la imaginación. Durante el proceso de creación el arquitecto imagina el producto final, mientras que el ingeniero el proceso de construcción.

Al trabajar para Arup, Rice tuvo la oportunidad trabajar en grandes proyectos como la Ópera de Sídney y el Centro Georges Pompidou, ya mencionados. Posteriormente, ya por su cuenta, colaboró en otros grandes proyectos como en el Museo Menil Collection (1982-1986), Renzo Piano, o el la Pirámide del Louvre (1984-1989), I. M. Pei (Fig. 6).



Fig. 5: Rice mantuvo una gran relación con Renzo Piano, llegando incluso a formar un equipo

Renzo Piano y Peter Rice examinando una de las hojas para la cubierta del Museo Menil.



Fig. 6: Rice trabajó como ingeniero de estructuras en obras de gran renombre, entre las que se encuentra la Pirámide del Louvre

I. M. Pei: Pirámide del Louvre, París, Francia, 1985-1989

Tras todo lo descrito sobre la posición del arquitecto y la del ingeniero, queda claro que el arquitecto debe adquirir un mayor grado de implicación con los problemas estructurales y la expresividad estructural; mientras que el ingeniero debe esforzarse por aportar algo más en materia de diseño. No podemos olvidar que el arquitecto debe ser también ingeniero, y el ingeniero debe ser arquitecto, algo que resumieron muy bien un ingeniero como Arup y un arquitecto como Le Corbusier.

"El Movimiento Moderno descubrió que el trabajo de los ingenieros de antaño era de hecho arquitectura. Hoy en día se acepta la idea de que los puentes y las fábricas son arquitectura; igualmente la vivienda y, en el fondo todo lo que se construye. [...] En nuestra época hay que pensar y diseñar todo lo que hace el hombre para las necesidades del hombre."

Extracto de unas conferencias que ofreció Ove Arup al final de su carrera.

"Los ingenieros hacen arquitectura, pues utilizan el cálculo emanado de la naturaleza y sus obras nos hacen sentir la armonía."

Extracto de Hacia una arquitectura (1923), Le Corbusier.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de Gianni Berengo Gardin

Fig. 2: Fotografía de Bernard Vincent

Fig. 3: Fotografía de ARUP

Fig. 4: Fotografía de ARUP

Fig. 5: Fotografía de David Crossley

Fig. 6: Fotografía de Posini Jauna

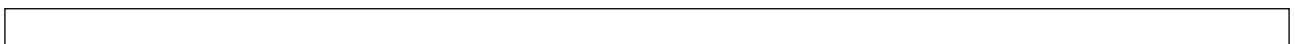
NOTAS:

1. Peter Rice, Un ingeniero imagina, Ed. Cinter, 2009, pág 21, Prólogo de David Mackay (MBM Arquitectes)

2. Peter Rice, Un ingeniero imagina, Ed. Cinter, 2009, pág 40

ESTRUCTURA ARQUITECTÓNICA

1



1.1. CRITERIOS DE DISEÑO: ECUACIONES E INCÓGNITAS

Toda estructura requiere equilibrio, resistencia, estabilidad y compatibilidad de deformaciones. Sin embargo, no basta con saber utilizar un sistema estructural, sino que se debe buscar el más adecuado. Vano sería el empeño del que pretende hallar el trazado de la estructura simplemente habiendo estudiado las teorías resistentes y los procesos de desarrollo de sus cálculos, es necesario meditar sobre el comportamiento de la estructura.

"En la literatura técnica de la construcción se encuentran cientos de obras, de carácter teórico, sobre el cálculo de sus estructuras; muy pocas sobre las condiciones generales de sus tipos, sobre las razones fundamentales que los determinan, sobre las bases que han de orientar el problema de su elección y las ideas rectoras que guían al proyectista en su trabajo inicial, siguiendo principios que, poco a poco, ha ido asimilando su mente, pero en los que rara vez se para a reflexionar."

Eduardo Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, CSIC, Tercera Edición, 1957, pág 13.

Como ya se ha comentado, aunque este proceso de concepción de una estructura sea un arte (Fig. 1), el resultado de una intuición experimentada y su forma de trabajar varíe de una persona a otra, para llegar a la solución deseada no puede darse de lado una solución sin tener la seguridad de que no ofrece ventajas con respecto a las otras. También hay que cuidar de no olvidar o menospreciar ninguna condición funcional. Si se sacrifica alguna ha de ser a consecuencia de ello y bien justificado el por qué. Frecuentemente se ve que la estructura resulta forzada o demasiado complicada. Esto se puede deber a que durante el proceso de proyectar se ha obviado una de sus partes, la estructura.

No reflexionar debidamente sobre la estructura que lo sustentará, generará esas estructuras forzadas o complicadas; y si, en algún caso particular, aún adoptando este camino, esto no sucede, será por simple casualidad. No hemos de olvidar que "las formas geométricas emergen desde la propia naturaleza de los materiales", algo que en la estructura no será diferente. La única manera de evitar que esto suceda no es simplemente pensar en como se va a resolver, ya que si no se posee un profundo conocimiento de las características mecánicas, de los materiales, de las técnicas que cada uno requiere y de los medios de que se dispone para manejarlos, no se puede atinar en la elección estructural mas conveniente.



Fig. 1: Estructura proyectada para el Museo Menil, en ella se pretende una ligereza que permita el paso de la iluminación natural a través de la cubierta

Renzo Piano y Peter Rice: Museo Menil Collection, Houston, EEUU, 1982-1986

Muy a nuestro pesar, es demasiado frecuente conformarse con resolver la estructura como se pueda, sin adoptar un criterio y sin que el arquitecto quisiera saber nada de ella, ni preocuparse por los apuros que pasa para meterse en esa horma y lograr que no se venga todo abajo. A veces dar un paso atrás ayuda. Una solución en la que su programa funcione, dejando de lado a la estructura, no es correcta.

Un criterio para la elección estructural correcto ha de comprender estos cuatro aspectos: el material, el tipo estructural, sus formas y dimensiones resistentes y el proceso de ejecución (Fig. 2 y 3). Estos

cuatro aspectos van unidos y se influyen mutuamente; podríamos decir que se trata de resolver una serie de ecuaciones en las que estos cuatro aspectos serían las incógnitas, solo una acertada elección de los cuatro puede dar una solución óptima.

Aunque la armonía entre estos cuatro aspectos sea imprescindible, será el material el que más condicione al resto. Cada material posee un conjunto de características propias que le harán más o menos apto para un tipo de construcción, para uno u otro proceso constructivo, para una forma de sollicitación mecánica, para una u otra forma geométrica, etc. Las características propias de cada material influyen, pues, en el tipo estructural que se ha de elegir. Por ejemplo, la piedra por sus características resistentes, masa y peso, puede ser buena para aquellos tipos estructurales que se estabilizan por su propio peso, y mala para otros tipos de sollicitaciones.

El material es, por tanto, esencial en el criterio de elección y, por consecuencia, en la estructura, convirtiéndose en uno de los condicionantes más acusados de toda su morfología. Por ello, en el siguiente apartado me centraré en los materiales, ya que aunque estos criterios son demasiado complejos aún para ofrecer una teoría general, lo que se tratará de hacer es proporcionar datos objetivos. De esta manera se pretende ayudar a que cada uno, incluso nosotros mismos, a través de meditar sobre esos conceptos formemos nuestro propio criterio, ya que de momento parece la solución más sensata.

“Ideas, observaciones y tendencias, como dispersas y encontradas al azar, pero que responden, en realidad, a unas leyes y direcciones generales que esperan al genio capaz de organizarlas y sintetizarlas en una teoría general. Su complejidad es tan grande y su heterogeneidad tan diversa que habrán de esperar mucho tiempo antes de que eso ocurra. Sólo se pueden dar opiniones sueltas y vagas”.

Eduardo Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, CSIC, Tercera Edición, 1957, pág 217.

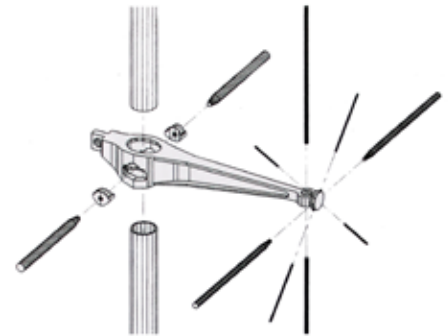


Fig. 2 y 3: La composición de la estructura depende de diferentes factores. En este caso se optó por utilizar fundición de acero, asociando la forma al diagrama estructural

Renzo Piano, Richard Rogers y Peter Rice: Centro Georges Pompidou, París, Francia, 1977

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de Renzo Piano Building Workshop

Fig. 2: Fotografía de OAP

Fig. 3: Fotografía de OAP

NOTAS:

1. Peter Rice, Un ingeniero imagina, Ed. Cinter, 2009, pág 21, Prólogo de David Mackay (MBM Arquitectes)

1. 2. ESTRUCTURA VERTICAL: EL MATERIAL

El material es un aspecto muy importante para la concepción de cualquier estructura, es necesario meditar sobre las propiedades de cada uno de ellos, hasta comprender su particular modo de ser y de expresarse; porque cada cual lo hará de una manera diferente y específica.

"Para el artista creador, cada material expresa su propio mensaje"

Frank Lloyd Wright.

Los materiales estructurales los podríamos agrupar en cuatro grupos: pétreos, maderas, metálicos y hormigones armados. Estos cuatro grupos presentan características diferentes y específicas que influyen decisivamente en la estructura. Aunque existan otros materiales como el plástico que pueden ser utilizados para generar estructuras en casos muy concretos y cuya aplicación ha sido prácticamente nula desde la crisis del petróleo, prefiero centrarme en aquellos que tienen un mayor recorrido.



Como bien resume el título de este apartado, la relación entre la estructura vertical y el material será muy importante para la concepción de cualquier estructura. Con estructura vertical nos referimos básicamente al soporte (Fig 1) y al muro (Fig 2). La elección de uno de ellos condiciona la tipología y material a emplear, de ahí la importancia de hacer un breve inciso sobre ambos conceptos.

Tanto el soporte como el muro tendrán la función de resistir, aunque cada uno de ellos tendrá connotaciones diferentes. El soporte, columna o pilar constituye un apoyo aislado, por lo que podríamos afirmar que el primero de ellos fue de madera y que quizás lo fue sin dejar de ser un árbol.

Si el primer soporte fue un árbol, el muro tampoco es un elemento precisamente moderno. En este caso, al ser un apoyo continuo, además de resistir, tiene que cerrar y contener. Por ello, siempre se ha asociado al carácter constructivo de las fortalezas, algo que se desprende de la etimología de la palabra, mei-/moi- significa fortalecer.



Fig. 1 y 2: El soporte y el muro

A. Aguirre: Viaducto de Quince Ojos; Muro cualquiera en Trieste

PÉTREOS:

Dentro del este grupo podemos distinguir la mampostería, la cantería, el adobe, el tapial, las obras de fábrica y el hormigón en masa que por su comportamiento y composición lo podemos considerar como un material pétreo.

Los restos más antiguos de este tipo de estructuras los podemos encontrar en los muros de mampostería ciclópea en seco (Fig. 3). Más tarde, con la aparición de herramientas que permitiesen labrar la piedra, nació la cantería. A su vez, tanto la cantería como la mampostería se aprovecharán de las ventajas de resistencia y estabilidad que ofrecían los morteros.

Aparte de la piedra, existen otros materiales pétreos creados por el hombre. El adobe será el primer material pétreo creado por el hombre, ya que a diferencia de la piedra natural, éste requiere un de un proceso de fabricación (Fig. 4). Posteriormente, con la cocción del material en el proceso de fabricación, aparece el ladrillo; con mayores prestaciones de durabilidad y resistencia. Esto le proporcionará características específicas como: fabricación en serie, dimensiones limitadas - debido a las dificultades de secado y cochura -, buen aislamiento térmico y facilidad de colocación por la reducción del peso de las piezas.

El hormigón en masa al igual que el ladrillo, y a diferencia de la piedra, es un material que requiere de un proceso químico previo. Si bien es un material moderno en su desarrollo, puede considerarse viejo y clásico, ya que lo utilizaron, aunque pobremente, muchos pueblos de la antigüedad y, en especial, los romanos. La gran ventaja del hormigón en masa con respecto a los anteriores es su libertad formal, limitada por las imposiciones del encofrado. Sin embargo, su resistencia a los elementos químicamente agresivos es mucho menor y en muchos casos requiere de tratamientos especiales. Podemos decir que el hormigón, una vez seco, es una piedra a la que hemos dado la forma deseada.

No podemos obviar las capacidades mecánicas y resistentes de los materiales pétreos. Estos se caracterizan por tener una resistencia grande a compresión y pequeña a tracción. Este comportamiento resistente, lo convierte en un material idónea para elementos como el soporte, arcos, bóvedas, etc. (Fig. 5), que trabajan exclusivamente a compresión y suele utilizarse en paramentos vistos de carácter monumental.

Las estructuras verticales realizadas con materiales pétreos expresarán su masa y peso debido a su forma de trabajo a compresión. Debido a ese comportamiento, resolverá sus problemas de tracción aumentando su sección, lo que le confiere ese peso y masa. También expresará nobleza y serenidad por la naturaleza del propio material. Nobleza que le ha sido concedida por su carácter natural y por su utilización en la gran mayoría de las más importantes edificaciones de la historia.



Fig. 3: Debido a su carácter no perecedero, las piedras nos ha dejado múltiples ejemplos a lo largo de la historia

Muro ciclópeo ibérico de Tarragona



Fig. 4: Con el ladrillo, debido al proceso químico que sufre, todas las piezas serán mucho más homogéneas e iguales

Ladrillos



Fig. 5: El arco y el soporte constituyen dos de los elementos estructurales más importantes de la piedra

Acueducto de Segovia



Fig. 6: Cada piedra se pierde dentro de un conjunto, aunque no deja de ser única

Muro de piedra



Fig. 7: El ladrillo es mucho más gregario que la piedra debido al parecido de cada una de las piezas

Sigurd Lewerentz: Iglesia de San Pedro, Klippan, Dinamarca, 1962-1966

Gracias a su textura, expresará belleza, independientemente de que hablemos de una única piedra o de un conjunto. Una piedra se pierde dentro de un conjunto como podría ser un muro, aunque sin dejar de ser única por la variedad de colores y matices que caracterizan a los materiales pétreos (Fig. 6).

El ladrillo mantendrá esta cualidad, con la diferencia de que, al tener todos la misma dimensión y apariencia, se perderá aún más dentro de un conjunto como el muro. Muchos han sido los arquitectos que han comparado la textura de la superficie del muro con un tejido (Fig. 7).

"Toda esa trama entretejida como un tapiz de juntas y ensamblajes proporciona [...] a las superficies en general no solo tono y vida, sino que también imprime en ellas una escala sutilmente expresiva".

Das Wesen des neuzeitlichen Backsteinsbaues, Fritz Schumacher, 1920.

"Los bloques (Fig. 8) comenzaron por alcanzar la luz del sol y se deslizaron entre los eucaliptos y por encima de ellos. El 'tejedor' soñó con su efecto. [...] La normalización era objetivamente el alma de la máquina y, aquí, el arquitecto la utilizaba como principio y 'calceaba' con ella. Sí, tejía con ganchillo un muro, susceptible de alcanzar una belleza arquitectónica de gran variedad [...]. ¡Palladio!, ¡Bramante!, ¡Sansovino! Todos son escultores. Pero aquí yo fui el 'tejedor'."

"La miniatura", en Writings and buildings, Frank Lloyd Wright, 1960.

En resumen, los pétreos son materiales que requieren estructuras en las que el peso, espesor y la masa sea lo que en ellas se busca. Aparte es un material capaz de expresar nobleza y serenidad, y cuyo empleo ha sido demostrado en las estructuras verticales como soporte y muro.



Fig. 8: Bloques de cemento "textiles" que Wright empleó en un buen número de sus edificaciones

Frank Lloyd Wright: Storer House, Los Ángeles, EEUU, 1923-1924

HORMIGÓN ARMADO, PRETENSADO Y PREFABRICADO:

El siguiente material que trataremos será el hormigón armado, por las similitudes que mantiene con la piedra. Con acierto se ha dicho que, en el hormigón armado, el acero da fibra a la piedra, mientras que el hormigón da masa al acero. El hormigón armado es una piedra orgánicamente construida, dentro de cuya masa el complejo tendinoso de la armadura se distribuye óptimamente (Fig. 9), se dosifica para prestar al hormigón la resistencia a tracción que necesita en cada punto. Una de sus principales características será su carácter "formaceo", es decir, no tiene forma implícita alguna y puede, por tanto, adquirir cualquier forma imaginable con la única limitación formal que nos dará el encofrado.

El hormigón armado es, por tanto, un material que oculta el acero en su interior y cuya superficie, al contrario que la madera que expresa calidez, parece expresar frialdad y dureza. A su vez, libertad formal dota al hormigón de una flexibilidad que le convierten en uno de los materiales estructurales preferidos por los proyectistas, ya que deja en sus manos muchas más teclas que tocar. El hormigón no viene, como el acero, en perfiles de catálogo; su forma, dimensiones y la disposición de la armadura quedan por elegir, además tiene la gran ventaja de poder realizarse "in situ".

Toda esa libertad formal, junto con su capacidad para resistir esfuerzos tanto a compresión como a tracción, hacen de él un material capaz de adaptarse perfectamente a las estructuras verticales, ya sea a través del muro o del soporte. Esto le permite generar todo tipo de estructuras, desde las más sólidas, resueltas a través de un sistema murario, hasta las estructuras más ligeras, resueltas con soportes. Por tanto, sus estructuras son capaces de expresar masividad (Fig. 10) y ligereza (Fig. 11) dependiendo de cómo lo utilicemos, posibilidad inalcanzable por ningún otro material.

Por el concepto de masividad entendemos una homogeneidad de la materia de un cuerpo, lo que le confiere cualidades muy interesantes como: envejecer con dignidad, durabilidad, estabilidad y construcción sencilla y directa. Esta característica que adquiere de su carácter de piedra le proporciona una expresión monolítica que confiere a la obra la apariencia de ser una pieza bruta modelada o una escultura, es decir, una obra surgida mediante la extracción de la materia de un bloque.

El hormigón armado nunca mostrará su estructura interna, pero si que nos mostrará las huellas que el encofrado ha dejado en él. Lo visible en el hormigón armado será su superficie, una fina envoltura que oculta su estructura interna.

El hecho de que el hormigón, un material que se caracteriza por su masa, requiera de una construcción ligera y efímera como el encofrado, que además dará al hormigón su textura, dejando en él sus huellas, es un dato muy curioso. Gracias a esta textura que el encofrado puede imprimirle a esta superficie, el hormigón visto ha conseguido expresarse con gran belleza, como si de una textura de un muro de ladrillo se tratase (Fig. 12).

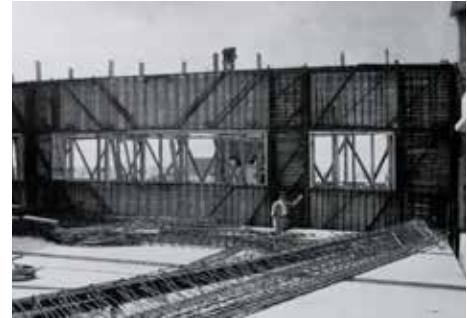


Fig. 9: Las armaduras se dosifican en su interior en función del esfuerzo que se requiera en cada punto

Viga Vierendeel en la Ciudad Universitaria, Madrid.



Fig. 10: La homogeneidad y peso del hormigón le confiere a la obra masividad

Christian Kerez y Rudolf Fontana: Capilla en Oberrealtal, Suiza, 1994-1995

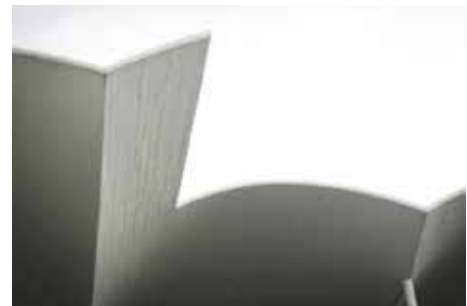


Fig. 11: Claro ejemplo de la ligereza que es capaz de expresar el hormigón

L. Domínguez, C. Archines y E. Torroja: Hipódromo de Madrid, España, 1935-1941



Fig. 12: El encofrado ofrece diferentes tipos de texturas al hormigón

Muro de hormigón visto entablillado



Fig. 13: Tadao Ando es capaz de conseguir una textura totalmente lisa con el hormigón armado

Tadao Ando: Koshino House, Ashiya, Japón, 1980

La calidad del encofrado y sus cualidades específicas permitirán imprimirle, a la obra, un carácter u otro. A veces ese carácter será liso, otras tosco, con gruesas juntas. Un claro ejemplo de hormigón visto que carece de "pesadez", gracias a su textura totalmente lisa, es la casa de Koshino(1980) de Tadao Ando, donde la apenas perceptible irregularidad del encofrado y las formas del "exagerado dentado" que adopta el hormigón, le confieren una materialidad textil o, incluso, esa fragilidad de un material cerámico (Fig. 13).

Del hormigón armado, han surgido, gracias a los avances tecnológicos, diferentes variantes como el hormigón pretensado, el postensado y los prefabricados. En el caso de los dos primeros podemos afirmar que surgieron por la ambición de conseguir aumentar la resistencia del hormigón armado en busca de mayores luces. Los prefabricados, en cambio, surgen por ambición de conseguir un resultado final en su superficie, textura y dimensiones que en obra sería prácticamente imposible.

Es importante diferenciar el pretensado, en el que las armaduras se tesan antes de verter el hormigón, y el postensado, en el que se tesan después de que el hormigón se endurezca. Con ambas técnicas se alcanzan mayores resistencias y esbeltez que con el hormigón armado, resistencia que proviene de la tensión de la armadura. El problema en este tipo de estructuras es que su resistencia se fía a que la armadura mantenga ese estado de tensión.

Los prefabricados de hormigón son piezas fabricadas en taller que posteriormente se colocarán y ensamblarán en obra para acabar de formar la estructura. Esta fabricación en taller le proporciona, como ya he dicho, muchas ventajas técnicas, económicas, estéticas y de precisión (Fig. 14), quedando sus dimensiones limitadas a los medios mecánicos de transporte, elevación y puesta en obra de que dispongamos.



Fig. 14: Los paneles GRC son un buen ejemplo del hormigón prefabricado, confiriendo un caracter totalmente liso al hormigón armado

Ramon Esteve: Nuevo Hospital Universitario La Fe, Valencia, España, 2003-2010

MADERAS:

La madera es cronológicamente el material más antiguo capaz de resistir, por igual, a compresión y a tracción. Aunque resiste ambos esfuerzos, su capacidad para resistirlos es variable en función del sentido de las fibras en el que se aplique, es decir, la resistencia es mayor en el sentido longitudinal de las fibras que en el sentido normal.

Una de las características propias de la madera y que la diferencia del resto de materiales estructurales es el hecho de ser el único material vivo que se emplea en la construcción de estructuras.

A la hora de expresarse, la madera, al igual que la piedra, el hecho de estar presente en todas partes no le ha hecho perder su nobleza. Sin embargo, ésta no pretende expresar la masa y pesadez de la piedra, pero tampoco expresará la ligereza del acero.

Esa vida de la que he hablado se expresa a través de sus fibras (Fig. 15), su estructura vital, que le permiten expresar su forma de trabajo. Estas fibras serán las que le proporcionen a la madera su textura y belleza. A su vez, el hecho de que la madera sea un material vivo ha hecho que se optase por otros materiales que aseguraban una mayor durabilidad, ya que aunque actualmente existan multitud de tratamientos para evitar el ataque de organismos vivos sobre la madera, antes no era así.

Como todo lo que proporciona la vida, es algo más adaptable, menos rígido y esquemático que los otros. No hay dos piezas que sean exactamente iguales. El término "modelado" resulta ser especialmente adecuado para este material, pues no sólo se realizan complicados patrones de corte como molduras y perfiles, sino que también es capaz de crear piezas tridimensionales (Fig. 16). Quiero decir con esto que, es posible producir elementos constructivos no modulares para cualquier proyecto, permitiendo además un corte sencillo de sus piezas para adaptarlas. Podríamos decir que se asemeja a la construcción de maquetas. Pero como todo no pueden ser ventajas, el problema de la madera surge en los enlaces.

Además de expresar vida a través de su estructura interna, la madera, con su presencia, implica calidez, algo que no es fácil de explicar...ya sea por ser un material que si lo quemas calienta, ser un material vivo, su variedad de colores o su transmitancia térmica, el caso es el que cuando llegas a un espacio en el que predomina la madera, percibes un espacio acogedor, un espacio cálido (Fig. 17).

En cuanto a los tipos, la teoría y la práctica clásicas de la construcción en madera han dejado de ser vigentes. El clásico sistema constructivo de armazón de madera de la década de 1990 da la impresión de estar desfasado hoy en día. La madera se encuentra en un proceso de evolución hacia la madera laminada (Fig. 18), gracias a la aparición de las colas sintéticas y secado de infrarrojos. Al igual que en el ladrillo y el hormigón en masa, esta madera es producto de un proceso químico previo. Por tanto, podemos distinguir en la madera dos tipos de estructuras, las de madera natural y las de madera laminada.



Fig. 15: Las fibras del tronco muestran la edad del mismo e influirán en la resistencia, que irá en función de la dirección en la que se le aplique una fuerza

Escultura de Vicente Kohler



Fig. 16: Montaje de un sistema constructivo de paneles compactos de madera

Bearth & Deplazes: Casa Bearth-Candinas, Sumvigt, Suiza, 1998



Fig. 17: La madera dota al espacio de calidez, lo hace más acogedor

Francisco Mangado: Casa Mikaela, Navarra, España, 1997-2000



Fig. 18: Estructura de madera laminada

Richard Rogers: Bodegas Protos Peñafiel, Valladolid, España, 2003-2008



Fig. 19: El uso de la madera está en constante aumento debido al mayor interés de la sociedad actual por la sostenibilidad

Jürgen Mayer: Metropol Parasol, Sevilla, España, 2005-2011

Actualmente, prácticamente todas, las estructuras de madera se realizan con madera laminada y me gustaría resaltar que nos encontramos ante un material que, aunque sea antiguo, tiene un futuro enorme debido al creciente interés por las cuestiones energéticas, ecológicas y biológicas (Fig. 19).

Por último, la madera, al ser un material que funciona bien tanto a tracción como a compresión, es apta para todo tipo de estructuras verticales, aunque si echamos un vistazo a la naturaleza, la madera nunca se muestra como un muro, sino como troncos, por lo que su elemento de trabajo típico serán los soportes. Como ya dije anteriormente, la primera columna seguramente fue de madera y que quizás lo fue sin dejar de ser un árbol. Esto no quiere decir que no sea capaz de configurar un muro, sino que no es su forma más habitual. El "Balloon Frame", claro ejemplo de ello, constituye un sistema murario compuesto por una serie de apoyos cercanos (Fig. 20). En este caso no será un muro que se caracterice por el peso, que cierre y contenga, sino que necesitará de otros materiales para ello.

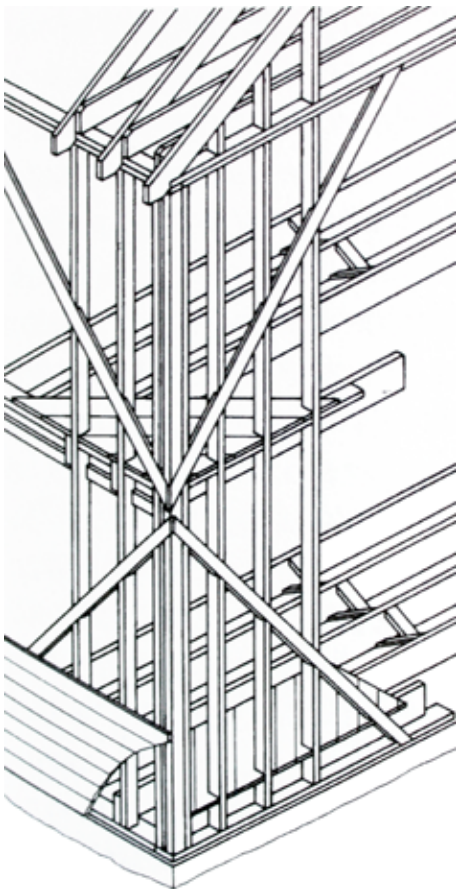


Fig. 20: Técnica del "Balloon-Frame"

Sistema constructivo de listones perfilados de madera que discurren a lo largo de varias plantas

FUNDICIÓN Y ACERO:

Dentro de este grupo y continuando con el orden marcado por la historia se encuentran: la fundición primero y el acero laminado después.

La fundición se caracteriza por tener un gran peso específico, una elevada resistencia a compresión, una resistencia a tracción mayor que la de los pétreos y maderas aunque mucho menor que su resistencia a la compresión, un elevado coeficiente de dilatación y por su capacidad para moldearlo con la forma que se desee – dentro de unas limitaciones impuestas por el proceso de moldeo - . Podríamos compararla con el hormigón en masa por su capacidad de moldeo y aunque la fundición es mucho más homogénea y resistente, no es moldeable "in situ" como el hormigón.

Otro aspecto importante de este material estructural, muy en boga el siglo XX y que se empleó en arcos de puentes y en edificios como el Centro Georges Pompidou (Fig. 21), es la esbeltez que proporcionó con respecto a los materiales pétreos. Mas tarde, con la aparición del acero laminado, la esbeltez quedó en segundo plano para utilizarse en elementos mucho más robustos y pesados.

El acero, por su parte, se caracteriza por su gran resistencia con piezas de gran esbeltez (Fig. 22) y se puede utilizar como material estructural ya sea moldeado o laminado, el más extendido ha sido el laminado debido a su economía aunque el moldeado presenta una resistencia superior tanto a tracción como a compresión.

A este material se le atribuyen grandes logros como: engendrar una mixtura entre la construcción maciza y la ligera, como componente esencial en las estructuras de hormigón armado; sentar las bases para la aparición de los rascacielos, demostrando una capacidad resistente no comparable ni con la piedra ni la madera; y proporcionó la posibilidad de proyectar ventanas más grandes, llegando hasta el extremo de desmaterializar la arquitectura gracias a sus grandes luces y esbeltez.

Es curioso que, tras decir todo esto, uno podría pensar de qué hablamos de un material totalmente nuevo y diferente a los demás. Esto no es así, ya que guarda grandes semejanzas con la madera, igual no en su expresividad, pero su funcionamiento y problemas técnicos son muy parecidos. Tanto el acero laminado como la madera tienen una resistencia, sensiblemente igual, a tracción y a compresión, comparten los problemas de enlace, que el acero soluciona mediante roblones o soldadura (Fig. 23), y presentan una estructura tendinosa. El acero presenta una cohesión menor en el sentido normal a las fibras que en el longitudinal, aunque es mucho menor que la madera. Si la madera presenta el problema de que puede ser atacada por organismos vivos, el acero presentará el problema de la oxidación. También aunque el acero carezca de los atributos de "natural, ecológico o acogedor" de la madera, apenas se conoce que el 90% del acero empleado en construcción es reciclado.



Fig. 21: Gerbeta de fundición. Observando a la gente se ve claramente la escala de la pieza

Renzo Piano y Richard Rogers : Centro Georges Pompidou, París, Francia, 1977



Fig. 22: Una de las cualidades más valoradas del acero es la esbeltez, consiguiendo grandes luces con espesores pequeños

SANAA: Rolex Learning Center, Lausanne, Suiza, 2007-2009



Fig. 23: Enlace por soldadura

Enlace en el puente de Tordera



Fig. 24 y 25: Los perfiles de acero se ocultan tras una chapa, evidenciando así su falta de expresión o de belleza frente a materiales nobles como el mármol

Mies van der Rohe: Pabellón Alemán, Barcelona, España, 1929



Fig. 26: El acero adquiere la capacidad de generar cualquier volumen

Frank O. Gehry: Museo Guggenheim, Bilbao, España, 1997

Estas semejanzas hicieron que se influyeran el uno al otro, en un principio la madera le aportó al acero sistemas constructivos como el "Balloon Frame" debido a sus semejanzas en el funcionamiento resistente. Pero aunque la madera es anterior, esta influencia fue de ida y vuelta, proporcionando el acero a la madera las uniones atornilladas.





A pesar de sus brillantes características resistentes, el acero, no ha logrado, al menos hasta hoy, expresar unos valores análogos a los de la piedra, madera o el propio ladrillo. Salvo en las grandes construcciones de ingeniería, en el resto de edificaciones suele ocultarse. Los perfiles de acero laminado parecen pedir que se les revistan. En él, su tenaz resistencia es la que predomina, sus aristas las que nos hieren, su potente ligereza la que nos impresiona. Quizás sean esas formas tan duras e inflexibles las que le han creado ese complejo, por lo que en su conjunto estructural nunca buscaremos la belleza en sus piezas un en la cualidades de su superficie. ¡Está frío! ¡Suenan hueco!

Es un material que ha encontrado su hueco en todas las construcciones industriales y de vidrio, aún está por pulirse su expresión. Con esto quiero decir que en la arquitectura doméstica aún no ha encontrado su lugar, ya que o se oculta o aparece como perfiles circulares. El propio Mies van der Rohe evidenció este problema, por ejemplo, en el Pabellón de Barcelona (1929) donde reviste con una chapa su pilar cruciforme (Fig. 24 y 25) o en la casa Farnsworth (1951) en la que coloca todos los perfiles al exterior pintándolo todo de blanco para que desmaterializarlos a favor del conjunto.

Por tanto, la principal forma de expresión actual del acero será como ya he dicho la esbeltez y la desmaterialización. El acero se expresa intentado desaparecer, pretendiendo la ligereza absoluta. Al contrario que la piedra que encontraba su expresión en el peso y masa, el acero la encuentra en su ligereza, en la sensación de que no está ahí, de que no es un esfuerzo para él. El acero añora la desmaterialización.

El acero laminado se nos presenta en el mercado como un catálogo de perfiles con diferentes formas, tamaños, inercias y capacidades, lo cual nos indica su predisposición hacia estructuras verticales resueltas con soportes. Al igual que con la madera, esta predisposición no quiere decir que no puedan constituir sistemas murarios, ya que como se ha dicho anteriormente, el acero adoptó la tipología del "Balloon Frame".

Para concluir me gustaría decir que aunque la construcción con acero tiene un carácter normalmente seriado y ortogonal, también tiene la capacidad de crear los volúmenes que se desee, dándoles forma mediante un conjunto de barras atadas. Esto nos ha llevado a un punto en el que "todo vale" con las estructuras de acero, convirtiéndose éste en el material que lo hace todo posible. Los volúmenes plásticos que utiliza Frank O. Gehry son una viva prueba de ello.

MATERIALES ESTRUCTURALES					
	PIEDRA	MADERA	ACERO	HORMIGÓN ARMADO	
	Fig. 27 	Fig. 28 	Fig. 29 	Fig. 30 	
CARACTERÍSTICAS RESISTENTES	COMPRESIÓN	ALTA 75 - 200 MPa	ALTA // 16 - 23 MPa ⊥ 2 - 3'2 MPa	MUY ALTA 225 - 345 MPa	ALTA 15 - 50 MPa
	TRACCIÓN	MUY BAJA 1,5 - 20 MPa *	ALTA // 8 - 18 MPa ⊥ 0'4 - 0'6 MPa	MUY ALTA 225 - 345 MPa	ALTA Depende de la cantidad de acero que contenga
ESTRUCTURA VERTICAL	MURARIA	SI	NO **	NO **	SI
	PORTICADA	SI	SI	SI	SI
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	TIPO	NATURAL	VIVO	INDUSTRIAL	INDUSTRIAL
	ESPESORES	GRANDES	MEDIOS	MUY BAJOS	GRANDES, MEDIOS O BAJOS
	INTENCIÓN	MOSTRARSE	MOSTRARSE	DESAPARECER	MOSTRARSE
	EXPRESIVIDAD	PROPIA NATURALEZA NOBLEZA MASA Y PESADEZ	FIBRAS CALIDEZ ESBELTEZ	HOMOGENEIDAD FRIALDAD DESMATERIALIZACIÓN	ENCOFRADO FLEXIBILIDAD MASA Y PESADEZ

* Al emplearse como una obra de fábrica para formar la estructura, su resistencia a tracción se reduce considerablemente, dependiendo del peso propio.

** Por su naturaleza no muestran predisposición hacia este tipo de estructuras, pero sus capacidades resistentes nos indican que serían capaces de constituir las.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de S. v. Kaskel

Fig. 2: Fotografía de Paolo Longo

Fig. 3: Fotografía del Museo de Barcelona

Fig. 4: Fotografía de Julián Rodríguez Orihuela

Fig. 5: Fotografía de Rios Valles

Fig. 6: Fotografía de Javier Pérez

Fig. 7: Fotografía de Chelsea Bresser

Fig. 8: Fotografía de Arcaid/Alamy

Fig. 9: Fotografía de Ferriz

Fig. 10: Fotografía de Reto Führer

Fig. 11: Fotografía de Marta Mesa

Fig. 12: Fotografía de Paolo Longo

Fig. 13: Fotografía de Tadao Ando Architect & Associates

Fig. 14: Fotografía de Aidhos Architects

Fig. 15: Fotografía de Vicente Kohler

Fig. 16: Fotografía de Timo Allemann

Fig. 17: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 18: Fotografía de usuario Javier1949 de Flickr

Fig. 19: Fotografía de César Poyatos

Fig. 20: Andrea Deplazes, Construir la arquitectura del material en bruto al edificio, Editorial Gustavo Gili, 2010, pág 81

Fig. 21: Fotografía de Gianni Berengo Gardin

Fig. 22: Fotografía de Nicolas Nova

Fig. 23: Eduardo Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, CSIC, Tercera Edición, 1957, pág 62

Fig. 24: Fotografía de Mitch Fournier

Fig. 25: Antón Gonzalez Capitel, "Las columnas de Mies: El pabellón de Barcelona", Arquitectura, num 261, Madrid, 1986, pág 16

Fig. 26: Coosje Van Bruggen, Frank O. Gehry: Guggenheim Museum Bilbao, Guggenheim Museum Publications, Nueva York, 2000, pág 159

Fig. 27: Fotografía de Juan Yanes

Fig. 28: Fotografía de Marcel More

Fig. 29: Fotografía de Ferros Poch

Fig. 30: Fotografía de José Hernández Navarro

1. 3. LA ESTRUCTURA EN LAS ARQUITECTURAS MACIZA Y LIGERA

Hasta ahora ha quedado claro que el criterio que se ha de seguir para la elección de la tipología estructural queda marcado por la elección del material. Esto se debe a las propiedades, tipos y expresividad de cada uno de ellos. Una vez hemos llegado a la elección del tipo estructural, vamos a hacer un breve inciso sobre los conceptos de arquitectura maciza y ligera en relación con la estructura.

Mucho se ha estudiado sobre estas arquitecturas (véase Anexo A), así que no será necesario extendernos mucho, sino simplemente comprender a que nos referimos con maciza y ligera. Ambas construcciones llevarán implícitas una serie de cuestiones y tipologías estructurales, de ahí la importancia.

Cuando hablamos de arquitectura ligera, nos referimos a aquella arquitectura que surge de la idea de una total disolución de la masa. Para ello, es necesaria una estructura resuelta con soportes, es decir, una estructura que surja de la conexión de una serie de elementos en forma de barra.

Este tipo de estructuras constituirán el armazón portante, pero no el propio recinto, es decir, constituye el apoyo, pero no el espacio. Una estructura porticada es el ejemplo más sencillo que podemos encontrar. Resuelta con pilares y vigas, en ellas el forjado recoge las cargas y las lleva hasta cada una de las vigas, que a su vez, las transmiten a los pilares. Estos últimos serán los encargados de transmitirla a la cimentación, y por tanto, al terreno.

La forma de expresión más lógica para este tipo de estructuras será la búsqueda de transparencia, de liberar de la función portante a los cerramientos. Un claro ejemplo de ello es la casa Farnsworth de Mies van der Rohe. La estructura libera los cerramientos, que se convierten en transparentes (Fig. 3).

En contraposición a este primer tipo, aparece la arquitectura maciza (Fig. 4). Esta ansía la masa. En este caso, las estructuras se componen por apoyos continuos, cuya máxima expresión es el muro.

En estas estructuras el cerramiento pasa a ser portante. De esta manera, constituye el espacio, es decir, una vez acabada la estructura, tendremos una clara visión de la obra. El funcionamiento es diferente, ya que las cargas no se transmiten a un apoyo puntual, sino que se reparten a lo largo del muro. El hormigón será uno de los materiales que más se empleen en este tipo de construcciones.

La forma de expresión de estas estructuras es la compacidad, la pesadez, lo opaco. En los cerramientos, al ser estructurales, las aberturas estarán mucho más controladas. A su vez, este tipo de construcciones tendrán un carácter más eterno.



Fig. 2: Diferencia visual entre la arquitectura maciza y la ligera en dos viviendas exactamente iguales

Tadao Ando: 4x4 House, Tarumi-ku, Japón, 2003



Fig. 3: La estructura no constituye el volumen en sí, ésta necesita de un cerramiento

Mies van der Rohe: Casa Farnsworth, Illinois, EEUU, 1946-1951



Fig. 4: La estructura y el volúmen final coinciden

Francisco Mangado: Auditorio y Centro Municipal de Exposiciones, Ávila, España, 2002-2010

Con todo esto, podemos concluir comentando que la expresividad de una obra de arquitectura quedará determinada por la elección del tipo estructura. Toda arquitectura que se pretenda necesitará una estructura acorde a todo lo que se pretende, y en ese sentido, el muro descompuesto se situará como un híbrido entre la arquitectura maciza y ligera.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

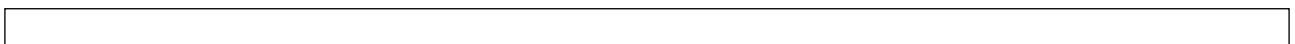
Fig. 1: Fotografía de usuario Leodileo de Flickr

Fig. 2: Fotografía de Glenn Switzer

Fig. 3: Fotografía de usuario Javier1949 de Flickr

NUEVA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: MURO DESCOMPUESTO

2



2. 1. EL MURO DESCOMPUESTO

NUEVA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: MURO DESCOMPUESTO

2. 1. 1. PRECEDENTES: BALLOON FRAME Y STEEL FRAME



Fig. 1: Una de las estructuras más importantes de hierro colado

Joseph Paxton: Crystal Palace, Londres, Reino Unido, 1851



Fig. 2: La fábrica que Bogardus construyó para demostrar la validez de sus conceptos

James Bogardus: Cast-iron factory, Nueva York, EEUU, 1848-50



Fig. 3: Cuando las luces superan una determinada distancia es habitual el uso de cerchas

Craig Ellwood: Art Center College of Design, Pasadena, EEUU, 1976



Fig. 4: Los entramados de barras espaciales se utilizan para cubrir grandes espacios

Norman Foster: Sainsbury Centre for the Visual Arts, Norwich, Reino Unido, 1974-1978

Para tratar de comprender el por qué de la elección en los siguientes proyectos con esta tipología de muro descompuesto, realizaremos un breve repaso de los precedentes de fachadas estructurales metálicas.

No puede hablarse de estructuras metálicas hasta finales del siglo XVIII, cuando se difunde el empleo de elementos de fundición. Después de los elementos de fundición se empezaron a utilizar los de hierro dulce, pero no será hasta finales del S. XIX cuando el acero reemplace al hierro dulce, aunque todavía hasta los primeros años del S. XX coexistió con los elementos de fundición.

La primera gran estructura metálica data del año 1741, se trata del puente colgado en Inglaterra sobre el río Tees, aunque no se conserva en la actualidad. Entre estas primeras estructuras que se siguen conservando en la actualidad, aparece el puente de hierro fundido sobre el río Severn en Coalbrookdale (1777-1779), obra de Abraham Darby III y T. F. Pritchard. En la actualidad este puente está considerado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

Años más tarde, ya en el año 1811, se construirá el techo abovedado del Halle au Blé en París, obra de el ingeniero J. Brunet y el arquitecto François-Joseph Bélanger, que significará un gran paso hacia el uso de componentes normalizados.

El siguiente gran paso de las estructuras metálicas lo constituye la construcción del Crystal Palace (1851) en Londres, creación de Joseph Paxton (Fig. 1). Esta constante evolución continuará sin cesar hasta llegar a las estructuras de acero laminado de hoy en día, pero yo prefiero centrarme en la primera fachada portante metálica, más que en como se introdujo el acero en la construcción, ya que supuso el cambio de los muros de albañilería exteriores por columnas de hierro como medio de soporte de los forjados del edificio.

James Bogardus (1800-1874), fue el inventor de la primera fachada portante de hierro y, aunque supuso un avance decisivo, su obra es casi desconocida hoy en día. En el año 1847 trazó los planos y construyó una maqueta de esta fachada metálica portante, aunque no será hasta el año siguiente cuando ponga en práctica sus estudios (Fig. 2). La farmacia Milhau (1848), cuya fachada se erigió en tan sólo tres días, fue el primer edificio de varios pisos con frontispicio metálico portante. En este proyecto se sustituyó la fachada de ladrillo por una de hierro colado añadiendo dos plantas más.

Para este tipo de estructuras, Bogardus, empleó vigas en forma de "C", columnas estriadas de media caña y tímpanos para cubrir los espacios enmarcados debajo de los ventanales. Usando estas piezas prefabricadas levantó en cualquier punto de Estados Unidos.

De todas las tipologías estructurales de acero actuales, entre las que se encuentran los esqueletos de acero, las cerchas (Fig. 3), los entramados espaciales (Fig. 4), los rombos y diagonales o las estructuras fungiformes (Fig. 5); será la tipología de esqueletos ligeros de acero o "Steel Frame" la que guarde más similitudes con el muro descompuesto.

El origen del "Steel Frame" se remonta al inicio del siglo XIX y podemos considerarlo como una evolución del "Balloon Frame" (Fig. 6), empleado en estructuras de madera. El éxito cosechado con las fachadas de hierro de Bogardus ayudó a la implantación de este tipo de sistemas, de ahí la importancia de comentarlo anteriormente.

El concepto básico del "Balloon Frame" (1830), es la utilización de Studs, o montantes verticales, que tienen la altura total del edificio y a los que posteriormente se le anclarán lateralmente las vigas de cada una de sus plantas, quedando así, contenido dentro del volumen total del edificio. Esta tipología estructural evolucionó dando lugar a otra variante que hoy se conoce como "Platform Frame", que se basa en el mismo concepto que el "Balloon Frame", con la diferencia que estos Studs tienen la altura de una planta, por lo que la viga de cada uno de los forjados se apoya sobre ellos. Con esta nueva técnica se conseguirán secciones menores en los Studs y, al mismo tiempo, se eliminará la restricción de altura impuesta por los montantes continuos del "Balloon Frame".

Al "Steel Frame", compuesto por perfiles de acero galvanizado de bajo espesor (Fig. 7 y 8), podemos definirlo como un esqueleto estructural en el que todos sus componentes trabajan conjuntamente para resistir las cargas. Dada su ligereza estructural y fácil integración con cualquier tipología constructiva "tradicional", es también un sistema muy apropiado para la construcción de cubiertas ligeras, cerramientos industriales, ampliaciones en altura y rehabilitaciones.

Al igual que en las estructuras de madera el "Steel Frame" compartirá las dos tipologías, el "Balloon Frame" y el "Platform Frame".

Para terminar con los antecedentes he de remarcar la importancia que tendrá esta tipología estructural en el muro descompuesto, ya que, por sus similitudes en cuanto a su funcionamiento, podemos considerar que éste es una evolución que surge de la desmaterialización del "Steel Frame", que requiere de un revestimiento (Fig. 8).



Fig. 5: Las estructuras fungiformes surgen de la repetición de una unidad autorportante

Pier Luigi Nervi: Palazzo del Lavoro, Turín, Italia, 1959-1968



Fig. 6: La evolución de la tipología del Balloon Frame de madera dió lugar al Steel Frame

Ejemplo de balloon frame de dos plantas



Fig. 7 y 8: La estructura está compuesta por perfiles de bajo espesor, los cuales no constituyen el cerramiento

Ejemplo de steel frame

2. 1. 1. PRECEDENTES: BALLOON FRAME Y STEEL FRAME

NUEVA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: MURO DESCOMPUESTO

LINEA CRONOLÓGICA DEL MURO DESCOMPUESTO:



Fig. 9: Muro ciclópeo ibérico de Tarragona



Fig. 10: Contrafuerte



Fig. 11: Arbotante



Fig. 12: Fachada metálica de Bogardus



Fig. 13: Balloon Frame



Fig. 14: Steel Frame



Fig. 15: Museo Arqueológico de Alava



Fig. 16: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de RIBA Library Drawings Collection

Fig. 2: Fotografía de Mary Evans Picture Library

Fig. 3: Fotografía de Nardella Photo Album

Fig. 4: Fotografía de Matt Ward

Fig. 5: Fotografía de Roberto Saba

Fig. 6: Fotografía de www.esacademic.com

Fig. 7 y 8: Fotografía de Designstone

Fig. 9: Fotografía del Museo de Barcelona

Fig. 10: Fotografía de Luis-Iusco

Fig. 11: Fotografía de Patrick Hinge

Fig. 12: Fotografía de Chris Kreussling

Fig. 13: Fotografía de Samu Szemerey

Fig. 14: Fotografía de Lars Hammar

Fig. 15: Fotografía de Carmen Valtierra de Luis

Fig. 16: Fotografía de Roland Halbe

2. 1. 2. DEFINICIÓN Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Ya en un comienzo, el estudio de la relación entre forma y estructura propuesta por los grandes arquitectos y, posteriormente, el estudio de los precedentes de fachadas estructurales metálicas, nos dejarán un trasfondo de que la desmaterialización de la fachada o de la propia estructura siempre ha sido un tema relevante. Sin embargo, no lo fue la desmaterialización de un muro de carga portante, el cual siempre se caracterizó por su masa y peso.

El muro descompuesto surge de este concepto de desmaterializar el muro de carga, de liberarle de esa imagen tan potente y pesada (Fig. 1). Esta desmaterialización podría producirse con cualquier material estructural, ya que el concepto puede extrapolarse. Sin embargo, solo con el acero se es capaz de alcanzar los valores de esbeltez necesarios para que visualmente el muro se desmaterialice, es decir, podríamos realizarlo con hormigón o madera, pero sus espesores nos indicarían claramente que se trata de una serie de soportes.

El acero es capaz de esto gracias a sus brillantes capacidades resistentes, las cuales le proporcionan la capacidad para desmaterializarse a través de su esbeltez y levedad. El problema o contradicción surge cuando asociamos las estructuras metálicas a un elemento como el muro. Estas nunca se han mostrado predispuestas a estas tipologías murarias, aunque por sus capacidades mecánicas sí que fuesen capaces. Dentro de los sistemas estructurales de acero, sólo la tipología de esqueletos ligeros de acero o "Steel Frame" guarda alguna similitud con el muro descompuesto.

Aunque, sólo con el "Steel Frame" se llegó a una solución cercana, esta solución nunca trató la descomposición del muro, ya que siempre quedan revestidas para constituir un muro macizo y así rigidizar la estructura (Fig. 2). Este muro macizo creado, no deja de ser una estructura con perfiles metálicos que al final se acaba revistiendo.

En este aspecto, el muro descompuesto aparece como contraposición del "Steel Frame", quedando sin revestir y mostrando al exterior la estructura. De manera que si el muro tradicional, cuya función es sostener y cerrar, se muestra como algo macizo y pesado, esta nueva tipología estructural de acero se mostrará ligera y permeable.

Por todo esto, el muro descompuesto supone una solución mixta entre las arquitecturas macizas y ligeras nombradas anteriormente, debido a que se trata de una estructura muraria que define por sí misma el espacio arquitectónico, pero no lo cierra. De manera que, al igual que las estructuras ligeras o porticadas, requiere de un elemento que le proporcione el cerramiento y estanqueidad que todo espacio necesita (Fig. 3).

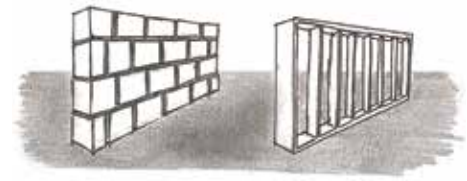


Fig. 1: El muro se descompone en pequeños soportes constituidos por dos chapas, lo que le hace visualmente permeable

Boceto explicativo



Fig. 2: La "mentira", la estructura la componen los perfiles que luego se revisten para constituir un muro macizo

Ejemplo del revestimiento

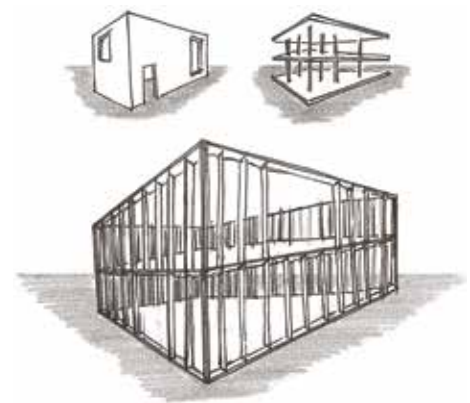


Fig. 3: El muro descompuesto se sitúa entre la arquitectura maciza y la ligera

Boceto explicativo



Fig. 4: La estructura es fiel al comportamiento natural del material empleado. Un esfuerzo así con tal ligereza solo sería posible con el acero

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009



Fig. 5: El elemento horizontal coacciona a los elementos verticales para que trabajen de manera conjunta y evitar el pandeo

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008



Fig. 6: El muro descompuesto es capaz de absorber todos los esfuerzos verticales, por lo que la aparición de muros de hormigón al interior se debe simplemente a la necesidad de estabilizar la estructura

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL:

Tras explicar de donde y cómo surge el concepto del muro descompuesto, es el momento de explicar el comportamiento estructural de la tipología que se empleará en los casos de estudio, en este caso, el muro descompuesto de acero.

Su funcionamiento será a compresión, como si de un muro se tratase. El elemento horizontal se encargará de distribuir y repartir las cargas entre los elementos que forman el muro, es decir, transforma cualquier esfuerzo, ya sea puntual o no, en una carga continua. Con un ligero vistazo queda claro que el acero, por sus capacidades resistentes, se puede permitir resolver la estructura con elementos de poco espesor a una determinada distancia (Fig. 4). Cada uno de ellos estarán compuestos por chapas, de acero laminado, cuyo espesor oscila entre 10 y 18mm. Hablamos de un espesor total de 50mm por elemento. El problema con los espesores empleados, por raro que parezca, no será su capacidad portante, sino su esbeltez. La utilización de espesores tan pequeños será lo que le lleve poder sufrir problemas de pandeo.

Los problemas de pandeo, los sufrirá siempre en su dimensión más pequeña, por lo que, sabiendo esto, queda claro que las chapas se situarán de manera que su mayor dimensión quede en perpendicular a la fachada, ya que éste será el punto con mayor inercia. De esta manera el problema de pandeo se traslada al sentido contrario, es decir, en paralelo al muro. Para evitar el pandeo en este sentido se optará por coaccionar los apoyos con los elementos horizontales, de manera que se aten y funcionen de manera conjunta (Fig. 5).

Por tanto, la clave de este sistema será, no tener un apoyo muy puntual, sino repartir las cargas para que funcione como un apoyo continuo y evitar los problemas de pandeo anteriormente descritos.

El otro gran problema de esta tipología estructural es su imposibilidad de absorber los esfuerzos horizontales. Este problema, que se debe a la ligereza de la estructura, generalmente se soluciona a través de la colocación de cruces de San Andrés. En este caso era inadmisibles, ya que perdería todo su atractivo, por lo que se solucionará colocando elementos de hormigón en el interior, cuyo peso estabilizará a la estructura (Fig. 6).

DESMATERIALIZACIÓN Y ESBELTEZ:

Una vez descrito su comportamiento estructural, solo queda una duda... ¿por qué se sitúan siempre los perfiles en su cara exterior? La respuesta es sencilla, la normativa de incendios, debido a la esbeltez y secciones empleadas en la estructura. Si no se situase al exterior tendría que revestirse y el sistema perdería toda su gracia y sutileza. De esta manera con una simple pintura se resuelve el problema, por lo que se mantiene esa premisa de la desmaterialización a través de la esbeltez como modo de expresión de esta tipología.

Esta premisa viene de la naturaleza del propio material, ya que el acero añora la desmaterialización, desaparecer del primer plano, evitar los focos; con esta tipología este aspecto queda muy patente, dando la sensación de que más que una estructura es simplemente una piel de la fachada.

En la búsqueda de esa desmaterialización, la posición exterior no será la única herramienta que se emplee. La colocación de un oscuro entre las dos chapas que forman cada uno de los elementos del muro, que junto al color oscuro y a la proliferación de las líneas verticales, incrementarán aún más esa sensación de desmaterialización y esbeltez (Fig. 7).

Para concluir, hemos de comentar que se trata de una tipología estructural que muestra fielmente su modo de trabajo. Es una estructura sincera con el material y funcionamiento estructural, ya que sólo con un material como el acero se podría alcanzar esa esbeltez. Al mismo tiempo es sencilla y tranquila, manteniendo un orden a lo largo de todo el muro.



Fig. 7 y 8: La colocación de un oscuro entre las chapas, el color oscuro y la proliferación de líneas verticales aumentan la desmaterialización y esbeltez

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

- Fig. 1: Boceto propio
- Fig. 2: Fotografía de Stratco
- Fig. 3: Boceto propio
- Fig. 4-6: Fotografía de Roland Halbe
- Fig. 7: Fotografía de Xurxo Lobato
- Fig. 8: Fotografía de Roland Halbe

2. 2. FRANCISCO MANGADO: ARQUITECTURA DE CONTRASTES



Fig. 1: El lugar tiene una gran influencia en el edificio. La presencia de la muralla marca la volumetría del edificio

Francisco Mangado: Baluarte, Pamplona, España, 1999-2003

Francisco Mangado utilizará el muro descompuesto de acero en su obra, incorporándolo a su lenguaje arquitectónico como una herramienta para generar dialogo entre los cerramientos más porosos y los más macizos. Por ello será importante conocer su arquitectura.

Para él, *“la arquitectura no deja de ser una disciplina que requiere un esfuerzo intelectual importante [...]. El hecho formal está ligado a conceptos, valores y contenidos [...]. Tiene que ver con las categorías del espacio, con lo material y lo constructivo, con cómo se entiende el contexto o la realidad que nos ha tocado vivir y, por supuesto, con los presupuestos ideológicos que nos interesan [...]. La forma es consecuencia de una serie de conceptos densos [...] tiene que ver con la manera de entender un lugar, imaginar un lugar o recrear un lugar (Fig. 1)”*.

Para comprender completamente esta afirmación, debemos reflexionar sobre las influencias que tuvo en su pensamiento arquitectónico. Durante su etapa formativa tuvo una gran importancia el rigor minucioso y la inventiva que le transmitió Rafael Echaide, pionero en España de la asimilación de la vertiente miesiana de la modernidad (Fig. 2).

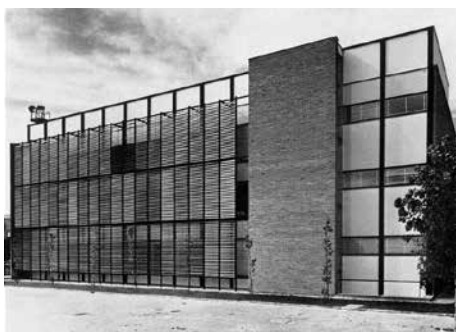


Fig. 2: La influencia de la vertiente miesiana

Rafael Echaide e César Ortiz-Echagüe: Laboratorios de Seat, Barcelona, España, 1958-1959

La obra de Mangado surge, por tanto, a partir de la tradición moderna española, a la que posteriormente sumó inquietudes más recientes. Entre estas inquietudes aparece la figura de Kenneth Frampton, a quién nombramos al comienzo de la investigación. Su arquitectura será, por tanto, el resultado de una serie de factores o condicionantes como el lugar, el contexto y la tectónica. A su vez, es funcional y constructiva, lógica y bella. Una arquitectura en la que ningún aspecto sobresale sobre el resto, con la que es capaz de generar soluciones muy diferentes dentro de una misma línea de trabajo.

Teniendo en cuenta sus influencia y forma de trabajar, se posicionará en la misma tendencia o vertiente que Mies van der Rohe, Frank Lloyd Wright, Sigurd Lewerentz y Louis Kahn.



Fig. 3: El muro descompuesto supone un antes y un después en la evolución de los cerramientos

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009

Otro aspecto muy importante en su arquitectura es la evidente evolución que han sufrido los cerramientos en sus obras. Este aspecto nos servirá de ayuda para comprender el contexto en el que aparece el muro descompuesto (Fig. 3) y la importancia que tuvieron los casos de estudio elegidos en esta evolución.

Esta constante evolución que sufren los cerramientos, a lo largo de toda su obra, le irá llevando desde los cerramientos ligeros de madera o metal de sus primeras obras, como las piscinas de La Coruña (Fig. 4) o el centro de salud de San Juan (Fig. 5); hasta los densos y rotundos volúmenes, como es el caso del Baluarte (Fig. 6) y de Ávila (Fig. 7); y más recientemente, hasta los cerramientos más porosos, como los musculosos exoesqueletos de Palma de Mallorca, el edificio de oficinas de París (Fig. 11) o los frágiles pilares del pabellón de Zaragoza (Fig. 10).

Tanto el Museo Arqueológico de Álava en Vitoria (Fig. 8) como el Centro de Nuevas Tecnologías de Santiago de Compostela (Fig. 9) marcarán el momento de transición hacia estructuras más porosas,



CERRAMIENTOS LIGEROS:

Fig. 4:

Francisco Mangado: Prototipo de Piscina Cubierta, La Coruña, España, 1998



Fig. 5:

Francisco Mangado: Centro de Salud de San Juan, Pamplona, España, 1997-2000



DENSOS Y ROTUNDOS VOLÚMENES:

Fig. 6:

Francisco Mangado: Baluarte, Pamplona, España, 1999-2003



Fig. 7:

Francisco Mangado: Auditorio y Centro Municipal de Exposiciones, Ávila, España, 2002-2010



TRANSICIÓN:

Fig. 8:

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009



Fig. 9:

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008



CERRAMIENTOS MÁS POROSOS, MUSCULOSOS EXOSQUELETOS:

Fig. 10:

Francisco Mangado: Pabellón de España para la EXPO 2008, Zaragoza, España, 2006-2008



Fig. 11:

Francisco Mangado: Edificio de Oficinas en la Place de L'Europe, París, España, 2006-...



Fig. 12 y 13: La compacidad de la imagen exterior de la vivienda contrasta con la transparencia y calidez de los interiores

Francisco Mangado: Casa Mikaela, Navarra, España, 1997-2000

y en ellas la tipología estructural del muro descompuesto jugará un papel crucial. De esta evolución, Mangado comentó que *"me interesa mucho el hecho físico de la arquitectura. Cada vez más. Y no solamente desde el punto de vista, como muchos interpretan de la piel, sino en un sentido más volumétrico, de la masa, de la contundencia, de los aspectos más musculares del edificio"*¹².

Esta constante evolución de los cerramientos no pretende generar obras totalmente diferentes, ya que todas ellas tendrán un denominador común que se mantendrá independientemente de la solución que adopte para el cerramiento. La compacidad y el contraste serán el denominador común de su obra, ambos conceptos se refieren al tipo de relación que se establece entre el exterior y el interior (Fig. 12 y 13).

Mangado expresa la idea de exterior como una capa protectora, en su mayor parte opaca, que oculta un fascinante y complejo mundo interior. Las aberturas, generalmente asociados a vacíos interiores, serán las que actúen de intermediarios en esta relación.

Aunque más adelante analizaremos estos conceptos en cada uno de los casos de estudio, vale la pena comentar que la compacidad la generarán los exteriores, tan opacos. Por otro lado, el contraste aparecerá al comparar esos exteriores con el interior, generalmente con materiales mucho más cálidos, como la madera. Este contraste no solo se experimentará al entrar al edificio, ya que precisamente colocará los huecos de fachada de manera que también se pueda percibir este contraste a través de ellos.

EL PAPEL DEL INGENIERO:

Una vez descrita y explicada brevemente la arquitectura de Mangado, se entiende aún mejor el contexto en el que aparece el muro descompuesto, aunque todo esto no hubiera sido posible sin la colaboración de Jesús Jiménez. Si la arquitectura y la evolución de los cerramientos fueron el concepto o idea clave para la aparición del muro descompuesto de acero, la inventiva y buen trato que Jiménez proporciona a la estructura (Fig. 14), no lo es menos. En esta relación, el arquitecto y el ingeniero se benefician el uno del otro.



Fig. 14: En la tipología estructural se percibe el buen trato y reflexión que se le ha concedido. No se trata simplemente de un esqueleto para soportar la obra

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008

Jiménez y NB-35, su propio despacho de ingeniería, fueron los encargados de la estructura en aquellas obras en las que se utilizó la tipología del muro descompuesto. En todas aquellas obras en las que han participado se aprecia el periodo de reflexión empleado en la realización de la estructura. Si cualquier estructura convencional no va con la arquitectura o no resuelve por completo la problemática, se proporciona una solución nueva y lógica.



Fig. 15: El forjado se descompone en una sucesión de vigas de gran esbeltez

Francisco Mangado: Auditorio y Centro Municipal de Exposiciones, Ávila, España, 2002-2010

En este proceso de reflexión es clave que el ingeniero quiera participar de la estética de la obra y que el arquitecto se muestre receptivo. Los ingenieros de estructuras tienen más conocimientos de lógica estructural que nosotros los arquitectos, por lo que les es más fácil dar forma a una solución estructural.

El muro descompuesto es un claro ejemplo de esa fructífera relación, pero no el único. El forjado que se planteó en el Auditorio y Centro Municipal de Exposiciones de Ávila es otro ejemplo de inventiva. La esbeltez y desmaterialización vuelve a ser la tónica dominante de la estructura. Podríamos considerar este forjado como la aplicación del concepto de descomposición a un plano horizontal, un forjado descompuesto.

Viendo la calidad y estética de las estructuras, podemos concluir afirmando que la colaboración entre arquitecto e ingeniero es totalmente necesaria a la vista de los resultados que puede proporcionar.



Fig. 16: Debido a la esbelteza de las vigas se requiere de unos elementos perpendiculares que la rigidizan

Francisco Mangado: Auditorio y Centro Municipal de Exposiciones, Ávila, España, 2002-2010

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Todas las imágenes provienen de la web oficial de Francisco Mangado salvo:

Fig. 2: Especial de la revista WERK sobre la arquitectura española, 1962

Fig. 3: Fotografía de Copper Development Association

Fig. 7: Fotografía de usuario Javier1949 de Flickr

Fig. 12-14: Fotografía de Roland Halbe

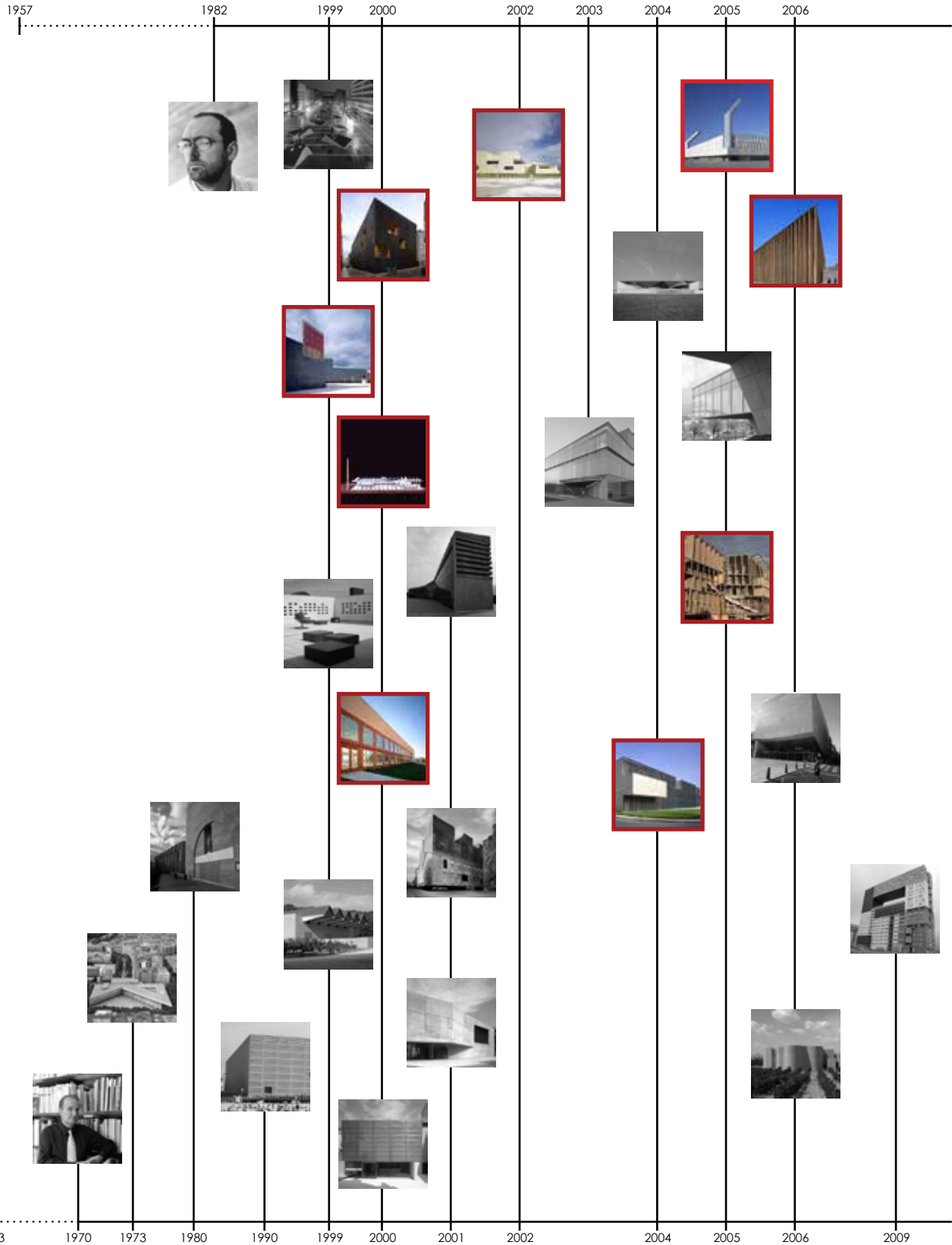
Fig. 15 y 16: Fotografía de Miguel De Guzmán

NOTAS:

1 y 2. David Cohn, Conversación con Francisco Mangado, Revista TC Cuadernos, Número 72/73, 2006

2. 3. COLABORACIÓN FRANCISCO MANGADO + JESÚS JIMÉNEZ

FRANCISCO MANGADO



JESÚS JIMÉNEZ

* Todas las imágenes provienen de las páginas web oficiales de ambos

FRANCISCO MANGADO

1999-2004: PLAZA DE FELIPE II, MADRID, ESPAÑA

2000- ... : AUDITORIO Y CENTRO DE CONGRESOS, PALENCIA, ESPAÑA

2003-2008: EDIFICIO DE OFICINAS GAMESA, SARRIGURA, ESPAÑA

2004-2011: AUDITORIO MUNICIPAL DE TEULADA, ALICANTE, ESPAÑA

2005-2006: PISCINA PARA LA UNIVERSIDAD DE VIGO, OURENSE, ESPAÑA

COLABORACIÓN

1999-2003: BALUARTE, PAMPLONA, ESPAÑA

2000-2003: OFICINAS DE LA UNIVERSIDAD DE NAVARRA, PAMPLONA, ESPAÑA

2000-2009: MUSEO DE ARQUEOLOGÍA DE ÁLAVA, VITORIA, ESPAÑA

2002-2010: AUDITORIO Y CENTRO MUNICIPAL DE EXPOSICIONES, ÁVILA, ESPAÑA

2004-2008: CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS, SANTIAGO DE COMPOSTELA, ESPAÑA

2005-2006: ESTADIO LA BALLESTERA, PALENCIA, ESPAÑA

2005- ... : PALACIO DE CONGRESOS Y HOTEL, PALMA DE MALLORCA, ESPAÑA

2006-2008: PABELLÓN DE ESPAÑA PARA LA EXPO, ZARAGOZA, ESPAÑA

JESÚS JIMÉNEZ_NB35

1973-1981: AYUNTAMIENTO DE LOGROÑO, LA RIOJA, ESPAÑA (RAFAEL MONEO)

1980-1985: MUSEO DE ARTE DE MÉRIDA, BADAJOZ, ESPAÑA (RAFAEL MONEO)

1990-1999: CENTRO DE CONGRESOS GRAN KURSAAL, SAN SEBASTIÁN, ESPAÑA (RAFAEL MONEO).

1991-2002: BODEGAS SEÑORÍO DE ARINZANO, BODEGAS CHIVITE, NAVARRA, ESPAÑA (RAFAEL MONEO)

1999-2009: MUSEO Y SEDE INSTITUCIONAL CONJUNTO ARQUEOLÓGICO DE MADINAT AL-ZAHRA, CÓRDOBA, ESPAÑA (ENRIQUE SOBEJANO Y FUENSANTA NIETO)

2000- 2009: REHABILITACIÓN DEL MUSEO NACIONAL DE ESCULTURA DE VALLADOLID, ESPAÑA (ENRIQUE SOBEJANO Y FUENSANTA NIETO)

2001: MUSEO DE LA ILUSTRACIÓN EN VALENCIA, ESPAÑA (GUILLERMO VÁZQUEZ CONSUEGRA)

2001-2008: CAIXA FORUM MADRID, ESPAÑA (HERZOG & DE MEURON)

2001-2008: MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA MARÍTIMA Y CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES ARQUEOLÓGICAS SUBMARINAS, CARTAGENA, ESPAÑA (GUILLERMO VÁZQUEZ CONSUEGRA)

2006: MUSEO DE LA BEULAS, HUESCA, ESPAÑA (RAFAEL MONEO)

2006: AUDITORIO MUNICIPAL DE TORREVIEJA, ALICANTE, ESPAÑA (ALEJANDRO ZAERA)

2009: VIVIENDAS EN SANCHINARRO, MADRID, ESPAÑA (MVRDV + BLANCA LLEÓ)

2. 4. CASOS DE ESTUDIO

NUEVA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: MURO DESCOMPUESTO

2. 4. 1. MUSEO DE ARQUEOLOGÍA DE ÁLAVA, VITORIA, ESPAÑA, 2000-2009



Fig. 1: El museo se organiza como una extensión del Palacio de Berdaña, cerrando la manzana y liberando el interior

Fotografía aérea



Fig. 2: Una de las virtudes del proyecto es generar un espacio abierto en el interior de manzana, en vez de ocuparlo con edificación

Fotografía del interior de manzana

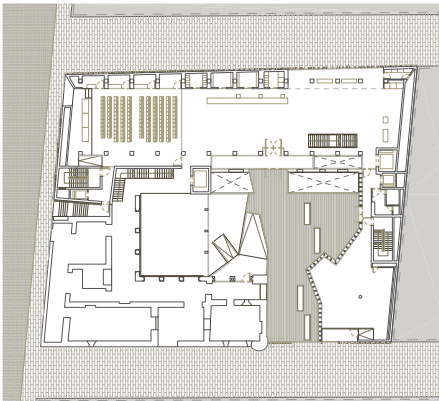
El museo surge a través del contexto y la continuidad que se establece con el lugar en el que se emplaza. En la misma parcela se encuentra ubicado el Palacio de Berdaña, actualmente el museo de Naipes Fournier, y una medianera al otro lado. Debido a estos condicionantes de partida, impuestos por el lugar, se plantea una edificación en L que pare una prolongación del Palacio, cerrando así la manzana, cubriendo la medianera y liberando el espacio central (Fig. 1). Con este guiño del proyecto hacia lo existente, no podemos obviar lo descrito sobre la arquitectura de Mangado. Su arquitectura es una respuesta lógica y funcional al contexto en el que se emplaza. Aunque lógica y funcional, no deja de ser brillante.

En esta geometría en L, podemos diferenciar claramente dos alas: una principal, de mayor tamaño, que contiene las salas de exposiciones y usos principales; y otra, mucho más estrecha y paralela a la medianera, que es la encargada de contener todos aquellos usos de apoyo.

El acceso principal tiene lugar a través del patio que se genera en el interior de la manzana (Fig. 2), el cual sirve también de acceso al museo de Naipes Fournier. El acceso al propio museo se encuentra en el volumen principal y se realiza a través de un puente situado sobre un patio, cuya función es proporcionar luz a las funciones situadas en un nivel inferior. A su vez, este nivel inferior (planta -1) se aprovechará del desnivel de la calle, en la que se sitúa su fachada este, para recibir iluminación natural y generar un acceso secundario que dará servicio a la biblioteca y talleres.

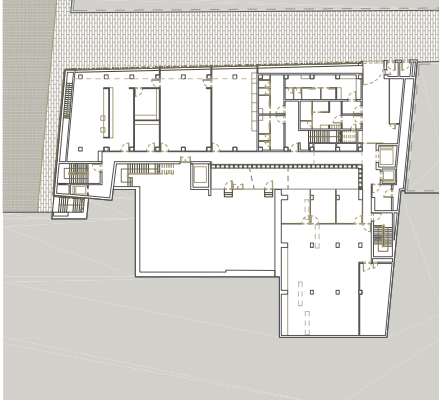
PLANTA BAJA

e:1/750



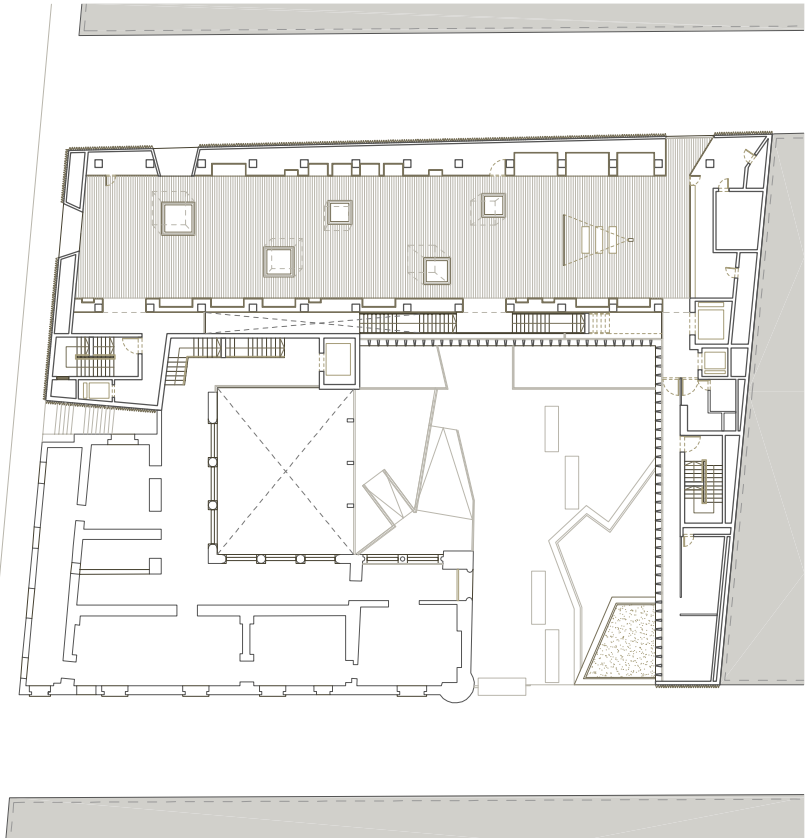
PLANTA SEMISOTANO

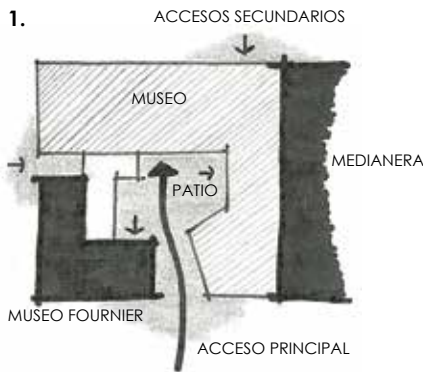
e:1/750



PLANTA SEGUNDA

e:1/500





1. INTENCIONES PROYECTUALES

Debido a las edificaciones existentes, se plantea un edificio en forma de L para liberar el interior de la manzana. A esta pieza, añade otra pequeña L que será la encargada de establecer la relación con el museo Fournier.

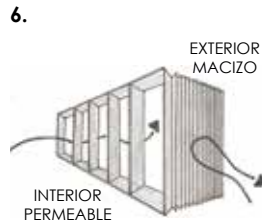
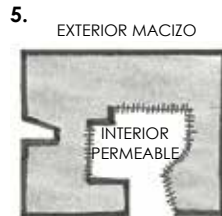
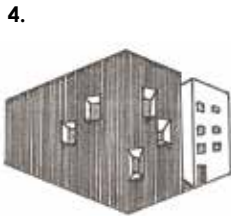
2. PROGRAMA

La distribución del programa es muy sencilla, compuesta por tres piezas. De estas tres piezas, dos de ellas contendrán el programa mientras que la otra será la encargada de contener las circulaciones verticales y establecer la conexión con el museo existente



3. ACCESO PRINCIPAL

En el acceso principal, el volumen adosado a la medianera va reduciendo progresivamente para aumentar la sensación de amplitud de la entrada y no agobiar al espectador.



4. RELACIÓN CON EL MUSEO FOURNIER EN ES ESPACIO EXTERIOR

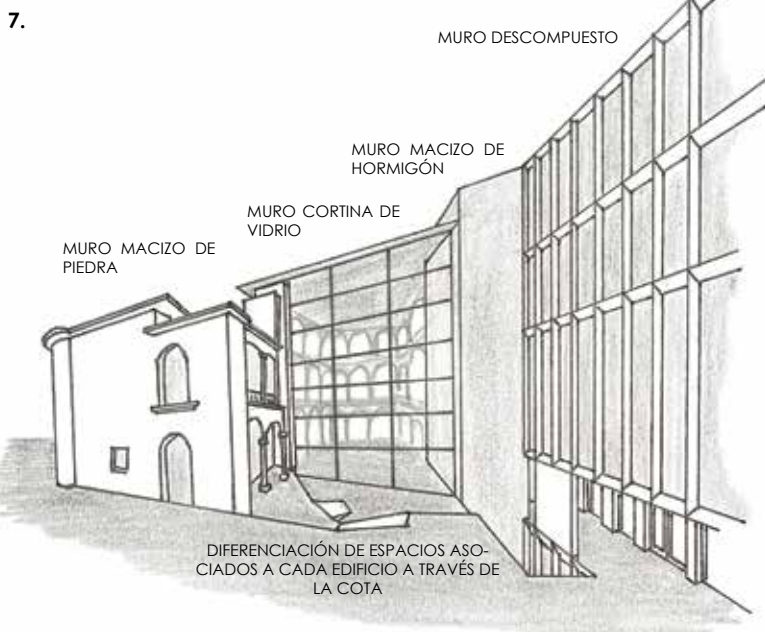
En la fachada exterior se aprecia como se genera un vacío entre el nuevo proyecto y el edificio existente. De esta manera la transición es mucho más sutil.

5. CONTRASTE

Los cerramientos que dan a las calles colindantes son macizos, mientras que los que dan al espacio interior son permeables y ligeros.

6. TIPOS DE CERRAMIENTO

Con este boceto se ve claramente la diferencia entre los cerramientos que generarán el contraste.



7. TRANSICIÓN MATERIAL Y RELACIÓN CON EL MUSEO FOURNIER EN EL ESPACIO INTERIOR

Si en el espacio exterior la transición se establece con un vacío entre ambos, en el espacio interior se produce a través de la transición material. Para establecer una correcta relación entre el museo Fournier (cerramiento macizo) y el nuevo museo (cerramiento permeable), se coloca una pieza de hormigón armado con acabado visto y un muro cortina de vidrio. De esta manera se consigue una transición progresiva, pasando de algo totalmente macizo, a un muro de vidrio que nos deja ver la continuación y enlace con la pieza de hormigón armado. A su vez, esta pieza de hormigón es capaz de establecer una buena relación con el muro descompuesto porque aunque es un cerramiento macizo, se trata de un material más industrial y contemporáneo que la piedra.



Fig. 3: Contraste entre la fachada interior y la exterior, transparencia frente a opacidad

Fotografía del acceso desde la calle



Fig. 4: La fachada exterior es totalmente opaca, realizándose únicamente las perforaciones que sean necesarias

Fotografía de la fachada exterior



Fig. 5: Lo opaco se vuelve transparente y permeable

Fotografía de la fachada interior



Fig. 6 y 7: Todo el contraste que se produce entre los cerramientos exteriores se translada también al interior. En este caso el contraste se produce a través del material y del control de la iluminación

Fotografías del vestíbulo de acceso y una de las salas de exposición permanente.

COMPACIDAD Y CONTRASTE:

No se puede entender la necesidad de esta nueva tipología de muro estructural sin antes analizar los contrastes que Mangado crea en el propio proyecto.

Los contrastes comienzan en el perímetro del proyecto, con la distinción que se establece entre el cerramiento del perímetro exterior y el del interior (Fig. 3). Al exterior, el museo se muestra hermético, compacto y cerrado. Por el contrario, el cerramiento interior es permeable, ligero y abierto.

En la cara exterior la fachada se compone por un cerramiento realizado con prefabricados de fundición de bronce que cubren la totalidad de la fachada, colocándose aberturas puntuales allí donde sea necesario (Fig. 4). Por su parte, en la fachada interior las aberturas constituyen la totalidad del cerramiento, es decir, lo compacto y hermético se vuelve permeable (Fig. 5). Aquí es donde aparece el muro descompuesto, como si se tratase de un enrejado de bronce que tiene tras él un cerramiento continuo de vidrio. Recordemos que el museo se sitúa en ese momento de transición de los volúmenes macizos y rotundos hacia los más porosos. El museo es claramente un híbrido entre ambos.

En este caso en concreto, el contraste aparece como comparación de los cerramientos que dan a las calles colindantes y el que da al patio que se genera en el centro. Esa diferencia que se establece entre los cerramientos se translada también a la materialidad. Un claro ejemplo de ello es el contraste que se genera entre el bronce de la fachada principal y el gran vacío totalmente blanco de la escalera (Fig. 5). A su vez, cuando nos adentramos en el interior del edificio, vuelve a suceder lo mismo tanto en la planta del acceso como en las salas de exposiciones. En planta baja el suelo y techo tienen un tono muy oscuro que contrasta con los blancos y transparencias de los muros interiores (Fig. 6). En las salas de exposiciones, liberadas de la posición de la escalera, el suelo, techo y muros tienen un tono oscuro, resaltando así los prismas traslucidos por los que resbala la luz proveniente de la cubierta (Fig. 7).



MURO DESCOMPUESTO:

Explicado el contexto, en el que se requiere de una tipología estructural como el muro descompuesto, es el momento de adentrarnos en los detalles y composición de esta estructura.

En este caso, el muro descompuesto lo componen una serie de perfiles conformados de 180x80mm como si se tratase de un pequeño perfil IPN con un mayor espesor de sus pletinas (ver detalle constructivo). Cuando se observan detenidamente los detalles no podemos obviar las similitudes existentes con el "Steel frame" (Fig. 8), como si se utilizase esta misma tipología pero simplemente recubriendo sus perfiles, en vez de cerrar por completo la fachada.

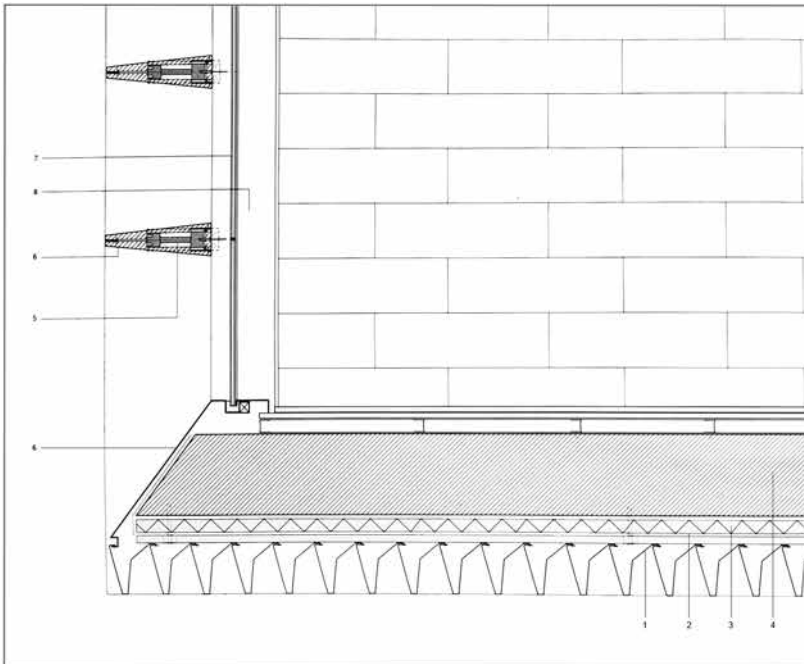
La separación entre estos soportes será de 60cm entre ejes. A su vez, estos soportes se revisten con una chapa de bronce, cuya misión es la de ocultar el perfil y aumentar la esbeltez de este. Esto último se consigue montando la chapa con una forma triangular, de manera que el vértice será la línea que el ojo percibirá. Además, en el vértice aparecerá un oscuro para dotar de una mayor esbeltez (Fig. 8).



Fig. 8: Los perfiles se revisten con una chapa de bronce para aumentar la esbeltez

Fotografía del proceso de construcción de la estructura

DETALLE CONSTRUCTIVO: SOPORTES



1. Tabique estructural H.A
2. Aislamiento térmico
3. Impermeabilizante vertical
4. Revestimiento exterior de chapa de bronce plegada e=1'5mm
5. Pieza estructural conformada de chapa de acero
6. Chapa de bronce plegada e=3mm
7. Vidrio doble 6mm + 6mm



DETALLE CONSTRUCTIVO: ENCUENTRO CON EL FORJADO

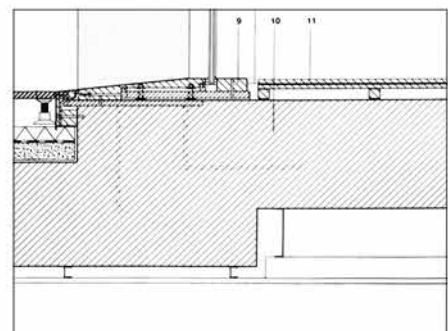
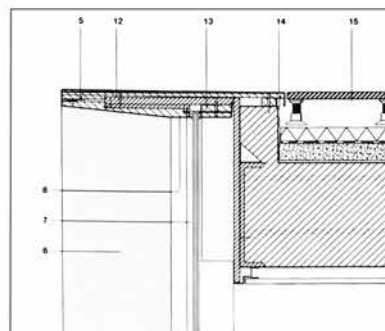
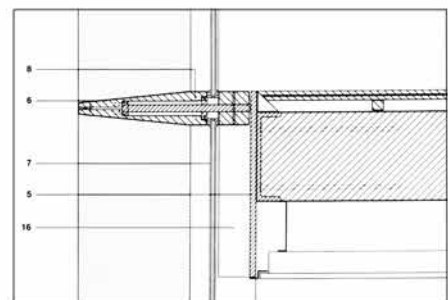
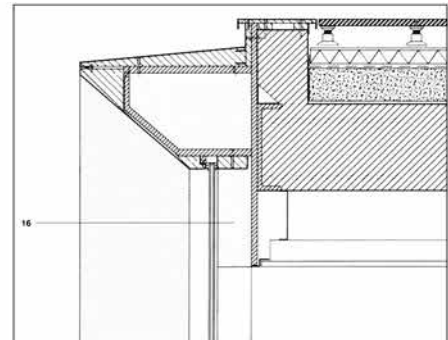




Fig. 9: Encuentro con el forjado

Fotografía del proceso de construcción de la estructura

Con este tipo de soportes es posible alcanzar una luz de 7,5m. Esto se consigue en la banda paralela a la medianera, ya que en el resto del proyecto las luces oscilan entre los 2 y 4 metros.

Para terminar, no podemos olvidar el encuentro del muro descompuesto con la losa de hormigón. Para seguir con los parámetros de esbeltez marcados, el encuentro se resuelve con un perfil en L invertida al que se ancla otro perfil en C que recibirá la losa del forjado (Fig. 9). Para reforzar este enlace y favorecer a la transmisión de esfuerzos, en el perfil en L se colocarán una serie de pletinas perpendiculares que coinciden con la posición de los soportes. Por tanto, consiste en que al exterior solo se quedará la delgada línea de ese perfil en L, la cual también se reviste con bronce para conseguir el mismo impacto visual de los soportes (Fig. 10 y 11).



Fig. 10 y 11: Detalle de la esquina. Encuentro entre las dos tipologías de fachada e imagen final de la nueva tipología estructural, el muro descompuesto

Fotografía del exterior y de la fachada interior



CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1 y 2: Fotografía de Pedro Pegenaute

Fig. 3: Fotografía de Pedro Pegenaute

Fig. 4: Fotografía de la oficina de Mangado

Fig. 5: Fotografía de Pedro Pegenaute

Fig. 6: Fotografía de la oficina de Mangado

Fig. 7: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 8 y 9: Fotografía de Jonathan Chanca

Fig. 10 y 11: Fotografía de Roland Halbe

2. 4. 2. CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS, SANTIAGO DE COMPOSTELA, ESPAÑA, 2004-2008

La propuesta del centro de formación, al igual que el museo, se basa en la concepción del lugar, añadiendo un proceso de adaptación topográfica (Fig. 4). El terreno se introduce en el edificio transformándose en el jardín del mismo. La construcción se muestra como una secuencia de piezas adaptadas a la topografía. El proyecto se compone por dos volúmenes longitudinales. El primero de ellos se encargará de contener las tierras, liberando al otro de esta función.

El acceso al edificio se realizará a través del primero de los volúmenes, mas estrecho y apoyado en el nivel más alto de la topografía (Fig. 1). Esta pieza contendrá aquellos usos "sirvientes" de la docencia, es decir, administración, control, instalaciones, cafetería, etc.

Por otro lado, el volumen situado en el nivel más bajo de la topografía, liberado de la función de contención de tierras, contendrá los usos docentes como aulas y talleres. Con una planta totalmente libre permitirá adaptar las aulas o talleres en función de la necesidad del momento.

Ambas piezas quedarán conectadas por una serie de piezas de circulación totalmente transparentes. Situadas sobre el suelo ajardinado del patio, distinguimos dos tipos: los puentes y el núcleo de circulaciones verticales, el cual si que se apoya sobre el terreno.

También es importante la posición del auditorio, el cual une las dos piezas en su fachada oeste (Fig. 2). Al conectarlas en planta baja, el auditorio vuela sobre el patio de separación (Fig. 3) y se permite tener un acceso directo al exterior.



Fig. 1: El acceso se realiza desde el nivel más alto de la topografía y a través del volumen "sirviente". A través de él accederemos al vestíbulo o al auditorio

Fotografía del acceso



Fig. 2 y 3: El auditorio une ambas piezas en planta primera, de manera que vuela sobre el patio y al situarse junto al acceso principal, se permite tener acceso directo desde el exterior.

Fotografías del volumen del auditorio



Fig. 4: Se aprecia la adaptación topográfica del proyecto, mostrándose el volumen superior como el encargado de contener el empuje del terreno

Fotografía del exterior

2. 4. 2. CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS

NUEVA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL: MURO DESCOMPUESTO

1. ADAPTACIÓN TOPOGRÁFICA

La pieza más estrecha será la encargada de la contención del terreno, liberando a la otra pieza para que se muestre ligera..

2. INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFÍA

El volumen encargado de contener el terreno será mucho más macizo y compartimentado, mientras que el otro, liberado de todo esfuerzo tendrá una planta totalmente libre.

3. PROGRAMA

El programa se organiza en dos piezas longitudinales que contienen el programa y que quedan unidas por una serie de piezas que vuelan sobre el patio.

4. AUDITORIO

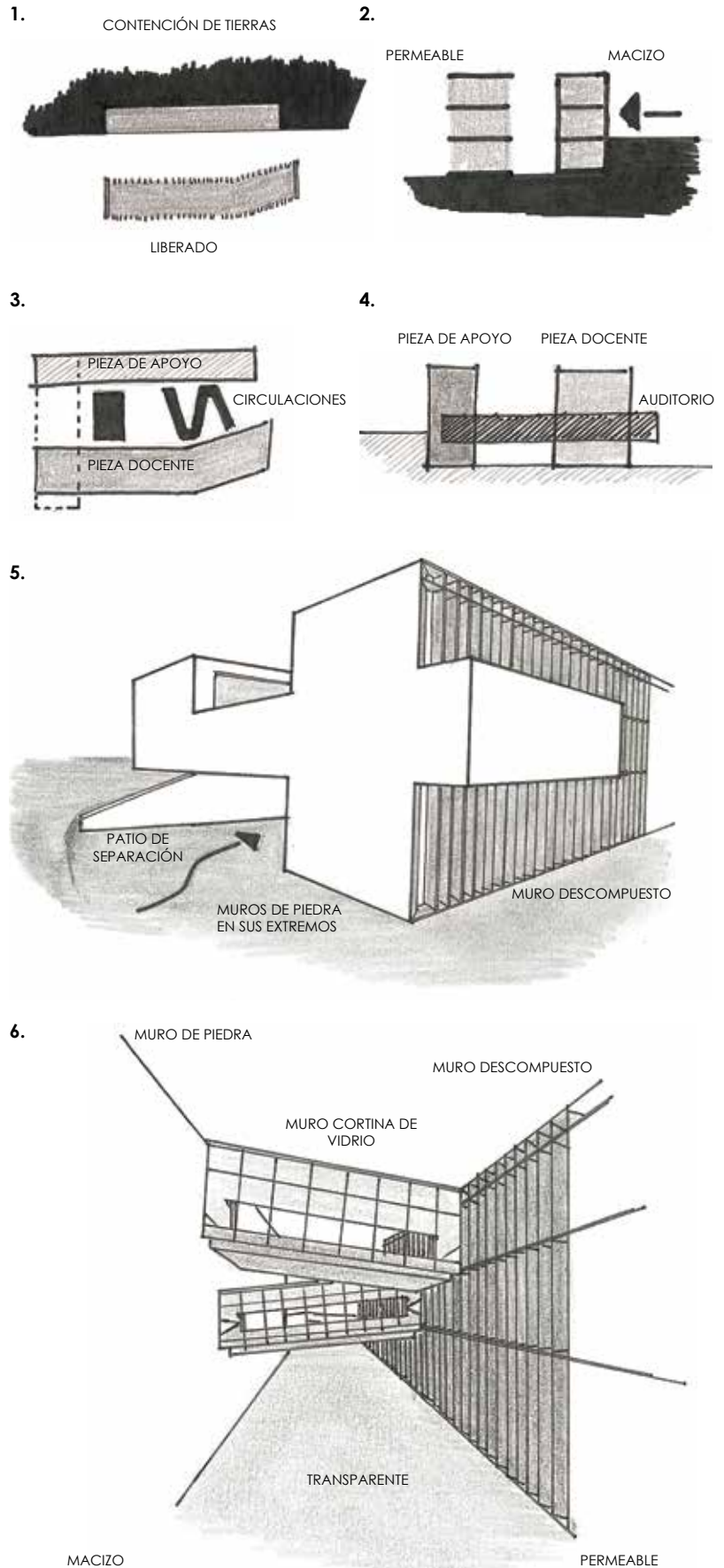
En este boceto se muestra claramente como la pieza del auditorio vuela sobre el patio interior, llegando a atravesar el volumen ligero.

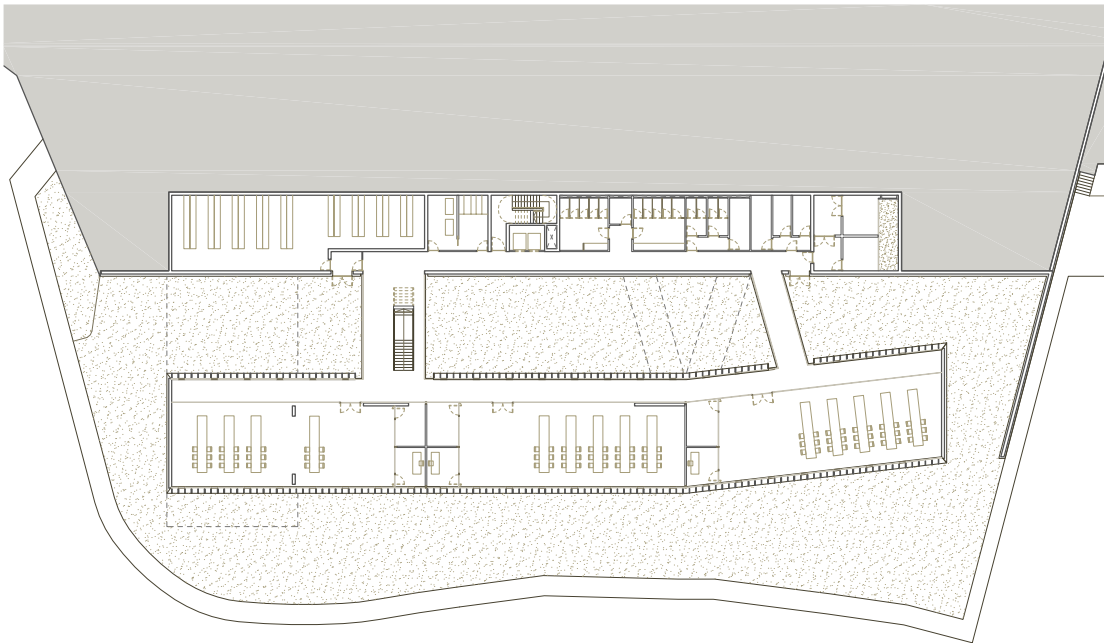
5. DIVERSIDAD DE TEXTURAS: CONTRASTE

El contraste se establece entre los muros macizos de piedra y el muro descompuesto de acero, mucho más permeable. A su vez, con la posición del auditorio y de los dos volúmenes longitudinales, parece que el edificio se apoya en el terreno. Esto se consigue con la prolongación del muro inferior, por lo que parece que el terreno natural se introduce en el edificio.

6. CONTRASTE

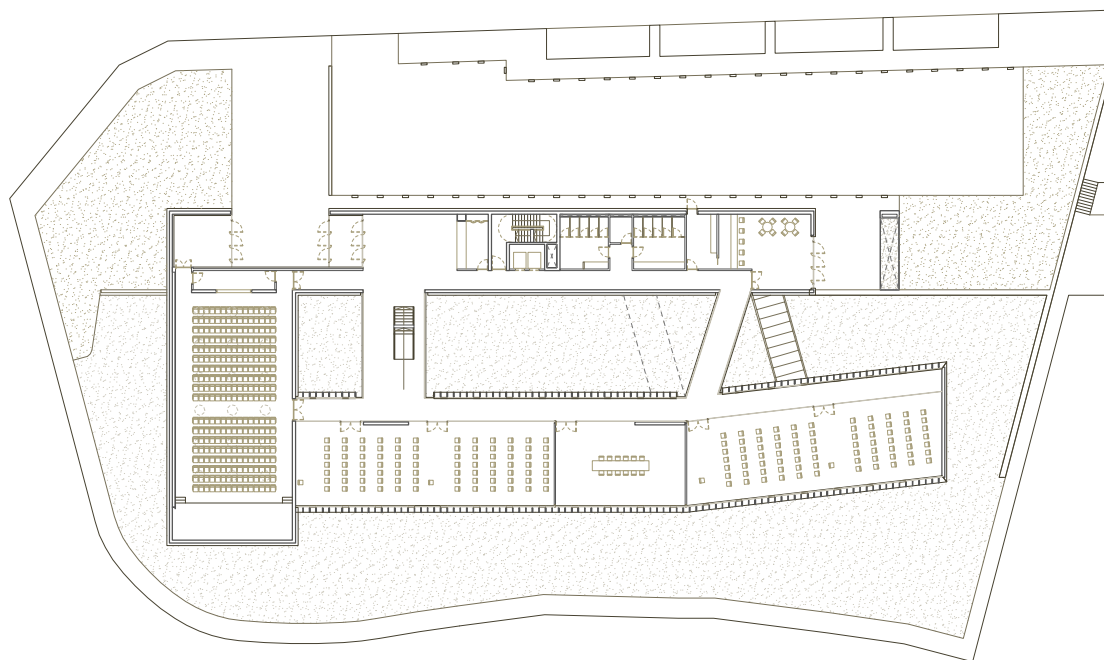
El contraste se produce en el patio interior, apareciendo hasta tres texturas diferentes. El volumen de contención del terreno tiene un acabado en muro de piedra, mientras que el volumen docente se resuelve con muro descompuesto. Para establecer la transición entre ambos aparecen los puentes de vidrio. Por tanto, el contraste se establece entre lo macizo, lo transparente y lo permeable.





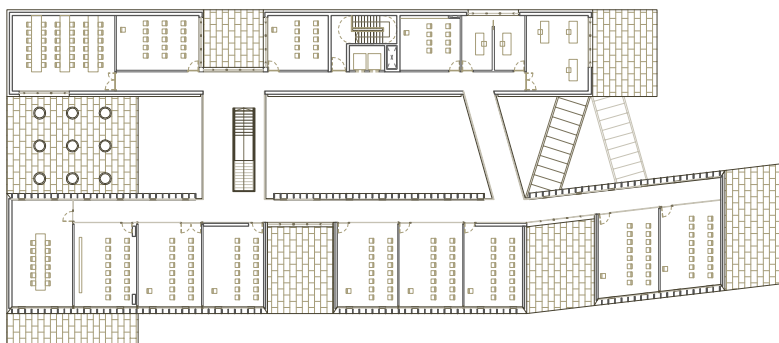
PLANTA SEMISÓTANO:

e:1/750



PLANTA BAJA:

e:1/750



PLANTA PRIMERA:

e:1/750





Fig. 5 y 6: El volumen docente, mucho más ligero y permeable, queda liberado por el muscular y pétreo volumen sirviente

Fotografías del exterior

COMPACIDAD Y CONTRASTE:

El patio será el elemento que genere ese contraste siempre presente en la arquitectura de Mangado. Sin el patio de separación no se entendería el contraste (Fig. 8). En el centro de formación, este se vuelve a producir entre lo denso, lo más compacto, y la ligereza.

El volumen de acceso, claramente compartimentado en planta y encargado de la contención, se mostrará macizo, pétreo y mucho más pesado y muscular que el volumen docente. Por tanto, el volumen de acceso liberará al otro para que este solo tenga que apoyarse de manera liviana en el terreno (Fig. 5 y 6). Precisamente por esto último, el volumen docente, solucionado estructuralmente con el muro descompuesto, es mucho más ligero y permeable. Esto queda patente también en su planta, totalmente libre (Fig. 7).

Aunque el patio de separación sea el elemento principal que favorezca al contraste entre los dos volúmenes, no será el único. El auditorio, que une los dos volúmenes en la segunda planta, será el otro elemento. Este, al atravesar el volumen docente con su materialidad pétrea, establecerá el contraste en la fachada sur, y no solo por comparación entre los dos volúmenes (Fig. 9).



Fig. 7: Planta totalmente libre en la que solo aparecen una serie de muros de hormigón

Fotografía del interior del volumen docente



Fig. 8 y 9: El contraste se evidencia en la diferencia de compactidad y pesadez de los cerramientos

Fotografía del patio interior y del voladizo del auditorio



MURO DESCOMPUESTO:

Como hemos podido observar, el contraste es común en ambos casos de estudio. Sin embargo, la tipología del muro descompuesto sufre una serie de evoluciones, perdiendo esas similitudes que el museo mantenía con el "Steel frame". La estructura ya no requiere de ningún tipo de revestimiento (Fig. 10). Otra diferencia, respecto al muro descompuesto empleado en el museo, es el concepto de prefabricación que adquiere la tipología (Fig. 11). Tres soportes constituirán un módulo tipo, el cual se unirá con el resto mediante una unión atornillada (Fig. 14).

En este proyecto, el soporte del muro descompuesto tiene unas dimensiones de 400x40mm y está compuesto por dos pletinas principales de 400x10mm y otras dos secundarias de 20x20mm que se sitúan entre las dos primeras (Fig. 13). Estas dos pletinas secundarias retrasan su posición para generar un oscuro que favorezca a la esbeltez de cada soporte (Fig. 12). Con este tipo de soportes situados a una distancia de 60cm, se llega a alcanzar una luz de 10,5m.

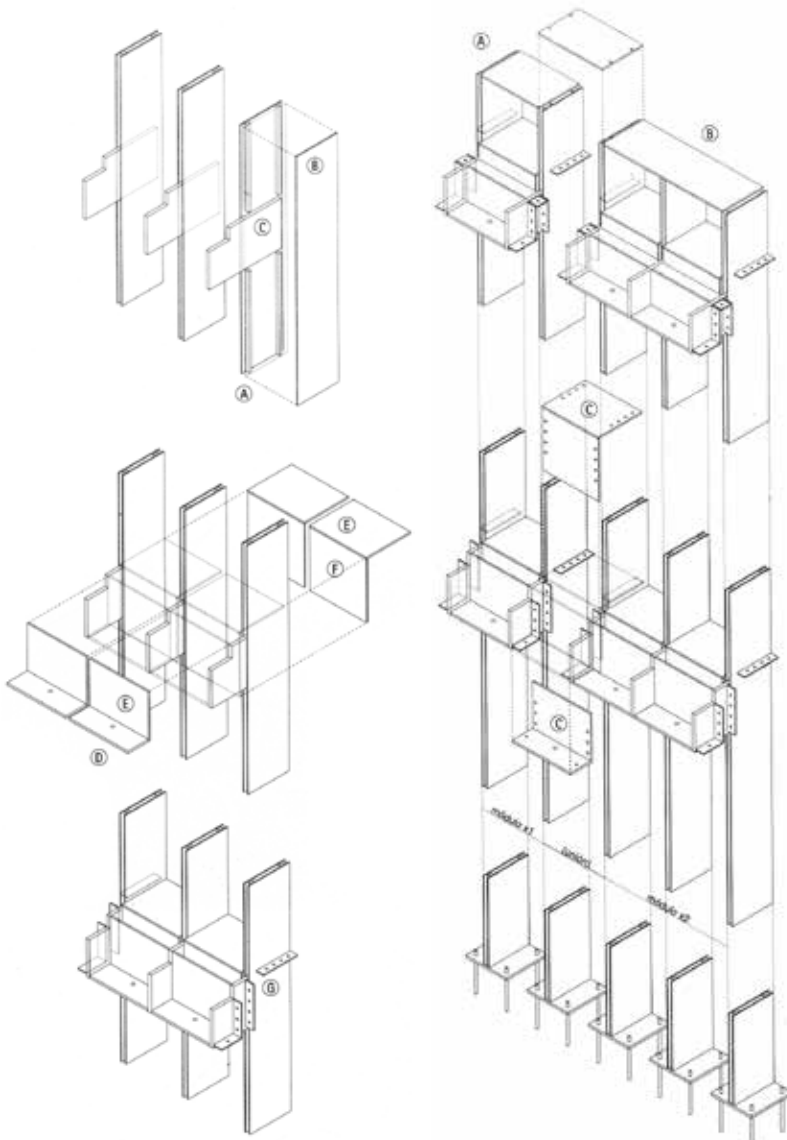


Fig. 10 y 11 : La estructura solo requiere de una pintura para obtener la protección contra incendios, además se establece un módulo tipo

Fotografía del módulo tipo y el proceso de montaje



Fig. 12, 13 y 14 : El oscuro existente entre las dos pletinas aumenta la sensación de esbeltez de la estructura

Fotografía y despiece de la estructura



Fig. 15 y 16 : El contraste se evidencia en la diferencia de compacidad y pesadez de los cerramientos

Fotografía del patio interior y del voladizo del auditorio

Si con el museo parecía la estructura parecía una piel exterior, aquí se desmaterializa totalmente, los forjados parecen levitar sin ningún tipo de esfuerzo aparente (Fig. 15 y 16).

En lo referente al encuentro con el forjado, el detalle es muy similar al del museo. El perfil en L invertida que une todos los soportes, evitando el pandeo, tendrá una serie de pletinas perpendiculares en su cara interior, a las cuales se une otro perfil en L encargado de recibir la losa de hormigón (Fig. 17 y 18).

Para concluir este apartado, comentar que los muros de hormigón que aparecen en el volumen docente (Fig. 7), tienen la función de estabilizar el conjunto. Recordemos que este tipo de estructuras solo son capaces de asumir los esfuerzos verticales, no los horizontales.

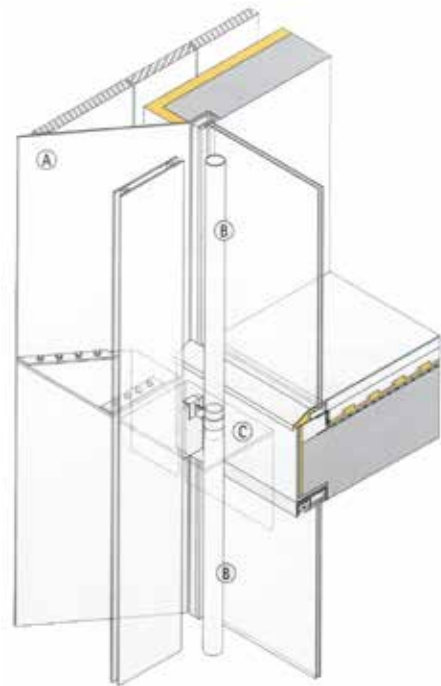
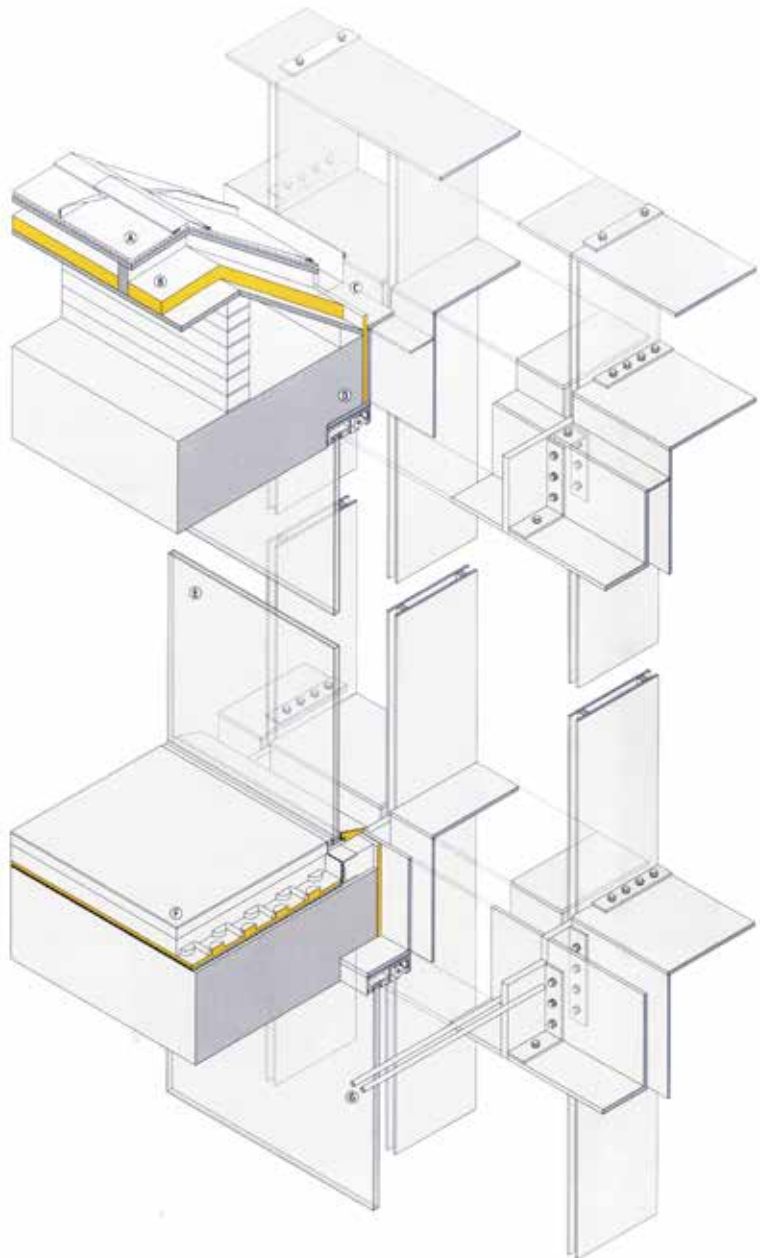


Fig. 17 y 18 : El contraste se evidencia en la diferencia de compacidad y pesadez de los cerramientos

Fotografía del patio interior y del voladizo del auditorio



CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1-6: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 7 y 8: Fotografía de Xurxo Lobato

Fig. 9: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 10 y 11: David Mimbrero © Tectónica

Fig. 12 y 13: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 14 y 15: David Mimbrero © Tectónica

CONCLUSIONES

3

3. 1. ¿ES DETERMINANTE EN UN PROYECTO LA CORRECTA RELACIÓN ENTRE FORMA Y ESTRUCTURA?



Fig. 1: La obra de Gehry es un claro ejemplo de que la forma es capaz de discriminar tanto a la función como a la estructura, favoreciendo única y exclusivamente a la expresividad formal

Frank O. Gehry: Auditorio Walt Disney, Los Angeles, EEUU, 1987-2003

Aunque en la actualidad se pretenda convertir a la estructura en un mero proceso de cálculo, esto no ha de ser así. El cálculo sí que es una comprobación, pero de los espesores y estructura planteados en el proyecto. El diseño de la estructura proviene de unos conocimientos previos que apoyarán nuestro diseño o propuesta, lo que carece de sentido es dejar a la estructura como un aspecto que ya se resolverá. La misma discriminación que en muchos casos sufre la función frente a la forma, se traslada también en muchos casos a la estructura (Fig. 1).

Esta discriminación carece de sentido, ya que la estructura es mucho más que un simple esqueleto para sustentar la arquitectura. Recordemos que es capaz de determinar hasta el tipo de arquitectura que se va a realizar, y por tanto su forma. Una estructura muraria generalmente dará lugar a una geometría pesada en la que los límites quedan claramente definidos. Sin embargo, en otros tipos estructurales, estos límites, pueden llegar a desmaterializarse por la transparencia y permeabilidad visual de la obra.

Está claro que **como arquitectos siempre buscaremos algún tipo de expresividad en nuestras obras a través de la forma, pero esto no quiere decir que tengamos que dejar de lado a la estructura.** En nuestras obras siempre existe una intención o un conjunto de ellas, las cuales pueden provenir del lugar, contexto, del tipo de construcción que se pretenda o incluso de elecciones personales. La respuesta a todas estas intenciones suele darse a través de la forma o la geometría, ya que es lo que uno percibe de la obra. Por tanto está claro que la forma tiene una gran importancia, pero respuesta a un conjunto de condicionantes o intenciones.

La estructura, más que un cálculo, ha de ser uno de esos condicionantes, pudiendo convertirse así en una herramienta de diseño, más que en un simple esqueleto que carece de expresividad. El muro descompuesto es un claro ejemplo de como una estructura puede contener la respuesta expresiva que el proyecto nos pide. Mangado podría haber conseguido el mismo efecto con una piel de fachada, pero no tendría la misma valía.

Tras realizar toda esta investigación en torno a la relación que existe entre la forma y la estructura, podemos afirmar que la una carece de sentido sin la otra. Todas aquellas obras en las que no exista una correcta relación entre ambas, no serán más que un absurdo. Con esto no quiero decir que la estructura tenga que tener siempre un papel dominante, sino que es posible que la solución más acertada se encuentre en su reinterpretación. De esta manera, seremos capaces de obtener una arquitectura de calidad.

La arquitectura de calidad es aquella que surge como resultado de una profunda reflexión, como la que ya practicaron Mies van der Rohe o Frank Lloyd Wright, y que nadie en la actualidad se atrevería la calidad que profesaron a sus obras (Fig 2 y 3). Esto precisamente es lo que muchos arquitectos parecen haber olvidado. Toda obra que carezca de ese periodo de reflexión en el que se estudian todos los condicionantes posibles y que no sean más que un gesto artístico, simplemente pasarán de moda. **Basar la arquitectura en modas o**

tendencias formales es la deformación de nuestra profesión, ya que nosotros no hacemos escultura, coches o moda, hacemos edificios, hacemos arquitectura. La arquitectura no es algo de lo que cuando uno se aburre o simplemente pasa de moda, se cambie con facilidad.

Todo esto que podría parecer un ataque gratuito, no lo es, ni mucho menos. **El marketing y el diseño están adquiriendo un papel principal en la arquitectura, llegando a convertir a los arquitectos en una marca**, como si de una línea de ropa se tratase. Pero... ¿cómo podemos revertir esto si la sociedad avanza en esta dirección? La imagen y el marketing son cada vez más importantes en la sociedad.

No solo los arquitectos "estrella" o "marca", sino también todos nosotros, deberíamos reflexionar sobre hacia donde se dirige la arquitectura e intentar dar una solución. Como bien dice un buen proverbio popular, *"a veces dar un paso atrás ayuda a dar dos hacia delante"*. Quizás deberíamos plantarnos y hacer entender a la sociedad lo que es verdaderamente la arquitectura. En ella el marketing no ha de tener cabida. Sólo de esta manera conseguiríamos liberarnos de las ataduras de la sociedad actual, en la que lo vistoso, llamativo o diferente, siempre es lo mejor.

Es curioso que todo este estudio sobre la relación entre forma y estructura, no hace más que confirmar que la arquitectura es mucho más que eso: es la iluminación, el lugar, el uso, la escala, el usuario, el entorno, el contexto, etc. Todo es importante en la arquitectura y ningún aspecto ha de premiar sobre el resto.

Por tanto, me gustaría concluir afirmando que **una correcta relación entre forma y estructura es determinante, pero no pasa de ser uno de los múltiples aspectos que hemos de tener en cuenta a la hora de hacer arquitectura**. De manera que esta investigación no hace más que evidenciar, a través de la inclusión de la variante estructural, que la forma es algo más que un simple diseño o gusto personal. La geometría de un proyecto, y por tanto la estructura también, son el resultado de ese proceso de reflexión en el que se intenta proporcionar una respuesta lo más correcta posible. Como bien se comentó al principio, aquí no interesa la imagen atractiva que cualquier diseñador gráfico es capaz de hacer, sino la arquitectura.



Fig. 2 y 3: Nadie se atrevería a poner en duda la calidad de estas obras

Mies van der Rohe: Neue Nationalgalerie, Berlín, Alemania, 1962-1968

Frank Lloyd Wright: Residencia Kaufmann, Mill Run, EEUU, 1937

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de Kwong Yee Cheng

Fig. 2: Fotografía de Andre Eisenldhr

Fig. 3: Fotografía de Miss Belardi

3. 2. ACERO Y MURO DESCOMPUESTO. LA IMPORTANCIA DEL MATERIAL



Fig. 1: Toda la estructura de acero, que se genera, quedará revestida tanto al interior como al exterior

Frank O. Gehry: Museo Guggenheim, Bilbao, España, 1997

De todo lo descrito en la investigación, se desprende que no existen ningunas reglas escritas que establezcan una correcta elección del tipo estructural. Por ello, el arquitecto adquiere un hábito a lo largo de su carrera, guiado y modelado por una serie de principios, que le proporcionan la capacidad de elegir la correcta tipología estructural a través del conocimiento de su comportamiento.

El material parece ser el punto clave y eje central de toda estructura. Este determina el tipo estructural, su expresividad y las capacidades mecánicas, de ahí su importancia. Cualquiera de sus características incide directamente en la estructura.

El acero es un material rudo, áspero y primitivo en su expresión estructural; pero ágil, fuerte y dúctil en sus capacidades resistentes. Poco a poco se ha ido aprendiendo a comprenderle, y algo más ha ido amoldándose él, para que cada vez sea más aceptado por la sociedad. Aunque esto suceda, también es cierto que nunca presentará una adaptabilidad y formas tan variadas como otros materiales, algo que aunque intente solventar con sus capacidades resistentes, no es suficiente, ya que al final se le acaba revistiendo.

En muchos casos ese revestimiento proviene de la necesidad de proteger a este tipo de estructuras del fuego, para poder cumplir así las normativas de incendios, sin embargo, tampoco parece que moleste ocultarlo. El museo Guggenheim (1992-1997) en Bilbao, de Frank O. Gehry, es un claro ejemplo de este aspecto, toda su estructura es de acero pero queda revestida de manera que nunca se aprecia (Fig. 1).

En sus estructuras su tenaz resistencia es la que predomina, sus aristas las que nos hieren y su potente ligereza la que nos impresiona (Fig. 2 y 3). Todos estos valores quedan patentes en el muro descompuesto, mostrándose como un fiel ejemplo de sinceridad con el material. La tipología expresa lo que el material añora, de ahí la elección del acero.



Fig. 2: Su tenaz resistencia es la que predomina, sus aristas las que nos hieren y su potente ligereza la que nos impresiona

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009

El acero se muestra como el material más idóneo para llevar a cabo esta nueva tipología estructural. **El concepto de la descomposición del muro podría haberse llevado a cabo con otro material, como por ejemplo la madera, pero ni sus espesores nunca transmitirían la esbeltez necesaria,** ni su nobleza característica le permitiría pasar desapercibida. Sin embargo, el acero es perfecto por sus capacidades y naturaleza, es capaz de lograr la esbeltez y desmaterialización necesarias.

Si observamos el muro descompuesto en los dos casos de estudio, queda patente que **la estructura pasa a un segundo plano, perdiendo así su importancia visual, se desmaterializa** (Fig. 3). Esta desmaterialización, pasar desapercibido, se consigue gracias a la esbeltez que el acero es capaz de aportar a cada uno de los elementos que componen el muro descompuesto (Fig. 4).



Fig. 3: La estructura se desmaterializa, pierde su importancia visual. El contraste existente entre lo macizo y la esbeltez y permeabilidad de la estructura es el causante

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008



Fig. 4: El espesor de la estructura es menor que el de la carpintería, por lo que nos podemos hacer una idea de la esbeltez de las piezas, que apenas se perciben

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008

La elección de esta tipología no se debe solo al hecho de que sea coherente con la naturaleza del material, ya que tiene otras muchas virtudes aparte de resolver el problema estructural. Entre ellas se encuentra su capacidad para constituir la solución de fachada. Por sí sola, la estructura, es capaz de delimitar visualmente el espacio, pudiendo servir de apoyo al propio cerramiento. Más allá de ser una estructura, es una fachada estructural, por lo que el proyecto no requerirá de otro revestimiento exterior, sino que simplemente se resolverá al interior. De manera que se evitan puentes térmicos y que la imagen que transmite el edificio varíe con el paso del tiempo.

Otro aspecto muy importante es el cuidado y detalle que se le dispensa a la estructura. **En el muro descompuesto de acero, nada queda al azar, cada aspecto se estudia en busca de la perfección.** Este ejercicio de reflexión, que es muy común a la hora de generar cualquier espacio, no lo es tanto cuando se trata de una estructura. Por lo que, es también un ejemplo de lo que se es capaz de conseguir en un proyecto si a la estructura se le dedica el mismo tiempo y detalle que al diseño.

Como bien sabemos todos los que nos movemos o estamos interesados en la arquitectura, esta puede parecer subjetiva, e incluso un arte. Sin embargo, podemos concluir que algo que nadie podrá negar es la coherencia, belleza y sinceridad estructural de esta solución, dentro de que cada uno considere el proyecto en sí, más o menos acertado.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Coosje Van Bruggen, Frank O. Gehry: Guggenheim Museum Bilbao, Guggenheim Museum Publications, Nueva York, 2000, pág 159

Fig. 2: Fotografía de www.viajerosexpress.com, publicada por Pepa García, 12 Octubre 2011

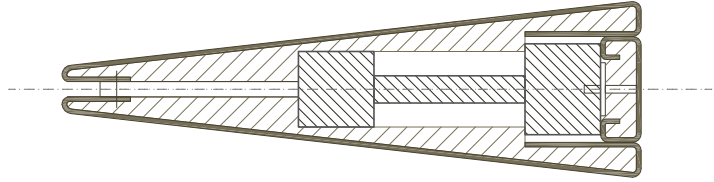
Fig. 3: Fotografía de Miguel Picado Filgueira

Fig. 4: Fotografía de Roland Halbe

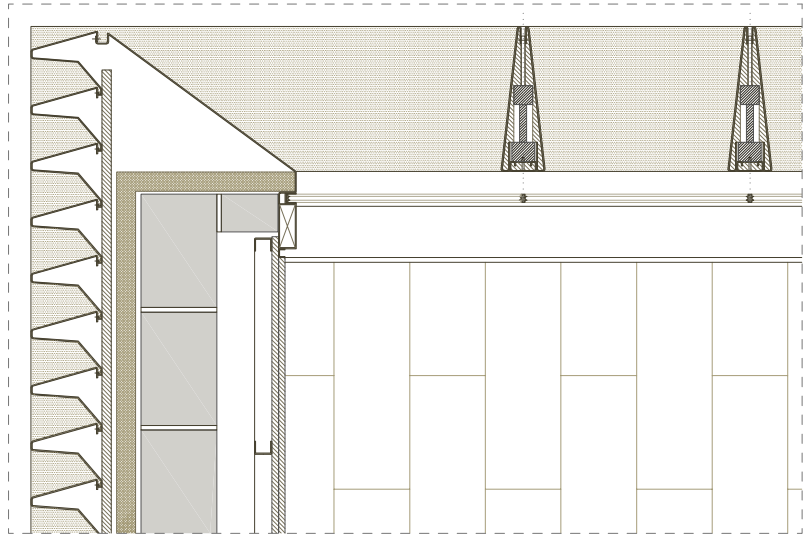
3. 3. TABLA COMPARATIVA DE LA TIPOLOGÍA EN LOS CASOS DE ESTUDIO

MUSEO ARQUEOLÓGICO DE ÁLAVA

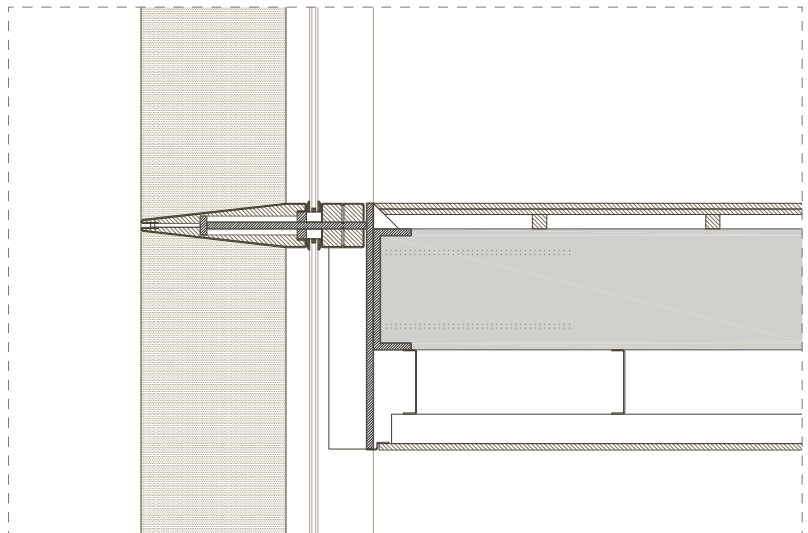
SOPORTE TIPO
e: 1/5



CONJUNTO DE SOPORTES Y ESQUINA
e: 1/20



ENCUENTRO CON EL FORJADO
e: 1/20



ESPECIFICACIONES

SOPORTE
6cm x 20cm

SEPARACIÓN
60cm

LUZ MÁXIMA
7'5m

REVESTIMIENTO
SI

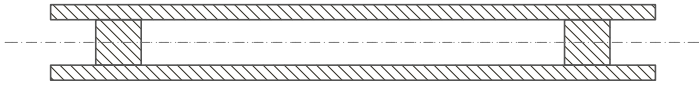
PREFABRICACIÓN
NO

OSCURO
SI

**CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS
TECNOLOGÍAS**

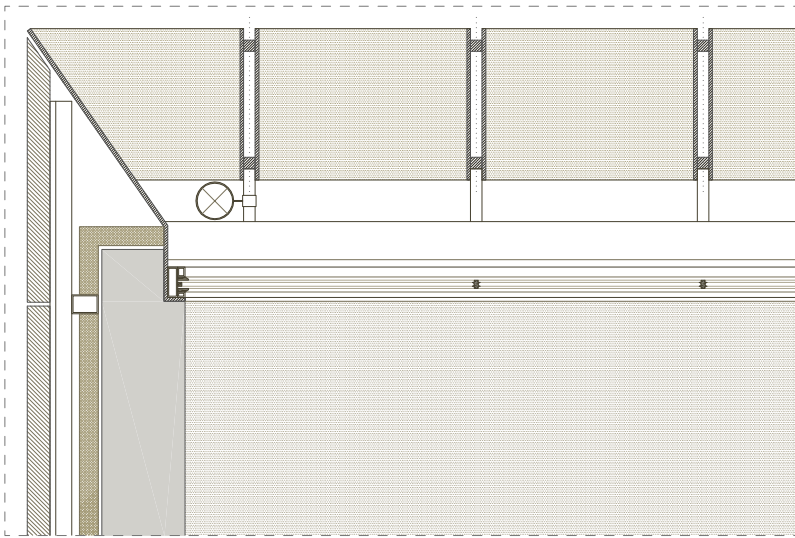
SOPORTE TIPO

e: 1/5



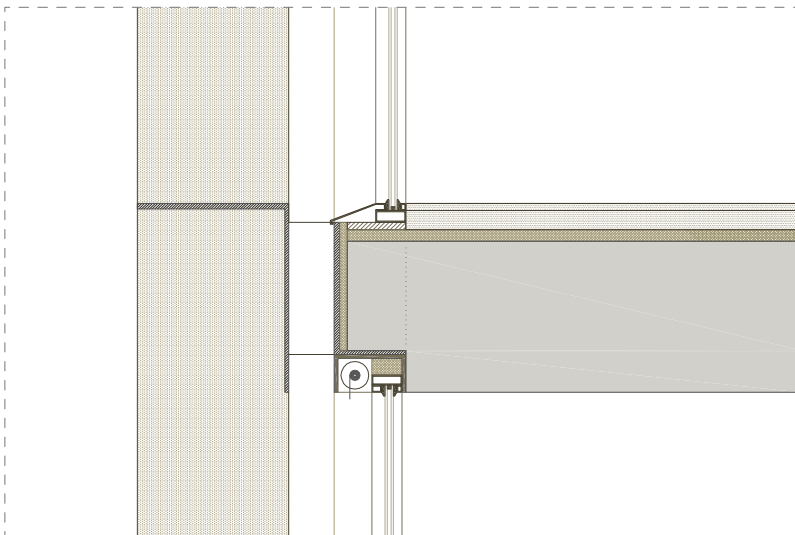
CONJUNTO DE SOPORTES Y ESQUINA

e: 1/20



ENCUENTRO CON EL FORJADO

e: 1/20



SOPORTE
4cm x 40cm

SEPARACIÓN
60cm

LUZ MÁXIMA
10'5m

ESPECIFICACIONES

REVESTIMIENTO
NO

PREFABRICACIÓN
SI

OSCURO
SI

3. 4. CONVERSACIONES CON JESÚS JIMÉNEZ



Fig. 1 y 2: Ejemplos de las colaboraciones de Jesús Jiménez

Rafael Moneo: Auditorio Kursaal, San Sebastián, España, 1996-1999

Herzog & De Meuron: Caixaforum, Madrid, España, 2008

Como ya se avanzó en la justificación de la elección, **la posición del ingeniero en el proyecto arquitectónico no pasará desapercibida en esta investigación**, y más, si tenemos en cuenta el gran resultado de la colaboración Mangado-Jiménez. El concepto de colaborador es totalmente acertado, ya que Jesús Jiménez no se limitará simplemente a realizar un cálculo, sino a hacer arquitectura. Por ello, antes de centrarnos en el diálogo, es importante realizar una breve introducción de su forma de trabajar.

Jiménez ha demostrado ese carácter especial del ingeniero que aúna conocimientos técnicos con un exquisito gusto por la arquitectura. Este carácter especial y diferente le ha reportado grandes oportunidades para poner en acción su valía. El resultado es siempre elegante, y va de la mano con la arquitectura. Ha sido colaborador, en el amplio sentido de la palabra, en diversos proyectos de grandes arquitectos entre los que destaca la presencia de Rafael Moneo (Fig. 1), premio Pritzker en 1996. También cabe destacar la presencia de otros como Nieto Sobejano Arquitectos, Guillermo Vázquez Consuegra, Herzog & De Meuron (Fig. 2), MVRDV y el propio Francisco Mangado.

Personalmente me gustaría remarcar su carácter afable, amable y cercano, ya que en todo momento de la investigación se ofreció para resolver cualquier duda, llegando a abrirme las puertas de su propio despacho. Por ello se ha realizado esta recopilación con las preguntas planteadas a Jiménez a lo largo de la investigación.

Las cuestiones que aquí se recogen, pertenecen a la última charla que mantuvimos, y nos ayudarán a comprender ciertos aspectos más concretos de la tipología. Aunque ya se haya explicado todo lo relativo al comportamiento estructural de muro descompuesto, información de una de las fuentes originales nunca esta de más.



Fig. 3: En la fachada no existe ningún tipo de jerarquía estructural

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009

PREGUNTA: Si tuviera que definir brevemente el muro descompuesto, ¿cómo lo definiría?

RESPUESTA: Pues, diría que es un elemento estructural de carga que reparte en muchos puntos todas las sobrecargas que proceden del nivel superior.

P: Ese aspecto de repartir las cargas en muchos puntos me parece muy interesante. Su funcionamiento es el de un muro, pero está compuesto por un conjunto de soportes, por lo que parece situarse entre ambos. ¿Estoy en lo correcto?

R: Efectivamente, esta tipología se sitúa entre ambos. Lo que ocurre, es que para que sea eficaz en lo que nosotros queremos considerar como un muro o fachada resistente, los soportes tienen que estar muy próximos. De manera que **se comporta más como un muro que como unos pilares independientes. La condición, para que esto suceda, está en que los soportes queden unidos por arriba, sino hablaríamos de una cosa totalmente diferente.**

P: En las obras de Mangado queda patente una evolución constante en los cerramientos, además de una serie de contrastes entre pesadez y ligereza. ¿Fue la ligereza de la estructura una de las peticiones del arquitecto?

R: Mangado y yo hemos colaborado en muchas obras. En estas en concreto, se planteó una fachada lo más ligera posible, ya que se pretendía que entrase una gran cantidad de luz al interior. Aparte ser lo más transparente posible, la fachada no debía tener elementos significativos, es decir, que no existiese una jerarquía entre elementos (Fig. 3). La aparición de esta tipología no fue una imposición estructural, sino una consecuencia de lo que el proyecto pretendía expresar, de cómo debía leerse o entenderse. Por lo que podríamos decir que fue la consecuencia, más que una petición.

P: Recuerdo que usted mismo me comentó que *“la descomposición del muro románico y gótico, a través de arbotantes, marcó el camino a seguir”*. Tras todo el estudio realizado sobre la tipología y la naturaleza de los materiales, se desprende la afirmación de que el acero, como material estructural, no se muestra predispuesto a constituir un muro, quizás porque la cantidad necesaria lo hace inviable. El “Steel Frame” parece jugar un papel importante en la variación de este concepto, además en el caso del Museo Arqueológico de Álava las similitudes son evidentes (Fig. 4). ¿Podríamos considerar el “Steel Frame” como un referente?

R: Sinceramente, no lo tuve en cuenta, pero sí que tiene muchas similitudes. Su comportamiento es exactamente igual. El elemento horizontal es el encargado de repartir las cargas, que transmite el forjado, a cada uno de los soportes. Se podría hablar también de muro estructural.

P: Es evidente que existen una serie de diferencias entre el Museo Arqueológico de Álava (Fig. 4) y el Centro de Formación en Nuevas Tecnologías (Fig. 5). ¿Se trata de una evolución?

R: No, simplemente son diferentes por las peculiaridades de la fachada de cada uno de los proyectos. En el caso del museo, la fachada de cobre hizo necesario el revestimiento. Más allá de pequeñas diferencias constructivas, en ambos casos es conceptualmente, estructuralmente y tipológicamente lo mismo.



Fig. 4: Comparte muchas similitudes con el Steel Frame

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009



Fig. 5: Las diferencias son constructivas, no tipológicas

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008



Fig. 6: Posición, forma y esbeltez de los soportes

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008

P: En el Museo, las luces de la estructura son relativamente pequeñas, con una máxima de 7 metros. Sin embargo en el Centro de Formación la luz llega hasta los 10 metros. En el caso de aumentar la luz, ¿repercutiría en el espesor del muro o en la separación de los perfiles?

R: La separación y la luz tributaria, lo único que indican es la cantidad de carga que coge cada uno. Los soportes están dimensionados en función de esa carga, pero por su forma, posición y esbeltez (Fig. 6), el problema más importante será el pandeo en el sentido paralelo a la fachada. En el perpendicular no habrá problema. El pandeo, como ya sabes, es añadir un porcentaje de carga para que cada elemento lo soporte. **Yo recuerdo que en Santiago, en el Centro de Formación, el límite de pandeo estaba muy justo, aunque dentro de los límites.** En cambio, el museo de Vitoria iba mucho más cómodo, ya que la carga era mucho menor.

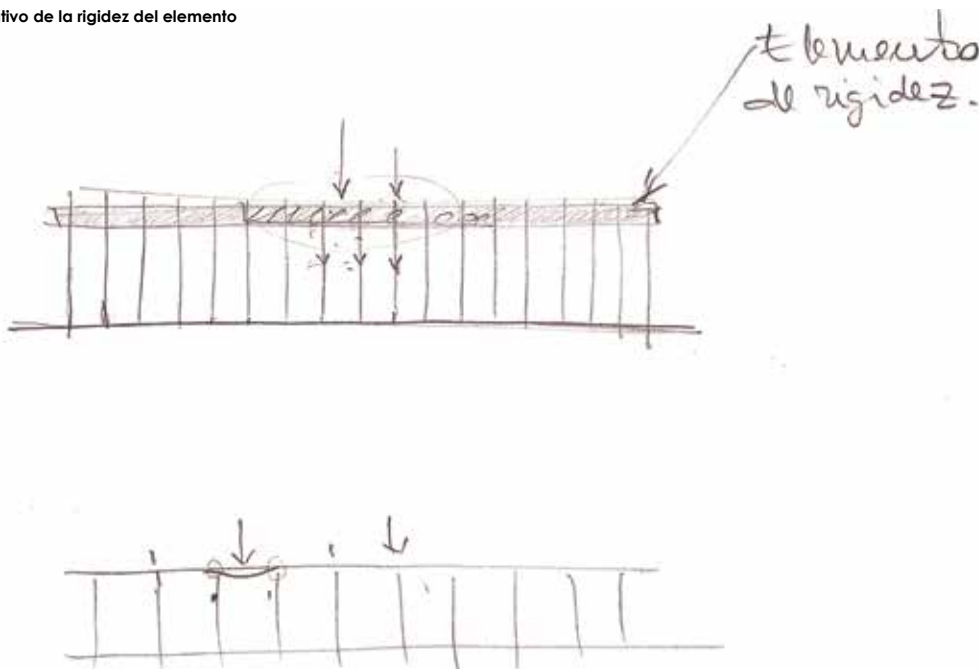
Por otro lado, cuanto más lejos estén los soportes, más carga tienen, eso lo primero, pero sobre todo, menos se comportarán como un muro. Su cercanía también facilitará la distribución de cargas puntuales a través del elemento horizontal, que ha de ser lo más rígido posible.

P: Supongo que la colocación de esas chapas en perpendicular al perfil en "L" se debe a la búsqueda de la mayor rigidez posible.

R: Sí, también para que no abombara. Mira -se pone a dibujar- (Fig. 7), tú tienes un muro de este tipo con el elemento de rigidez superior. Con una carga puntual muy fuerte, **será la rigidez de ese elemento superior la que determine cuanto se repartirá entre cada uno de los soportes.** Cuanta más rigidez o más canto tenga, que al fin y al cabo es rigidez, se repartirá entre más puntos.

Fig. 7: Boceto explicativo de la rigidez del elemento horizontal

Jesús Jiménez, 2013



Es absurdo pensar que esa rigidez no es necesaria. Si colocásemos una chapa de reparto, lo único que se conseguiría sería flexionar la chapa. Imagínate que se tratase de una chapita de nada, si la carga coincidiese con un soporte, el resto ni se enteraría, y si no coincide, solo se repartiría entre los dos soportes más cercanos. Además, en este último caso, la curvatura que se generaría en la chapa podría incluso transmitir una carga inversa a los siguientes. Por ello es importante que ese elemento sea rígido.



Fig. 8: Carpintería estructural

Lluís Clotet e Ignacio Paricio: Fundación Alicia, Sant Fruitós del Bages, España, 2006-2007

P: Antes hemos hablado de la aportación de Mangado al proyecto, pero me gustaría que usted mismo definiera su aportación a los proyectos y a la tipología.

R: El origen de todo esto, el por qué me planteé el uso de este concepto estructural, viene de la colaboración en un centro cultural de Montjuic con el arquitecto de Antoni Moragas. En ese proyecto los vidrios se sujetaban con unos elementos metálicos que tenían unas dimensiones con las que yo podía, perfectamente, soportar el forjado. De esta manera aprovechamos estos elementos para introducir la estructura.

Este mismo concepto aparece en la fundación Alicia, de Lluís Clotet, ya que esa idea de **la pérdida de la jerarquía estructural es un tema que me interesa mucho** (Fig. 8).

P: Ha hablado de su colaboración con una serie de arquitectos, y siempre parecen dispuestos a escucharle. ¿Cómo fue colaboración con Mangado y con el resto de arquitectos? ¿Siempre fue buena o alguna vez se le encargó que simplemente resolviera la estructura?

R: **Mangado siempre estuvo dispuesto tanto a escuchar como a proponer. Hubo una simbiosis total.** Se colaboró de verdad, además yo, **esto de toma y resuelve la estructura nunca lo he hecho**, o no me interesa, porque entonces tienes muchas posibilidades de que el resultado no sea el adecuado. Para colaborar solo contemplo dos caminos, la de simplemente resolver una estructura que está bien planteada o la de añadir modificaciones a la estructura que se propone. Estas modificaciones permitirán racionalizar la estructura desde el punto de vista mecánico, estructural, geométrico, económico o formal, que a mí me interesa mucho. Normalmente, con los arquitectos que yo trabajo, el proceso es común y muy favorable, no tengo ninguna queja.

P: De todos los arquitectos con los que ha trabajado, ¿le ha marcado alguno de una manera especial?

R: La verdad es que siempre he tenido una muy buena relación con todos. Entre otras cosas porque todos los citados son arquitectos buenos y experimentados, por lo que todos tienen conceptos

estructurales acertados. Hombre, en algunos casos, como el de Herzog & De Meuron, ellos propusieron lo que querían conseguir, me preguntaron que cómo se podía conseguir y yo les dije cómo. Ellos propusieron su idea y entre los dos llegamos a un punto común.

También he de decir que **todos han sido muy exigentes y a la vez sensatos**. Aunque no es menos cierto que siempre te puedes encontrar algún chinche. Con esto me refiero a gente con poca seguridad tanto en sí mismo como en su arquitectura.

P: Para terminar me gustaría darle las gracias por todo y volverle a repetir la misma pregunta que al principio, ¿muro o conjunto de soportes? Para mí, particularmente, es precisamente en esa dualidad, en el hecho de constituir una mixtura entre la construcción maciza y la ligera, donde reside el gran atractivo de esta tipología.

R: Eso es, estoy totalmente de acuerdo. **Ese desconcierto es literal, es la realidad. Se comporta de las dos maneras**. Me alegro mucho de que te hayas decidido a investigar sobre esto y espero una copia.

De todas las conversaciones mantenidas con Jiménez, y en esta en concreto, se desprende esa **necesidad de que el arquitecto e ingeniero colaboren por un bien común**. El proyecto siempre saldrá favorecido cuando ambos trabajen de manera conjunta. Está claro que cada uno tendrá sus competencias, pero esto no quiere decir que no puedan debatir y comentar ciertos aspectos con el otro hasta llegar a un acuerdo en el que tanto la estructura como el proyecto ganen. Todo esto me lleva a afirmar que la especialización de los oficios, y no me refiero solo a arquitecto e ingeniero, es buena siempre y cuando fluya el diálogo y se genere un buen ambiente de trabajo entre ellos.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de Evan Chakroff

Fig. 2: Fotografía de "La Caixa"

Fig. 3: Fotografía de Pedro Pegenaute

Fig. 4: Fotografía de Jonathan Chanca

Fig. 5: Fotografía de Xurxo Lobato

Fig. 6: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 7: Boceto de Jesús Jiménez Cañas

Fig. 8: Fotografía de Lluís Cassals

3. 5. LAS INTENCIONES O IDEAS QUE PROPICIARON LA APARICIÓN DEL MURO DESCOMPUESTO

A lo largo de toda la investigación, el enfoque desde el que se ha estudiado el muro descompuesto, ha sido mucho más estructural que arquitectónico, explicando todo aquello relacionado con su comportamiento estructural, el material e incluso la expresividad. Por todo ello, ahora que se ha estudiado de una manera profunda, es el momento de reflexionar únicamente sobre lo arquitectónico, en su origen visto desde un enfoque distinto al que se ha utilizado hasta ahora.

Como bien hemos podido saber, tras una serie de conversaciones con Jesús Jiménez, la premisa inicial de Francisco Mangado consistió en la idea de generar una fachada totalmente permeable visualmente. **Se pretendía realizar un cerramiento que dejase pasar la mayor cantidad de luz posible**, por lo que lo primero será plantearse la necesidad, o no, de tal cantidad de iluminación en cada uno de los casos de estudio, para así comprobar la veracidad de esta intención.

En el *Centro de Formación en Nuevas Tecnologías*, cuyo uso principal es el docente, sí que se justifica la necesidad de una gran cantidad de luz. Sin embargo, no vale sólo con introducir una gran cantidad de iluminación, ya que esa luz ha de ser tratada y controlada. Aquí, es donde uno puede comenzar a plantearse que no solo se debe a motivos de iluminación, sino que hay algo más, otra intención.

En el muro descompuesto, como ya sabemos, predominan los elementos verticales. En este proyecto, se emplea tanto en la fachada norte como en la sur. Por tanto, en la fachada norte sí que ayudará a controlar la iluminación solar, algo que no se consigue en la fachada sur, donde deberían predominar los elementos horizontales para garantizar un buen control solar (Fig. 1). Dicho todo esto, el contraste comienza a posicionarse como un motivo de peso.

Por otro lado, si observamos el *Museo Arqueológico*, sucede más de lo mismo. En este caso, no será la orientación o el control solar los que nos hagan sospechar, sino el propio programa. Un proyecto de estas características necesita una iluminación muy controlada y esencialmente artificial. Aunque en este caso se podría justificar diciendo que esta solución estructural se asocia a espacios no expositivos, la razón de peso parece seguir siendo el contraste, ya que esos espacios tampoco tienen la importancia como para condicionar toda la fachada de un proyecto.

Al comprobar si es cierta la premisa de la necesidad de una gran cantidad de luz a los casos de estudio, se confirma que, **la aparición de esta tipología, encuentra su razón de ser en la búsqueda del contraste (Fig. 2)**. Sin embargo, esto no cambia mucho la línea de trabajo, ya que para establecer esa diferenciación con lo macizo, las principales características de la fachada seguirán siendo la permeabilidad y transparencia. Por tanto, la fachada ha de ser lo más ligera posible.

Otra de las premisas que Mangado impuso, fue la pérdida de jerarquía entre elementos, lo cual no hace más que confirmar la



Fig. 1: El muro descompuesto proporciona una buena protección solar a norte, pero no a sur

Francisco Mangado: Centro de Formación en Nuevas Tecnologías, Santiago de Compostela, España, 2004-2008



Fig. 2: El contraste se establece entre lo macizo del cerramiento exterior y lo permeable y ligero del interior

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009



Fig. 3: El muro descompuestono se aprecia jerarquía estructural alguna, se lee como un cerramiento ligero y continuo

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009

necesidad de la ligereza del cerramiento. **La fachada tenía que leerse como un elemento continuo y ligero en el que no apreciase ningún elemento estructural potente (Fig. 3).** Esto condiciona a que cada uno de los elementos que forman la fachada, deban tener la misma entidad, es decir, el mismo tamaño, separación y materialidad. Además, como lo que se busca es transparencia y ligereza, el tamaño de estos elementos estará limitado. A todo lo eso, hemos de añadir la necesidad de que sea estructural, ya que al exigir que no aparezcan elementos estructurales potentes, esto se da por hecho.

Como lo que se pretendía era una fachada estructural ligera, **permeable y sin jerarquías; la solución pasaba por que cada uno de los elementos que componen el cerramiento fuesen estructurales.** Este conjunto de intenciones, que nos condiciona a que todo sea estructural y lo más esbelto posible, parece indicar que lo que se necesita es más una piel de fachada estructural.

Ante la inexistencia de un claro referente estructural, es necesaria una profunda reflexión. Conseguir lo que aquí se pretendía no parece nada sencillo, sobretodo, poder demostrar con una estructura portante, una esbeltez similar a la de una piel de fachada. Si hacemos memoria, fue precisamente esto, lo que justificó la necesidad de utilizar un material como el acero para poder alcanzar la solución.

Como resultado de todo esto aparecerá el muro descompuesto. Podría haber recibido el nombre de fachada o piel estructural, pero debido a toda esta profunda reflexión, se fue más allá. Si pensamos en las estructuras murarias de la antigüedad, aunque no se caracterizaban precisamente por la ligereza, no mostraban una jerarquía estructural. Aquí sucede lo mismo, con la diferencia de que **el muro se descompone en una serie de pequeños elementos o soportes que, al trabajar conjuntamente, funcionan como un muro, de ahí su nombre (Fig. 4).** La descomposición del muro nos lleva a otro concepto como la desmaterialización, el muro pierde su masa a favor de la ligereza y permeabilidad, por lo que la estructura en sí pasa desapercibida, leyéndose como un cerramiento continuo.

A todo esto, hemos de sumarle todo el cuidado y detalle que, como he explicado en anteriores apartados, se le dispensa a la estructura. Con todo lo descrito en este apartado, es más sencillo comprender por qué todos los esfuerzos iban encaminados hacia esa búsqueda de esbeltez.

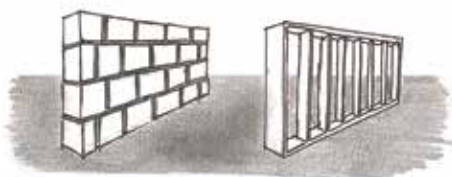


Fig. 4: El muro se descompone en pequeños soportes, que trabajan conjuntamente y que lo hacen visualmente permeable

Boceto explicativo

Para concluir, hemos de comentar que, como todo, tendrá sus ventajas e inconvenientes. Sin embargo, **es de admirar que una intención de proyecto se haya llevado hasta sus últimas consecuencias sin coger el camino más fácil.** Lo más sencillo hubiera sido

retranquear la estructura de la línea de fachada, dejando los forjados en voladizo y liberándola de cualquier función estructural, pudiendo resolverse con una simple piel. El efecto sería el mismo pero esto no tendría ningún valor. Por tanto, **se trata de una prueba irrefutable de que la buena arquitectura nunca puede surgir sin un proceso de reflexión previo**. A su vez, es un claro ejemplo del carácter inconformista de los arquitectos, que nunca nos rendimos y que siempre queremos innovar y ser fieles a nuestras intenciones de proyecto, sin importar el tiempo que nos lleve llegar a alcanzar la solución más correcta.

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 2 y 3: Fotografía de Pedro Pegenaute

Fig. 4: Boceto de José Hernández Navarro

REFLEXIONES FINALES

4

4. 1. EXPRESIVIDAD ESTRUCTURAL: “EL LENGUAJE DE LA ESTRUCTURA”

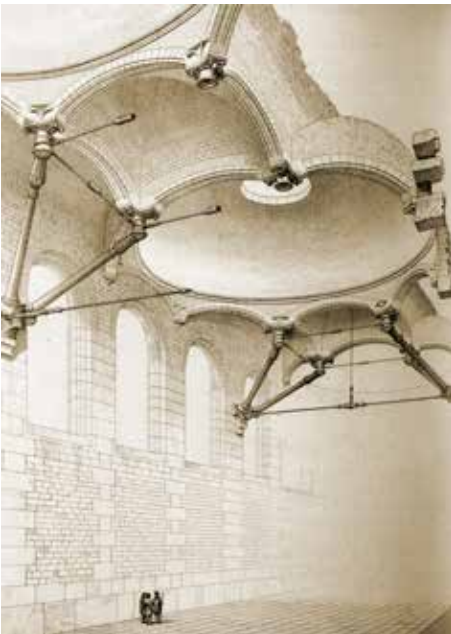


Fig. 1: Estructura del siglo XIX

Gustave Eiffel: Torre Eiffel, París, Francia, 1887-1889

Viollet-le-Duc: Lámina de Entretiens sur l'architecture, 1868

Mucho se ha estudiado sobre la expresividad de la forma a lo largo de la historia, aunque en la estructura, más que en su expresividad, se ha trabajado en sus capacidades mecánicas y tecnológicas. En la actualidad parece quedar patente que esa expresividad estructural consiste en expresar el triunfo de lo que son capaces estas nuevas tecnologías.

“En la obra técnica actual [...] se busca expresar el triunfo de que es capaz la técnica presente con los nuevos materiales de que dispone; se pretende frecuentemente dar sensación de poderío, de fuerza y al mismo tiempo de ligereza, de gracia y de sencillez; se quiere que el puente salve el gran vano con la misma sensación que da el ágil atleta al saltarlo con soltura, sin apariencia alguna de penoso esfuerzo ni de trabajada técnica”

Eduardo Torroja Miret, Razón y ser de los tipos estructurales, CSIC, Tercera Edición, 1957, pág 258.

Es relativamente sencillo encontrar un ejemplo de análisis o visión sintetizada de cómo se expresa la forma, sobre la percepción del espacio arquitectónico (véase Anexo B). Sin embargo, no lo es con la estructura.

Esta descompensación entre el estudio de la expresividad formal y estructural llevó a cuestionarse el por qué las estructuras perdieron ese atractivo que antes caracterizaba a muchas de ellas.

“Desde hacía ya algún tiempo yo me preguntaba qué era lo que daba a las grandes estructuras del siglo XIX (Fig. 1 y 2) su particular atractivo, ya que su audacia no lo explicaba todo. Muchas de las grandes realizaciones estructurales de hoy en día son audaces, pero no poseen ni el aspecto cálido ni la personalidad de sus homólogos del siglo pasado.”

Peter Rice, Un ingeniero imagina, Ed. Cinter, 2009, pág 38.

Tratar esta cuestión de la valoración estética, de una construcción, refiriéndose a la estructura, nos suena hasta raro. La respuesta podría hallarse en la escasa existencia de información sobre de la expresividad estructural, sobre lo que la función estática y resistente, junto con el material, imprime a la estructura.

Esta descompensación de información nos llevó a cuestionarnos diferentes aspectos sobre el lenguaje de las estructuras. Por tanto, tras analizar conceptos, tipologías, materiales y geometrías de las estructuras, nos gustaría terminar realizando una breve reflexión final sobre lo que con esta investigación se trataba de comprender. Seamos conscientes de que no se trata de establecer un conjunto de normas, sino de mostrar, a través de ejemplos, diferentes aspectos o factores que influyen en la percepción de la estructura.

FORMAS DE PERCEPCIÓN DEL LENGUAJE: PSICOLÓGICA Y VISUAL

Como ya se comentó anteriormente, la estructura es capaz de aportar diferentes matices a la arquitectura, llegando incluso a definirla a través de su expresividad, de su lenguaje. Para captar este lenguaje existen dos tipos de percepciones, la psicológica y la visual.

En la percepción psicológica será nuestro pensamiento el que nos guíe. El conocimiento adquirido será el que establezca el criterio. Dentro de todo este complejo mundo, seremos capaces de captar todos aquellos aspectos que podemos considerar como emocionales, tales como la belleza, seguridad o tranquilidad de una estructura.

Por otro lado, en la percepción visual, como todos bien sabemos, será el ojo el encargado de recibir, filtrar y proporcionarnos la información. Al tratarse de uno de nuestros cinco sentidos, seremos capaces de engañarlo para modificar ciertos aspectos a nuestro antojo (Fig. 3).



Fig. 2: El muro descompuesto es un claro ejemplo del engaño visual. Cada uno de los elementos pierde espesor a medida que se aproxima a la línea de fachada para el ojo perciba el espesor de la pieza como esa primera línea

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009

BELLEZA Y SINCERIDAD: ESFUERZOS Y EL MATERIAL

Lo primero que nos viene a la cabeza cuando pensamos en la expresividad de una obra suele ser la belleza. La belleza es la que nos cautiva, pero... ¿qué es la belleza? Platón, en *El Banquete*, la definió la belleza como "el esplendor de la verdad", pero pasar los conceptos espirituales a obras materiales es siempre peligroso.

Si atendemos a la historia, observamos que en ningún estilo, la estructura ha conseguido separarse tan netamente del conjunto de la obra. En la actualidad, por tanto, podríamos considerar esta definición de la belleza como errónea, como una mentira.

La "mentira" comienza al tratar de expresar fórmulas resistentes contrapuestas a las reales, por ejemplo, si revestimos de piedra una viga plana de acero u hormigón armado. Al hacer esto mostramos una expresión resistente aparentemente imposible para la piedra y esto es algo que para el observador, es totalmente antiestético. Este observador del que hablamos, es un observador de calidad, una persona que posee conocimientos de la materia, que observa en vez de mirar. Por tanto, esta tendencia será difícil que cambie mientras el pueblo entero no se incorpore a este movimiento, con su conocimiento, sentimientos y sensibilidad.

También es cierto que no debemos generalizar afirmando que este problema solo aparece en la actualidad, sino que otros antes como el propio Miguel Ángel utilizó esta "mentira" (Fig. 4). Digo que utilizó, porque sabía perfectamente que en la Cúpula de San Pedro, Roma, los sillares serían incapaces de resistir por si solos las tracciones que se generaban, de manera que solucionó el problema atando los sillares con unas llaves de hierro.



Fig. 4: La cúpula expresa un comportamiento estructural lógico para la piedra. Miguel Ángel reforzó la cúpula con llaves de hierro para que resistiesen los sillares, ahí comienza la "mentira"

Miguel Ángel: Cúpula de San Pedro, Roma, Italia, 1558-1561



Fig. 5: Armaduras que asumimos que están ahí, pudiendo intuir su posición

Armadura cualquiera



Fig. 6: La expresión horizontal de la piedra es el arco o la cúpula, no una viga plana

Arco Romano de Cabanes

Aunque Miguel Ángel se favoreció de esta "mentira" no fue tan osado como para generar un comportamiento que con ese material sería imposible, ya que anteriormente se habían resuelto muchísimas cúpulas con sillares de piedra. Su efecto, como se ha descrito en el apartado de los grandes arquitectos, consistía en que al no apreciarse estas llaves al interior y con la aparición de los contrafuertes en la cara exterior, observe desde donde observe, el espectador se podrá imaginar el espesor que crea necesario. Podríamos decir que Miguel Ángel encontró un término medio en esta "mentira", y nadie se atrevería a decir que por ello la cúpula deja de ser bella.

Por lo que parece, hemos llegado a un punto en el que está claro que la estructura debe ser honesta, pero tampoco podemos obviar la existencia de elementos ocultos. Lo importante es, por tanto, que el esfuerzo en sí sea capaz de soportarse con ese material, que sea creíble. El hormigón armado y el hormigón en masa pueden tener la misma apariencia exterior, con la diferencia de que el hormigón armado contiene armaduras en su interior que le hacen resistir más con mucho menos espesor (Fig. 5). Esto no quiere decir que al hormigón armado tengamos que pintarle las armaduras al exterior, sino que debemos asumir que existen y aunque no sabemos la posición exacta en la que se encuentran, cada uno creerá que es posible.

Por todo lo descrito anteriormente, podemos concluir que **la belleza proviene de la sinceridad respecto al esfuerzo resistente en relación con el material empleado**. Si recordamos lo descrito en el anterior apartado, cada material, aparte de tener unas propiedades mecánicas que le hacen más o menos predispuesto a un tipo de esfuerzo u otro, es capaz de expresar una u otra cualidad por su propia naturaleza. Por lo que para hallar la belleza hemos de ser coherentes en la relación del esfuerzo resistente con el material empleado (Fig. 6).

TRANQUILIDAD Y SEGURIDAD: FORMAS RESISTENTES

Tras hablar de la relación entre la belleza, sinceridad y materiales, deberíamos pasar a hablar de la tranquilidad, otro aspecto muy importante de las estructuras. Si el fenómeno resistente proviene del material empleado, las formas resistentes proceden de la propia lógica e incluso de las geometrías que se nos presentan en la naturaleza. Estas formas resistentes son las que se emplean para que la estructura además de ser bella, transmita esa sensación de tranquilidad que solo es capaz de alcanzar gracias al sentimiento de seguridad. **La sensación de seguridad proviene de la geometría que adopte el elemento resistente.**



Fig. 7: Las columnas se ramifican como si de un árbol se tratase

Antoni Gaudí: La Sagrada Família, Barcelona, España, 1882-...

"Todo sale del gran libro de la naturaleza (Fig. 7); las obras de los hombres son un libro ya impreso".

Antoni Gaudí.

La naturaleza es sabia y todos hemos aprendido mucho de ella, algunos conocimientos los hemos adquirido hasta sin querer, y en los aspectos formales, que aquí se tratan, tendrá una gran influencia. Por ejemplo, una viga plana siempre nos transmitirá mas inseguridad si la curvatura que en ella se produce es cóncava a si es convexa, ya que esta última nos da la sensación de que se va a romper.

Por otro lado, si observamos las ramas de un árbol todas suelen formar una diagonal hacia arriba, ya que ésta favorece su estabilidad, o así lo entendemos; por lo que, un voladizo, al igual que la rama, debe tener cierta inclinación ascendente para transmitirnos esa tranquilidad y seguridad, en el caso contrario nos transmitirá una sensación de cansino agotamiento e intranquilidad (Fig. 8). El hecho es, que **las líneas que corresponden con la deformación por el efecto de la carga, nos generan inseguridad.**

Podemos considerar, por tanto, que estas formas resistentes no provienen del pensamiento del ser humano o de lo que nosotros consideramos como originalidad, ya que la originalidad no es siempre lo nuevo y diferente. De hecho, Gaudí la definió como "volver al origen"

Antoni Gaudí fue el máximo exponente de esta aplicación de las formas de naturaleza en la arquitectura. Formas que además de resistentes, al provenir de la naturaleza todos nos encontramos más familiarizados con ellas.

Por tanto, si la originalidad es volver al origen y la naturaleza nos proporciona las geometrías, lo más sensato sería optar por la simplicidad (Fig. 9). Se trata, pues, de crear una estructura sin necesidad de florituras, la simplicidad es una virtud, y el alcanzar el éxito con pocos elementos en la mano, requiere de un mayor esfuerzo y de un sentido artístico mucho más agudo. Cada elemento debe ser esencial, no ha de sobrar ni faltar ninguno.

Con todo esto, quería decir que no es más original ni más expresiva una estructura en la que todos los elementos están retorcidos y condicionados por la geometría del edificio (Fig. 10). El encanto de lo pintoresco proviene de la heterogeneidad desordenada, sin plan previo, a las que corresponderían este tipo de estructuras.

Para alcanzar la simplicidad y evadir lo pintoresco se opta, en muchos casos, por establecer un ritmo u orden en la estructura. El ritmo será la herramienta que nos ayude a conseguir la elegante sencillez y razonada justificación funcional que se le pretende dar a las estructuras, evitando lo pintoresco.



Fig. 8: Al igual que en las ramas de un árbol, el voladizo con inclinación ascendente, siempre expresará más fuerza, tranquilidad y seguridad que el que queda plano

Miralles Tagliabue - EMBT: Sede de Gas Natural, Barcelona, España, 1999-2008

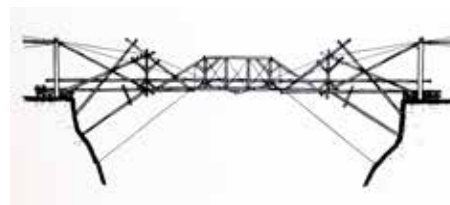


Fig. 9: El exceso estructural nos genera sensación de inseguridad por acumulación

Puente de Ahwillgate



Fig. 10: La estructura se retuerce para adaptarse a la geometría del edificio

Frank O. Gehry: Lou Ruvo Center for Brain Health, Las Vegas, EEUU, 2007-2010

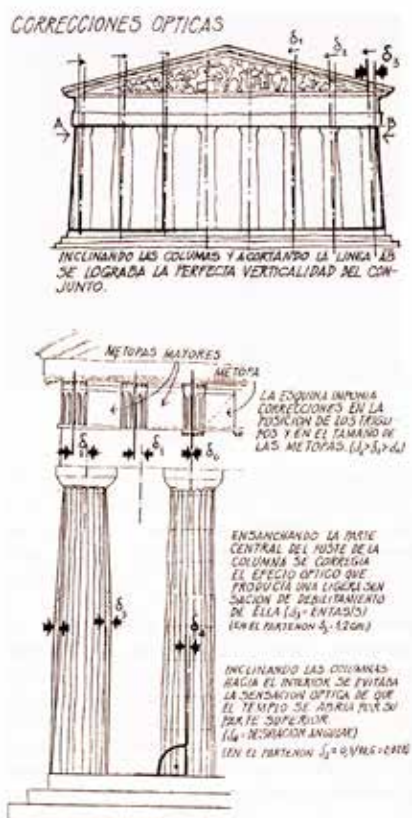


Fig. 11: Esquema resumen de las correcciones visuales de los griegos

Esquema de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria



Fig. 12 y 13: Con las vigas de gran canto, en la parte superior de la cubierta, se libera el espacio interior sin que el esfuerzo se aprecie, pareciendo que lo que en realidad sustenta el edificio son los perfiles de fachada

Mies van der Rohe: Crown Hall, Chicago, EEUU, 1950-1956

PERCEPCIÓN VISUAL:

Para terminar, no podemos olvidar que todo aquello de los que hemos estado hablando, se percibe a través de la vista, que es el sentido más fácil de engañar de los cinco que poseemos. Hablaremos ahora de la percepción, de cómo se perciben las estructuras y de los factores que juegan un papel importante en ella.

"La emoción estética proviene de la sensación cierta o errónea, de la vista, sin que el observador pueda evitarlo. [...] La ligereza aparente de una viga puede aumentarse mediante un perfil que dé líneas de sombras longitudinales."

Eduardo Torroja Miret, *Razón y ser de los tipos estructurales*, CSIC, Tercera Edición, 1957, pág 259.

Un claro ejemplo de este tipo de modificaciones o engaños visuales, son los griegos (Fig. 13). Los griegos, maestros en este género de sensibilidades ópticas, corregían y ponderaban sus intercolumnios para mejorar la impresión estética de su ritmo de columnas. En este caso los griegos jugaron con la vista, pero existe otro tipo de percepción que es psicológica.

Las geometrías resistentes que se han descrito anteriormente forman parte de estas percepciones psicológicas. En cuanto a los factores visuales, podemos considerar la luz, la sombra, los espesores, el color, la dirección de las líneas, etc. El número de estos factores puede ser casi infinito así que nombraré los más frecuentes para ejemplificar y exponer lo que podemos conseguir con ellos.

Luz y sombra mantienen una estrecha relación, ya que sin luz no hay sombra. Anteriormente, en la cita de Eduardo Torroja se habla de que las líneas de sombras longitudinales dotan de ligereza a la viga, en este caso el efecto funciona por el efecto que genera la superposición de líneas, por ejemplo, si en un edificio predominan sus líneas verticales nos dará la sensación de que es más esbelto, pero si predominan las horizontales pasará lo contrario.

La luz es capaz, por sí sola, de dotar a un elemento de ligereza. La luz atravesando una viga aligeraría considerablemente su aspecto visual y, proporcionándole ligereza.

La ligereza, al igual que con la luz y la sombra, es una sensación alterable jugando con los espesores de vigas o forjados. El IIT Crown Hall (1950-1956) en Chicago, de Mies van der Rohe, es el ejemplo perfecto de cómo jugar con el **espesor** de los forjados y posición de las vigas para que el edificio de la sensación de ser más ligero de lo que en realidad es (Fig. 12 y 13). Este efecto lo consigue gracias a la colocación en cubierta de las vigas de gran canto, por lo que en vez de apoyar el forjado en ellas, en realidad lo cuelga.

Sabido es por todos también, y no solo me refiero a arquitectos o ingenieros, que el **color** puede jugar aquí un papel importante y como comúnmente se dice: "el negro estiliza y el blanco engorda".

LÓGICA, SENTIDO COMÚN Y SINCERIDAD:

Se trata, pues, de **fundir la forma artística con la resistente**. La mejor regla, que se puede dar para conseguir una estructura realmente expresiva, será que el autor además de poseer una aguda y serena sensibilidad hacia el tema, sea capaz de a través de su imaginación y conocimientos de comprender todas y cada una de las variables anteriormente comentadas pero, sobre todo, actuando con **lógica, sentido común y sinceridad hacia el material y las formas resistentes** (Fig. 15 y 16).

El problema es que, como ya se comentó anteriormente, no es el único aspecto que hemos de tener en cuenta. Otros muchos aspectos han de conjugarse en nuestro pensamiento. Tratar de juntar todos en una tesina sería imposible, así que centrarse en uno fue la mejor opción. Esto me lleva a que tras toda esta investigación, sólo pueda concluir la tesina afirmando aquello mismo que otros muchos arquitectos han afirmado en su momento, que **toda aquella arquitectura que no requiere de un arduo proceso de reflexión, en el que se estudia hasta la saciedad cada pequeño aspecto, no merece la pena**.



Fig. 15 y 16: Lógica, sentido común, sinceridad y belleza

Francisco Mangado: Museo de Arqueología de Álava, Vitoria, España, 2000-2009

Francisco Mangado: Auditorio y Centro Municipal de Exposiciones, Ávila, España, 2002-2010

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

- Fig. 1: Fotografía de Anderson Gonçalves
- Fig. 2: De *Entretiens sur l'architecture*, París
- Fig. 3: Fotografía de Jonathan Chanca
- Fig. 4: Fotografía de Igor Zalbidea
- Fig. 5: Fotografía de usuario n_desc de Flickr
- Fig. 6: Fotografía de Andrés Lozano
- Fig. 7: Fotografía de John Kennan
- Fig. 8: Fotografía de usuario Javier1949 de Flickr
- Fig. 9: Eduardo Torroja Miret, *Razón y ser de los tipos estructurales*, CSIC, Tercera Edición, 1957, pág 225.
- Fig. 10: Fotografía de Matthew Carbone
- Fig. 11: Esquema de Francisco Ortega Andradel
- Fig. 13: Fotografía de usuario Archimaps de Tumblr
- Fig. 14: Fotografía de Pete Sieger
- Fig. 15: Fotografía de Fotografía de www.viajerosexpress.com, publicada por Pepa García
- Fig. 16: Fotografía de Miguel De Guzmán

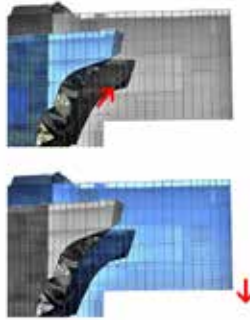
PERCEPCIÓN PSICOLÓGICA

BELLEZA Y SINCERIDAD



La geometría ha de ser coherente con la naturaleza del material.

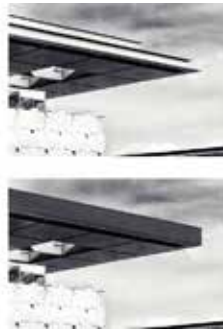
SEGURIDAD Y TRANQUILIDAD



La geometría no ha de coincidir con la deformación. Por otro lado, ha de existir un orden, no deben ni faltar elementos ni sobrar.

PERCEPCIÓN VISUAL

ESPESOR



El espesor se modifica teniendo en cuenta el punto de vista. De manera, no percibimos el espesor real.

LÍNEAS



Cuando predominan las líneas verticales, el proyecto parece más esbelto.

COLOR

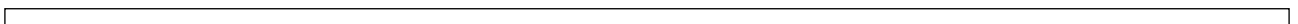


Los colores oscuros proporcionan esbeltez y favorecen a la desmaterialización.

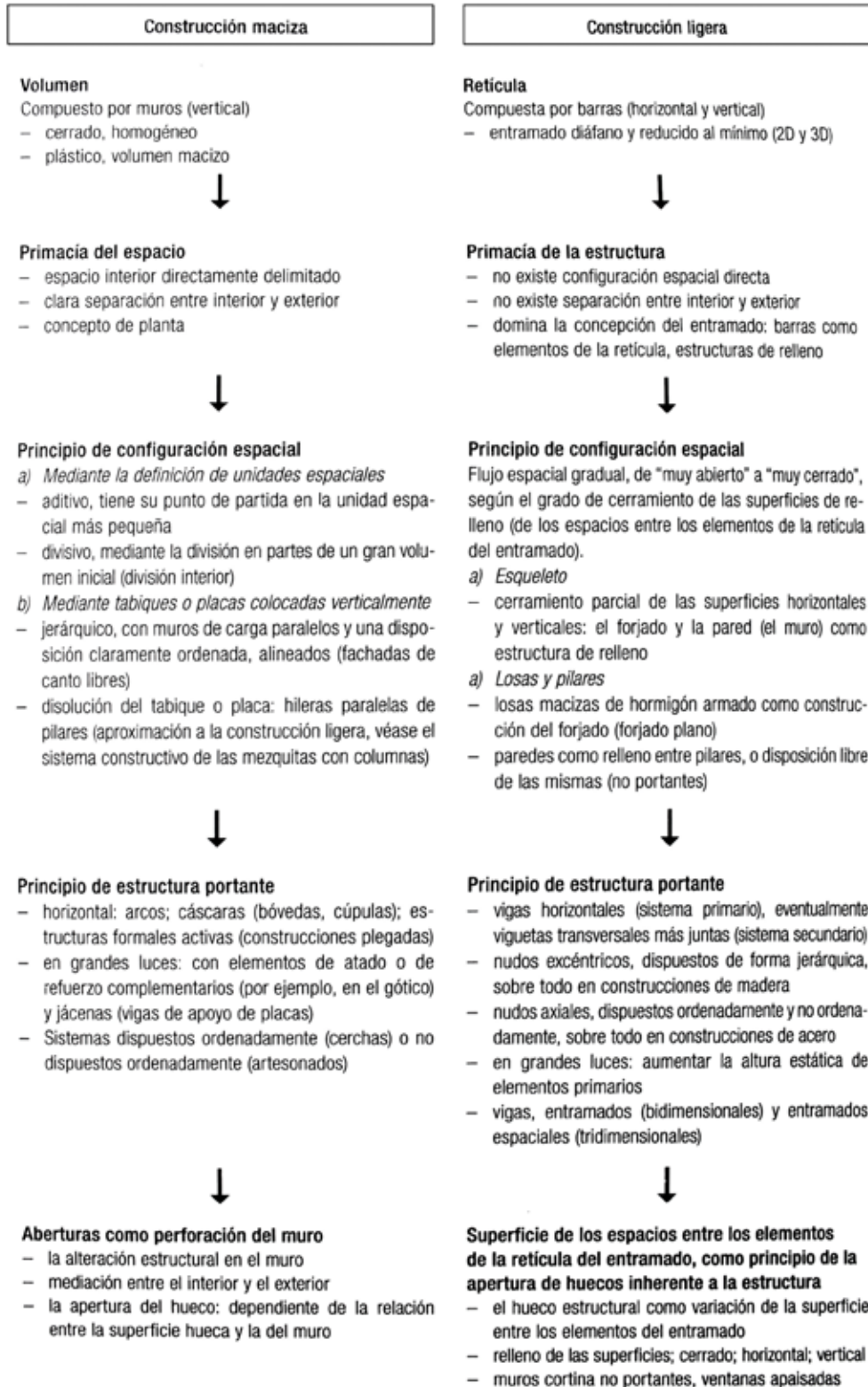
MURO DESCOMPUESTO



ANEXOS



Anexo A: SOBRE LA RELACIÓN ENTRE ESTRUCTURA Y ESPACIO. CONSTRUCCIÓN MACIZA Y CONSTRUCCIÓN LIGERA



* Andrea Deplazes, Construir la arquitectura del material en bruto al edificio, Editorial Gustavo Gili, 2010, pág 16

Anexo B: SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO



* Andrea Deplazes, Construir la arquitectura del material en bruto al edificio, Editorial Gustavo Gili, 2010, pág 20

Anexo C: MUSEO DE ARQUEOLOGÍA DE ÁLAVA. PLANOS Y FOTOGRAFÍAS



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6



Fig. 8



Fig. 9



Fig. 7



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15



Fig. 16



Fig. 17



Fig. 18



Fig. 19



Fig. 20



Fig. 22



Fig. 23



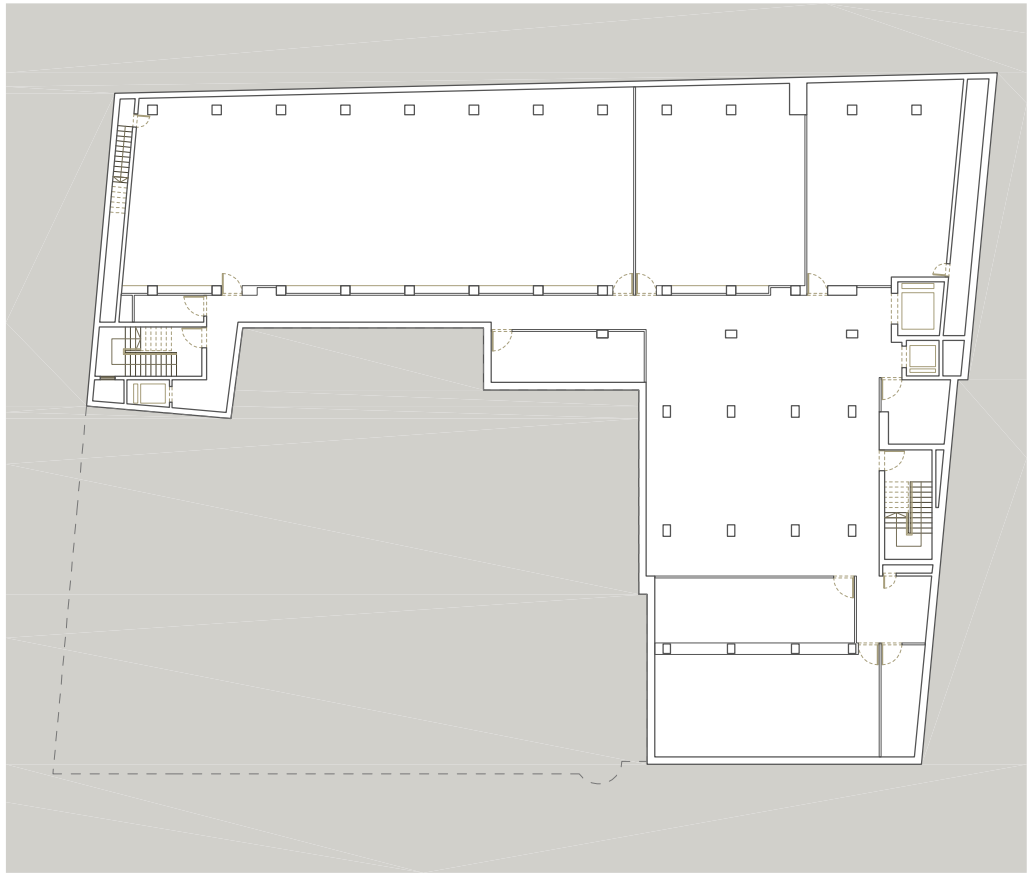
Fig. 21



Fig. 24

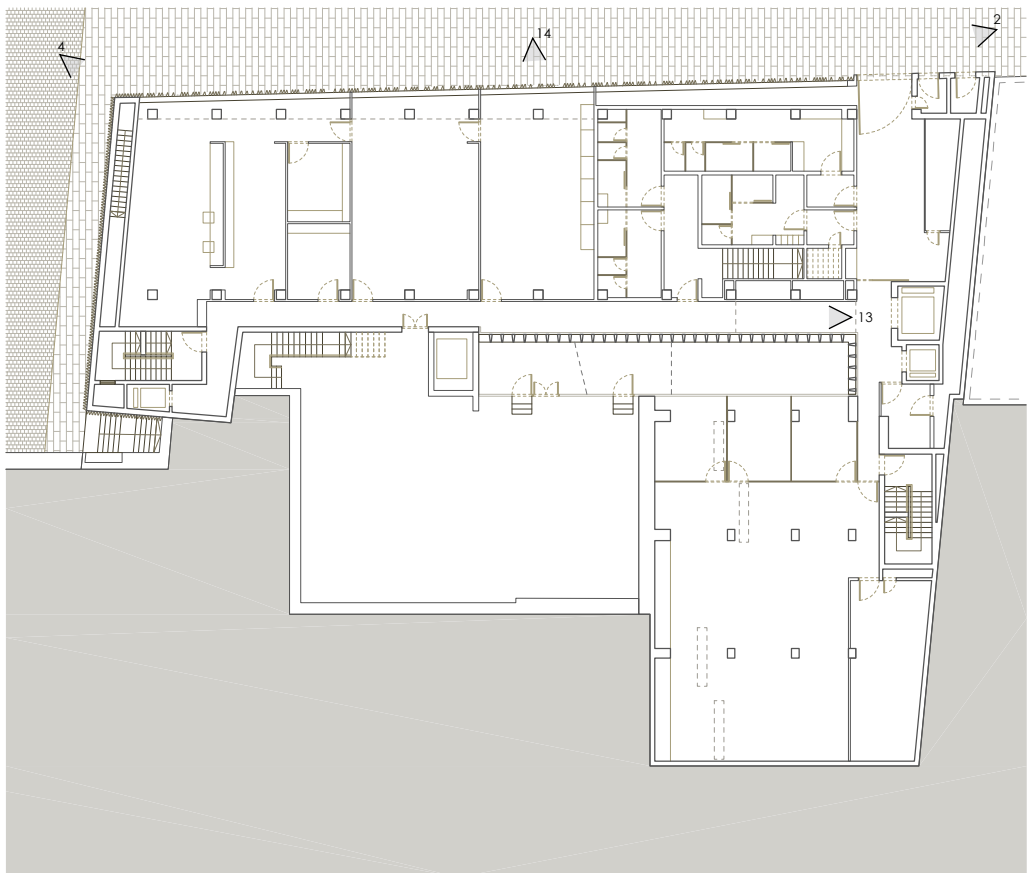
PLANTA SÓTANO 2

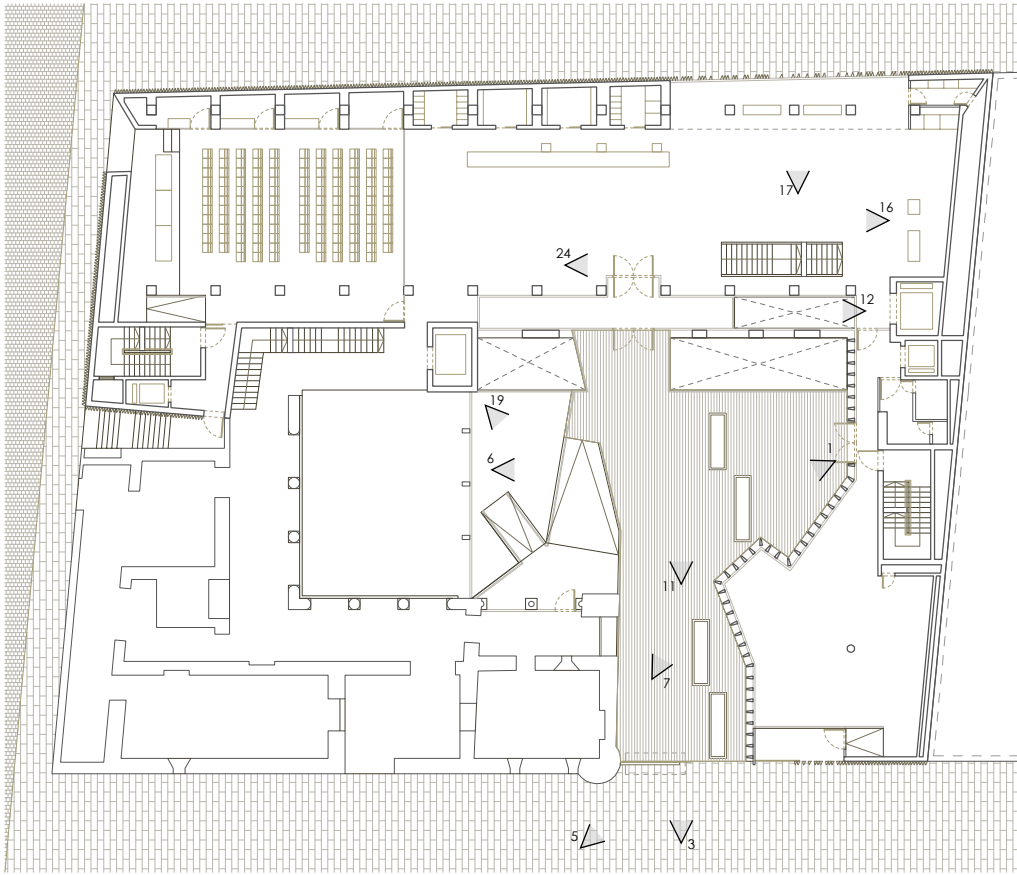
Cota -6.72



PLANTA SÓTANO 1

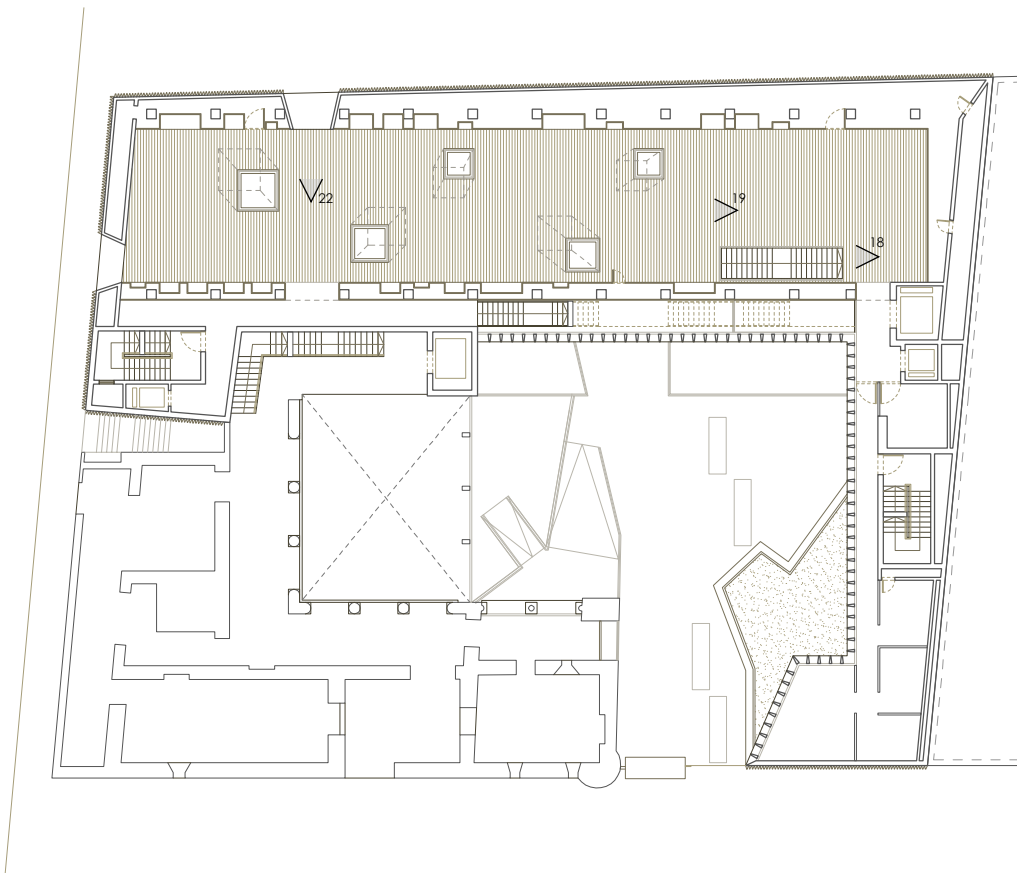
Cota -3.36





PLANTA BAJA

Cota +0.00

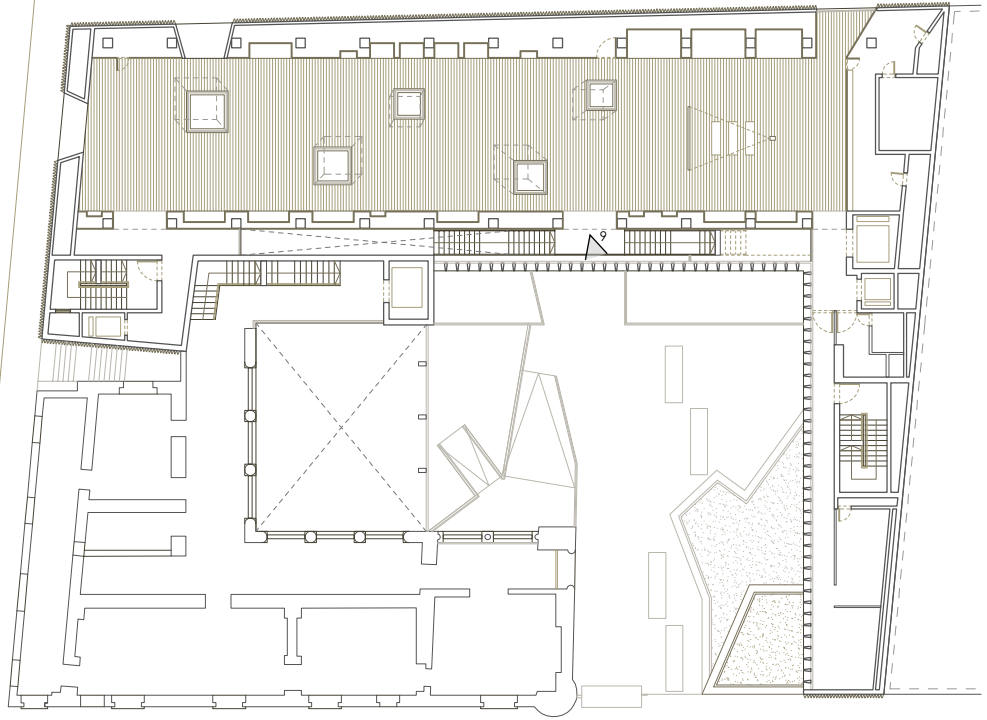


PLANTA PRIMERA

Cota +3.60

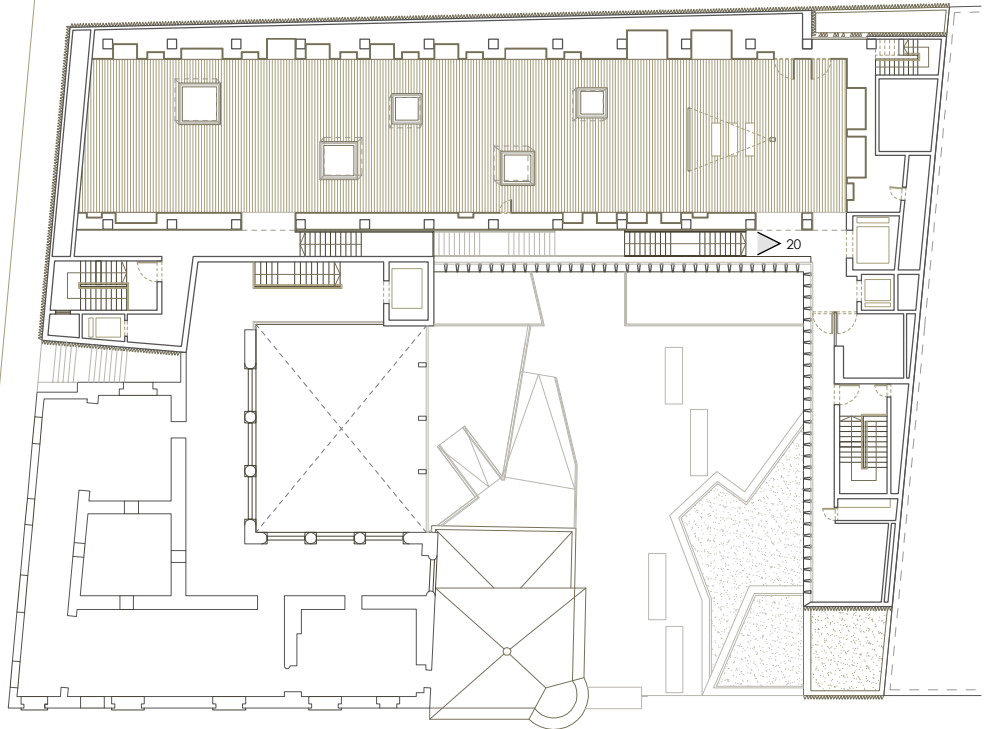
PLANTA SEGUNDA

Cota +7.20



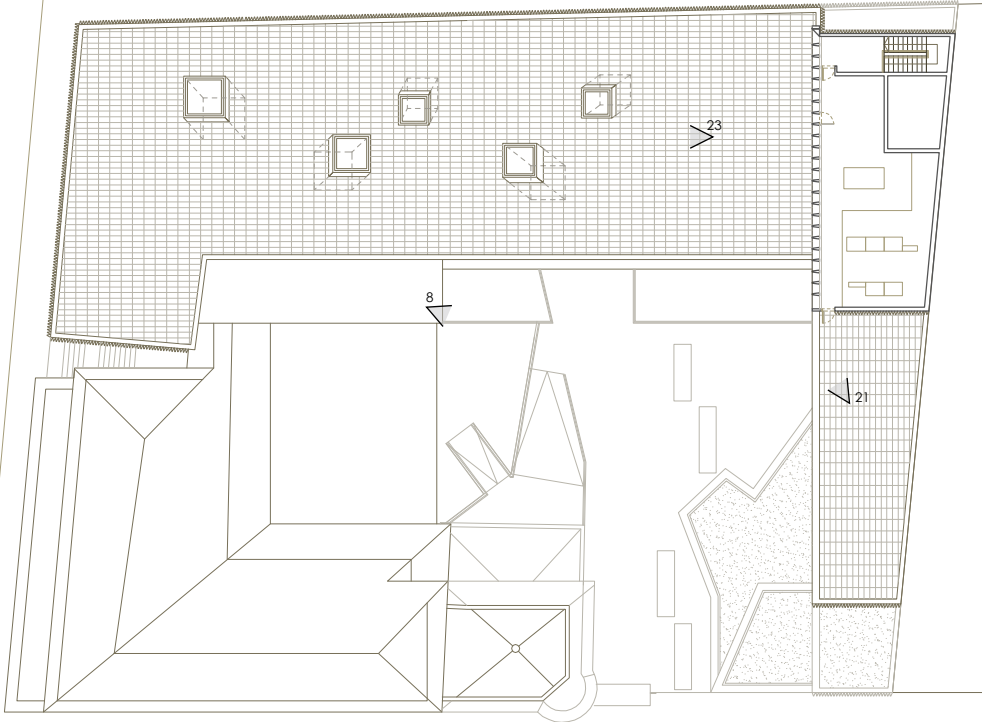
PLANTA TERCERA

Cota +10.80



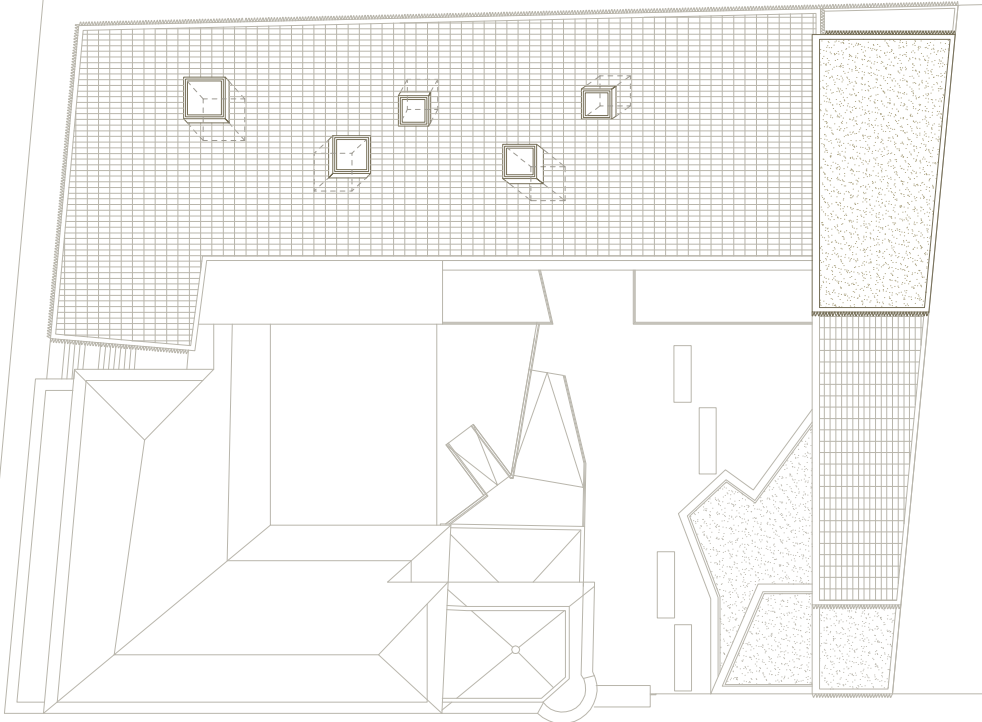
PLANTA CUARTA

Cota +14.60



PLANTA CUBIERTAS

Cota +18.50



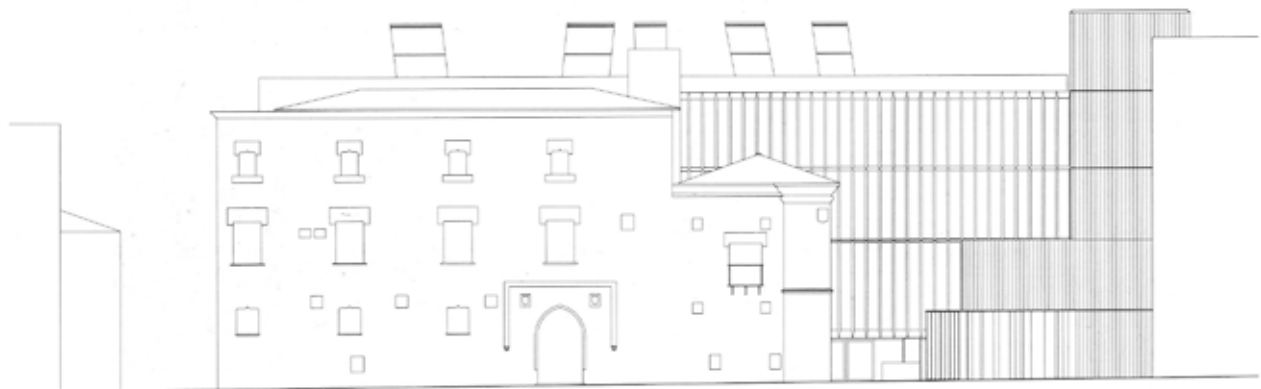
ALZADO PRINCIPAL

Alzado Norte



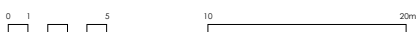
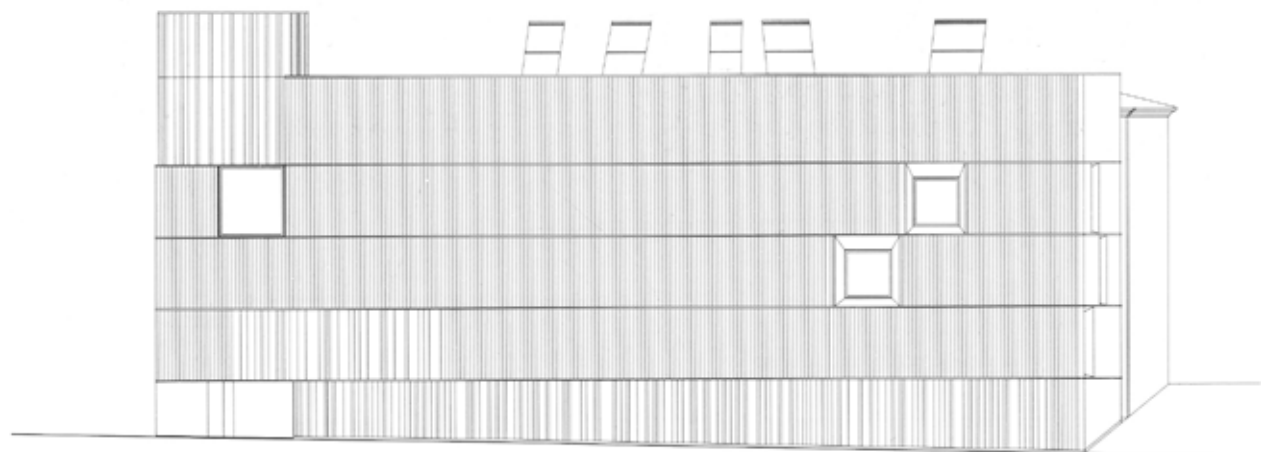
ALZADO LATERAL

Alzado Oeste

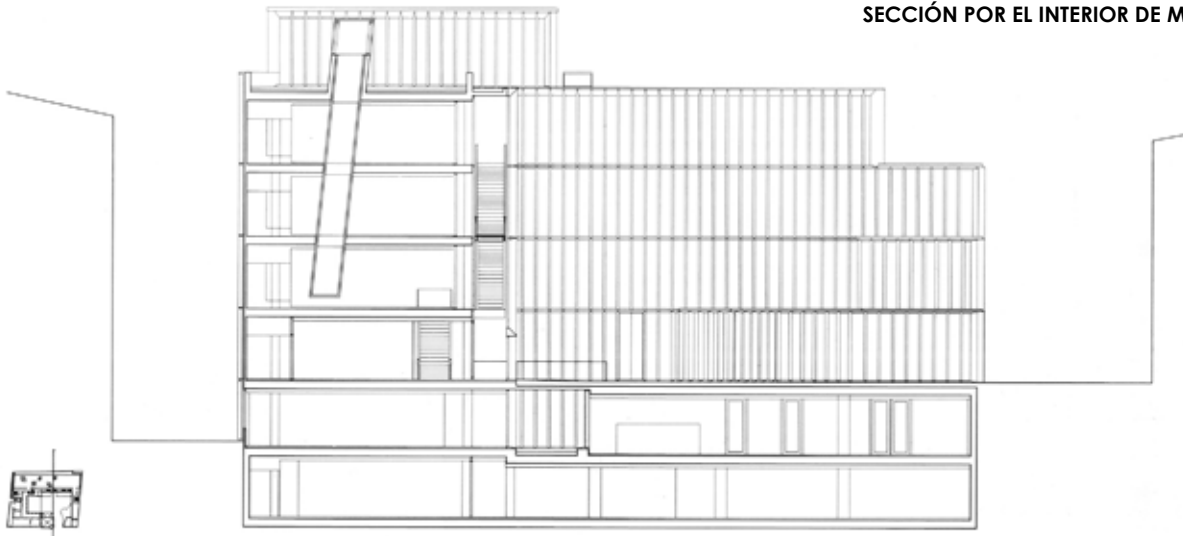


ALZADO A CALLE CUCHILLERÍA

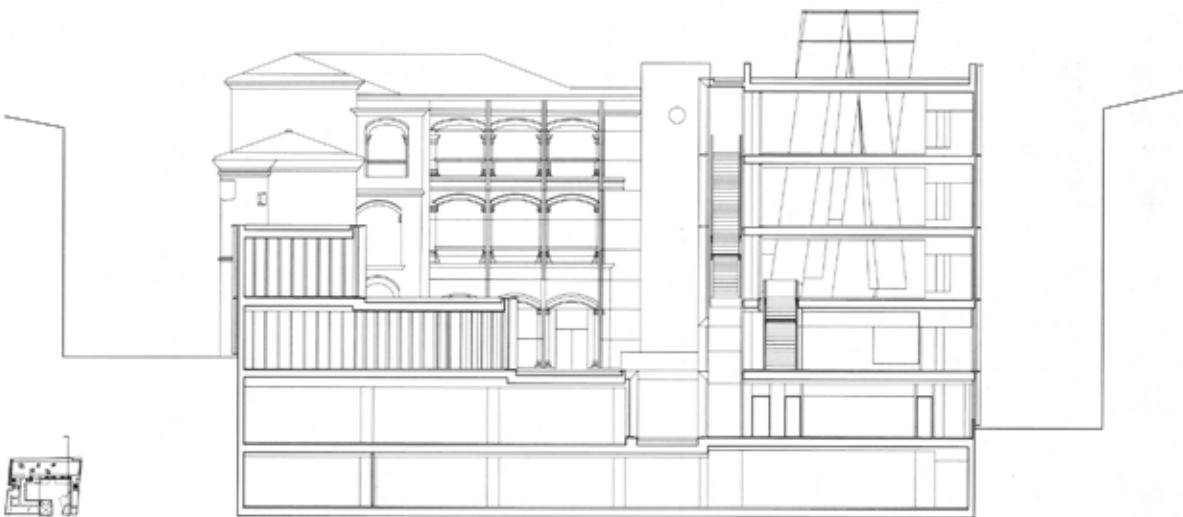
Alzado Este



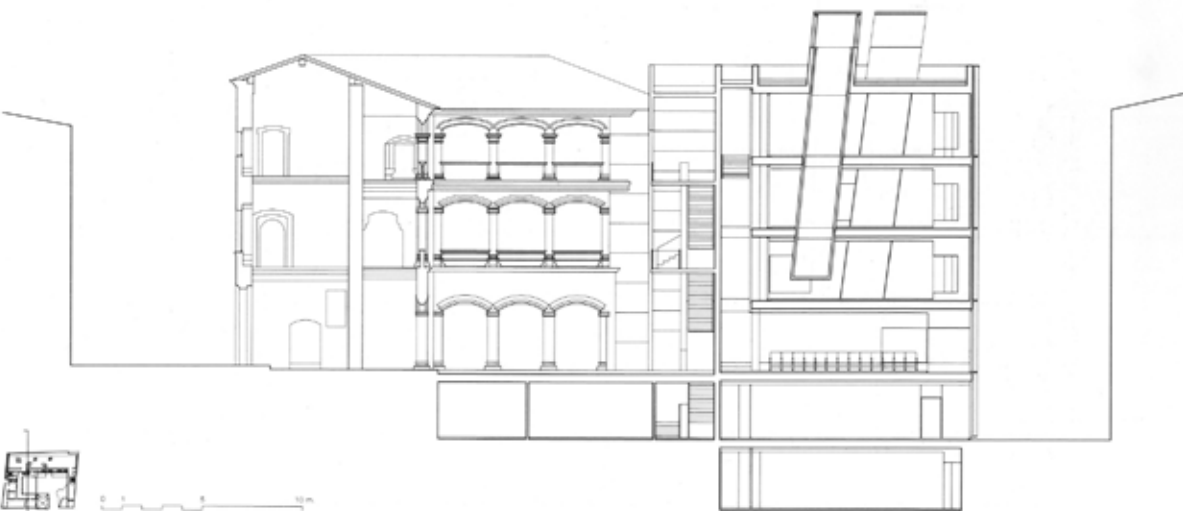
SECCIÓN POR EL INTERIOR DE MANZANA



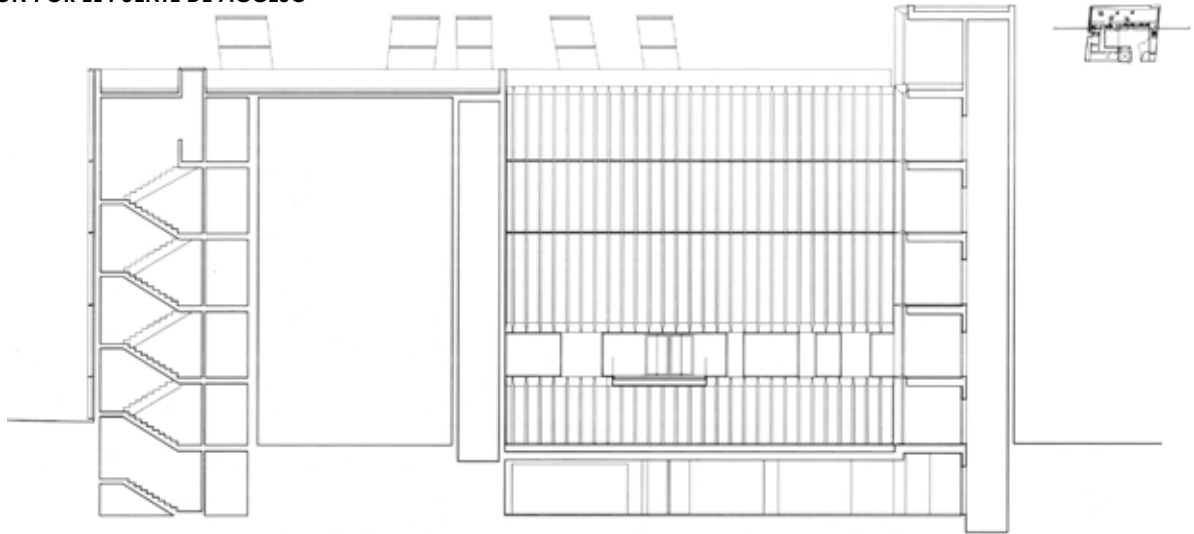
SECCIÓN POR EL PATIO DEL SOTANO 1



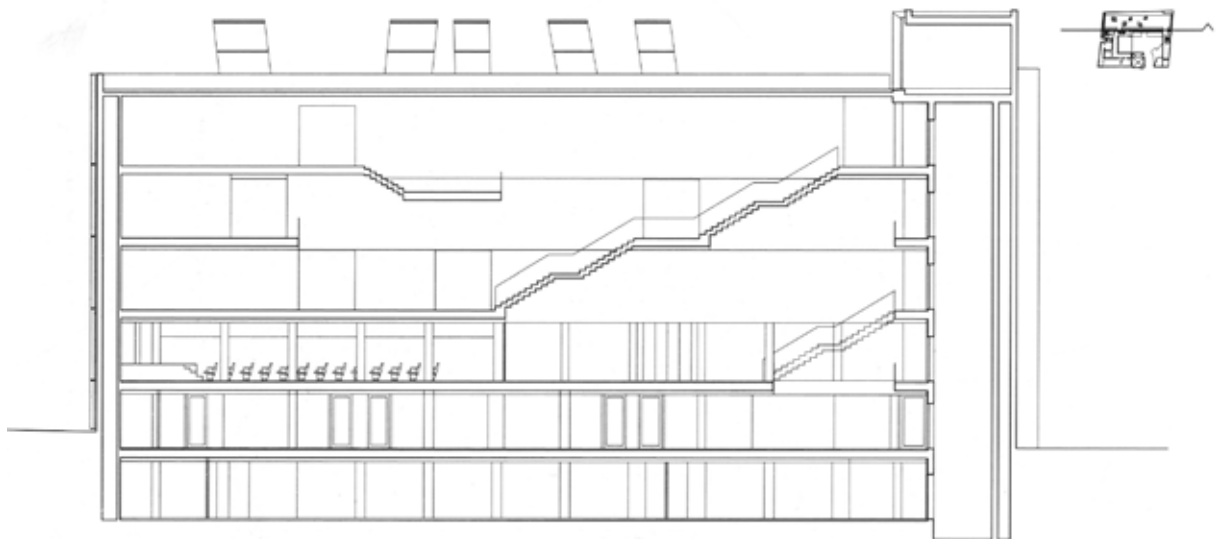
SECCIÓN POR EL SALÓN DE ACTOS



SECCIÓN POR EL PUENTE DE ACCESO



SECCIÓN POR LA ESCALERA PRINCIPAL



SECCIÓN POR LAS SALAS DE EXPOSICIONES

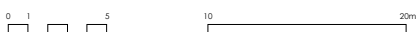
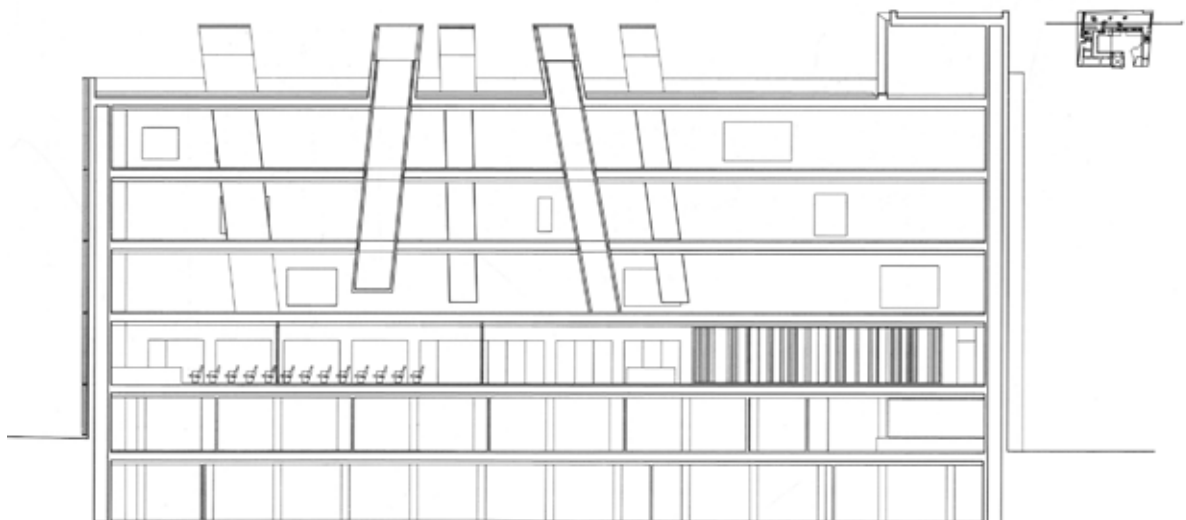




Fig. 25



Fig. 26



Fig. 27



Fig. 28



Fig. 29



Fig. 30

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

- Fig. 1: Fotografía de Quintas
Fig. 2: Fotografía de Roland Halbe
Fig. 3: Fotografía de Jonathan Chanca
Fig. 4: Fotografía de la oficina de Mangado
Fig. 5: Fotografía de Pedro Pegenaute
Fig. 6: Fotografía de Roland Halbe
Fig. 7: Fotografía de la oficina de Mangado
Fig. 8: Fotografía de Pedro Pegenaute
Fig. 9: Fotografía de Roland Halbe
Fig. 10: Fotografía de Oscar Lafuente
Fig. 11-13: Fotografía de Pedro Pegenaute
Fig. 14: Fotografía de Carmen Valtierra de Luis
Fig. 15: Fotografía de Roland Halbe
Fig. 16: Fotografía de la oficina de Mangado
Fig. 17: Fotografía de Pedro Pegenaute
Fig. 18 y 19: Fotografía de la oficina de Mangado
Fig. 20 y 21: Fotografía de Roland Halbe
Fig. 22: Fotografía de Pedro Pegenaute
Fig. 23: Fotografía de Roland Halbe
Fig. 24: Fotografía de Pedro Pegenaute
Fig. 25: Fotografía de la oficina de Mangado
Fig. 26-30: Fotografía de Jonathan Chanca

CRÉDITOS DE LOS DIBUJOS:

Plantas: Redibujadas por José Hernández Navarro

Alzados: TC Cuadernos, nº 72/73, Francisco Mangado, Arquitectura 1998-2006, pag. 278

Secciones: TC Cuadernos, nº 72/73, Francisco Mangado, Arquitectura 1998-2006, pag. 280-281

Anexo D: CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS. PLANOS Y FOTOGRAFÍAS



Fig. 1



Fig. 4



Fig. 2



Fig. 5



Fig. 3



Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9



Fig. 11



Fig. 10



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 16



Fig. 14



Fig. 17



Fig. 15



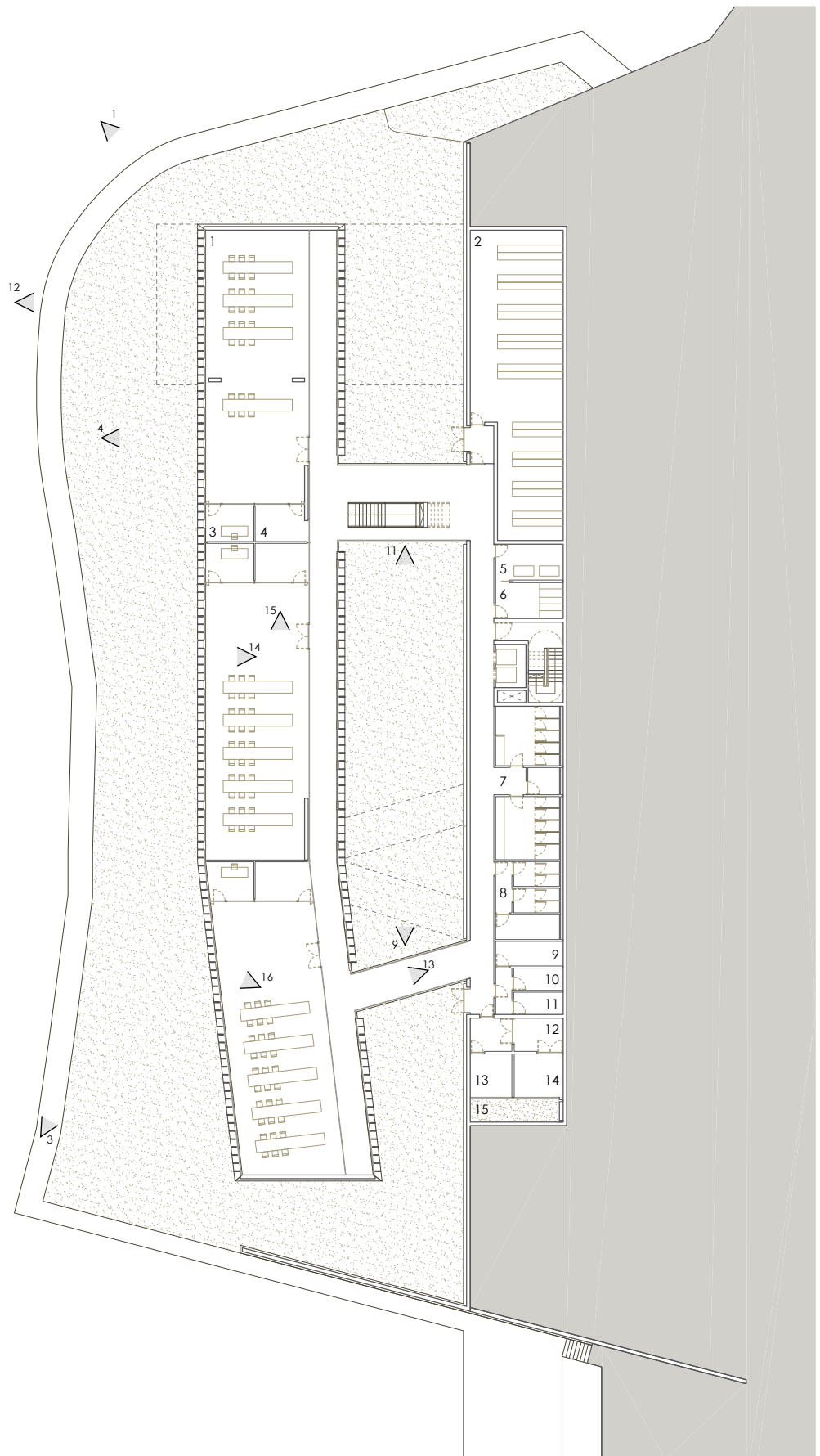
Fig. 18



Fig. 19

PLANTA SEMISÓTANO

Cota -3.50

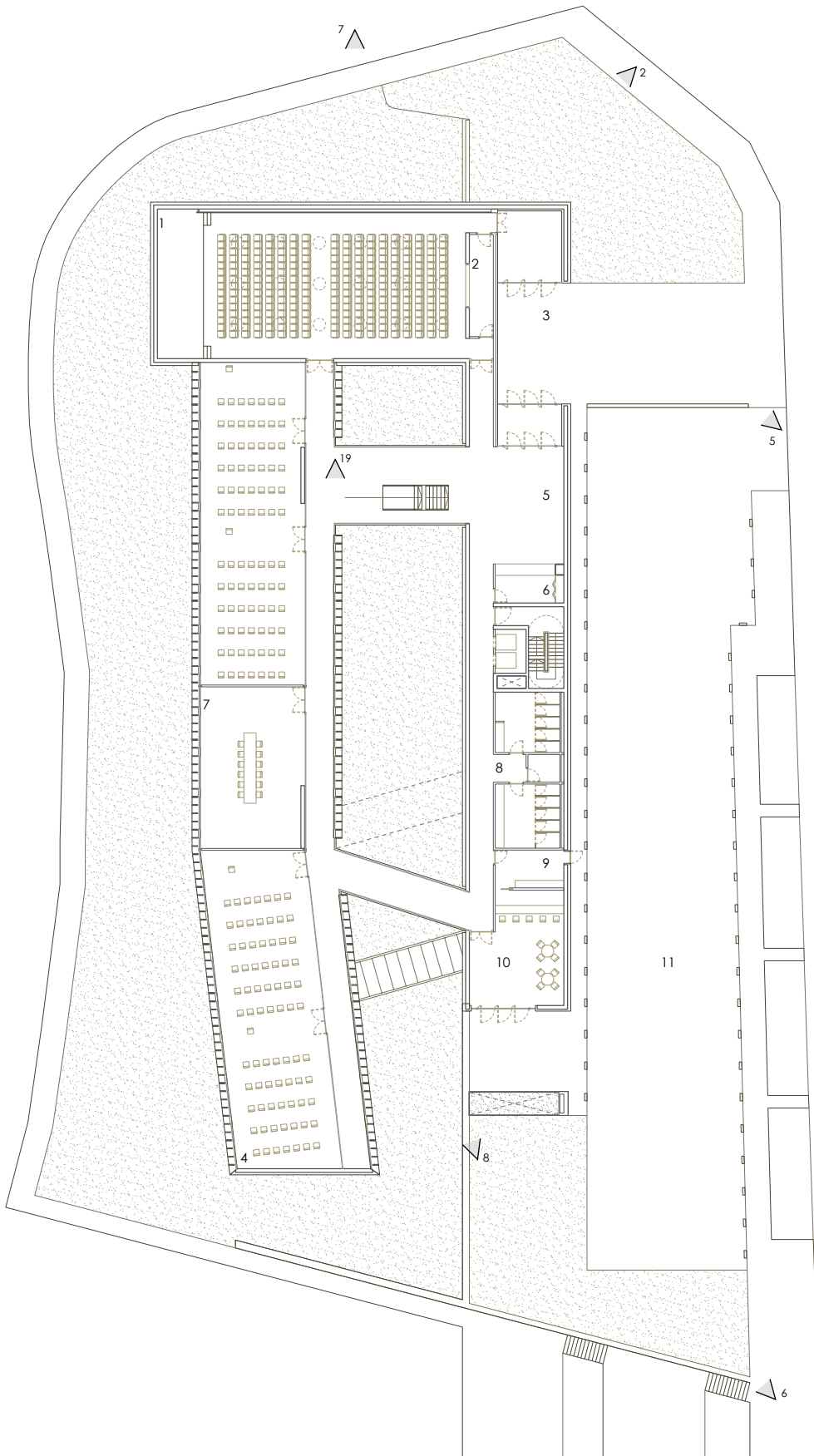


- 1. Taller
- 2. Almacén-archivo de máquinas
- 3. Despacho
- 4. Almacén
- 5. Reprografía
- 6. Archivo
- 7. Aseos
- 8. Vestuarios
- 9. Contadores
- 10. Cuarto de basuras
- 11. Cuarto de limpieza
- 12. Cuarto de bombas
- 13. Grupo electrógeno
- 14. Cuarto de calderas
- 15. Patio interior



PLANTA BAJA

Cota +0.00



- 1. Salón de actos
- 2. Cabina de proyección
- 3. Acceso
- 4. Aulas
- 5. Vestíbulo
- 6. Conserjería
- 7. Sala de reuniones
- 8. Aseos
- 9. Almacén de cafetería
- 10. Cafetería
- 11. Aparcamiento

PLANTA PRIMERA

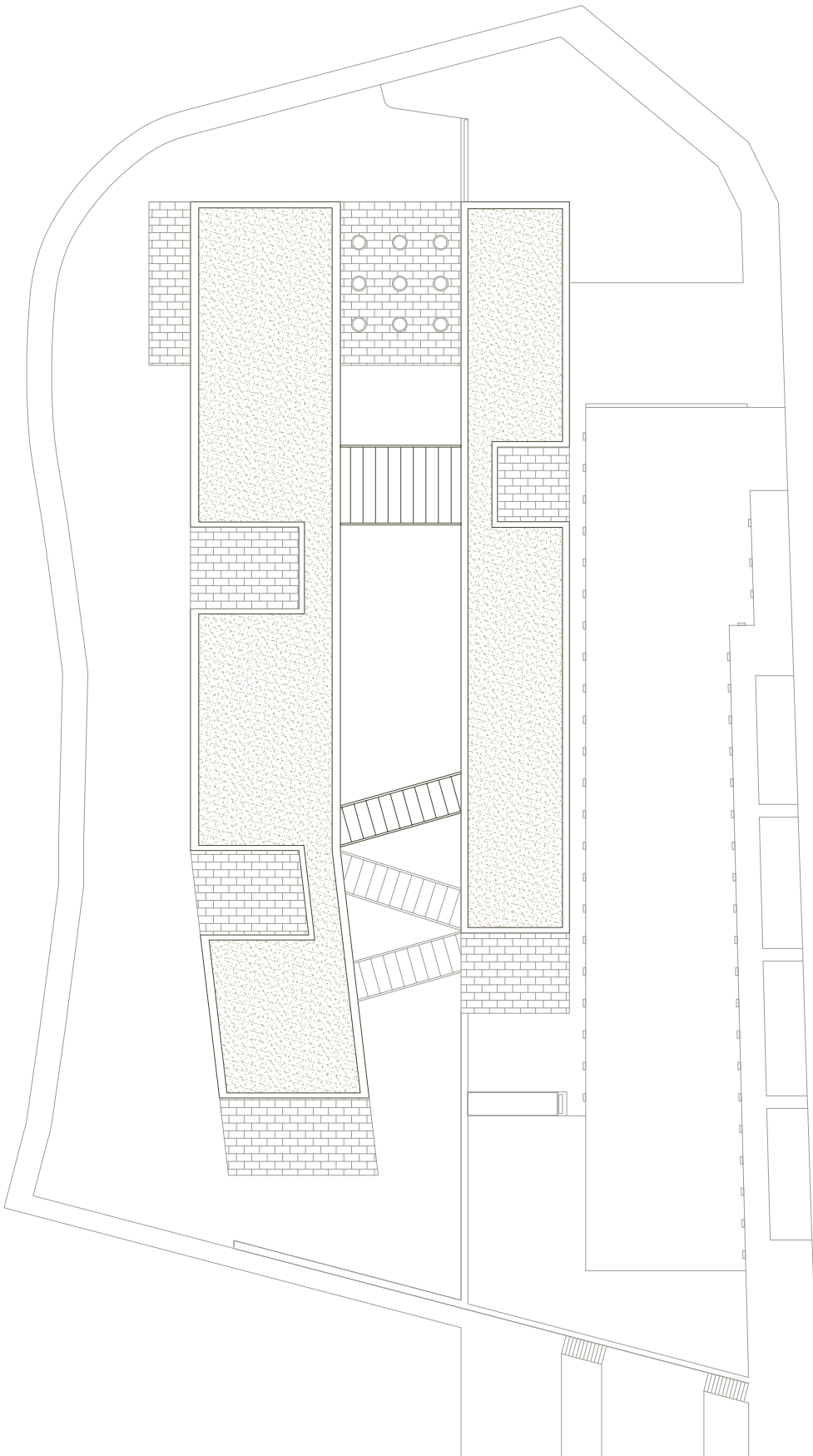
Cota +3.85



- 1. Sala de profesores
- 2. Biblioteca
- 3. Sala de videoconferencias
- 4. Laboratorio de idiomas
- 5. Aulas
- 6. Sala CPD
- 7. Administración

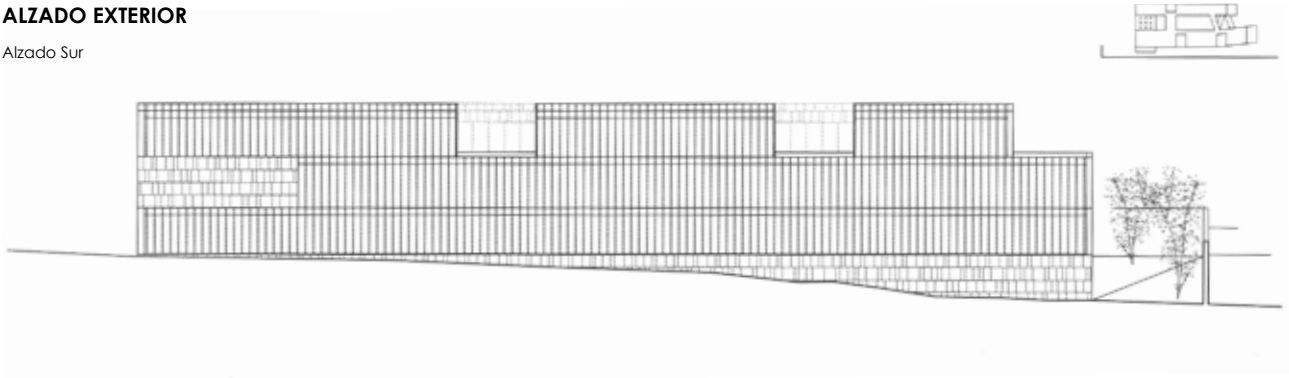


PLANTA CUBIERTAS



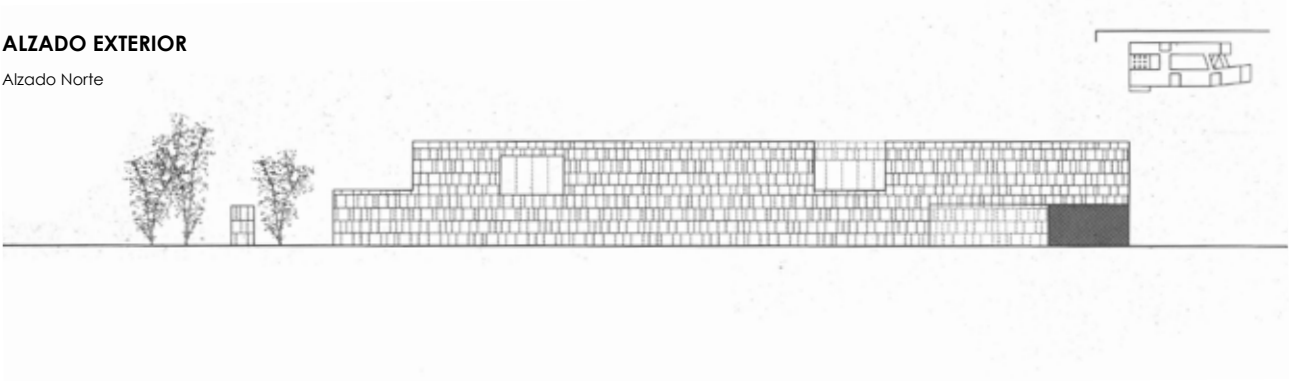
ALZADO EXTERIOR

Alzado Sur



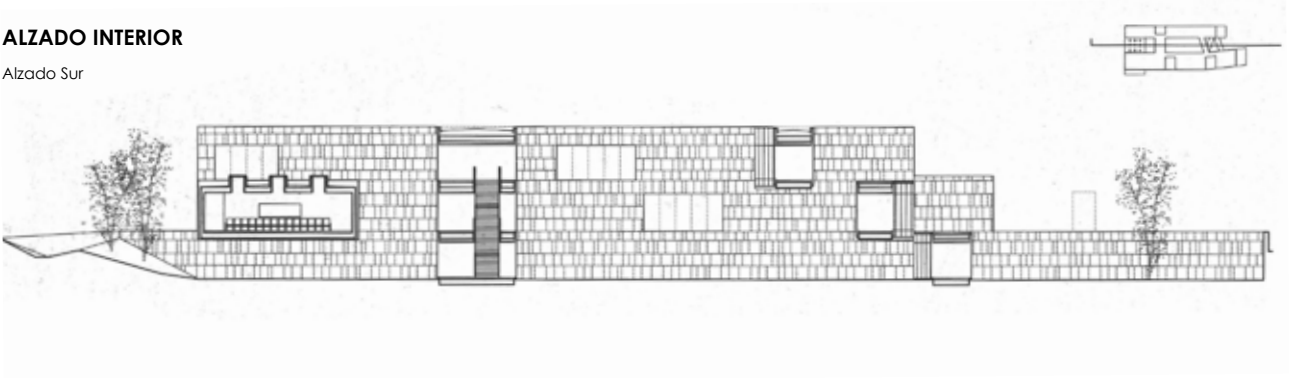
ALZADO EXTERIOR

Alzado Norte



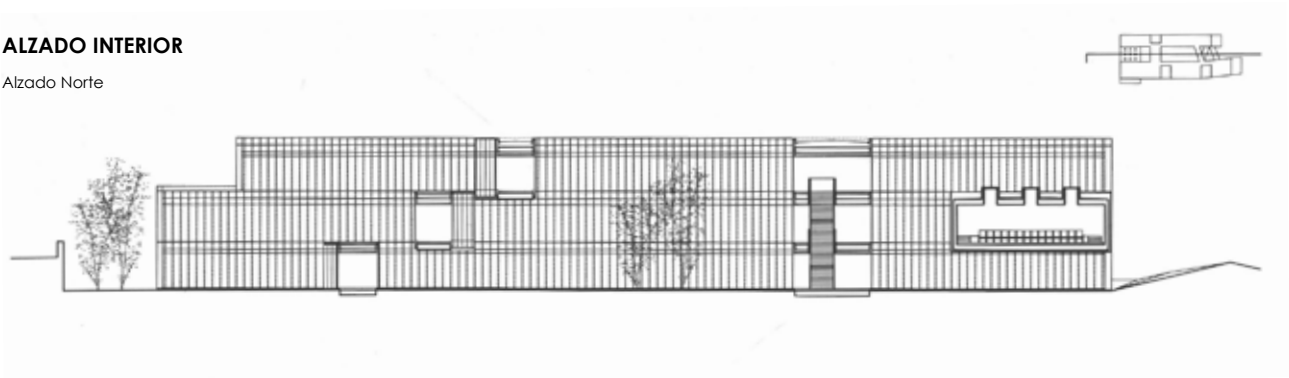
ALZADO INTERIOR

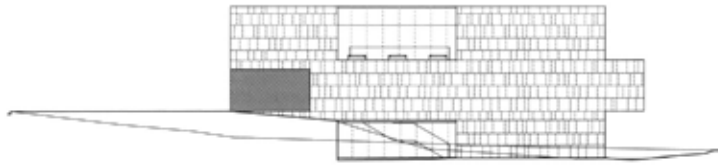
Alzado Sur



ALZADO INTERIOR

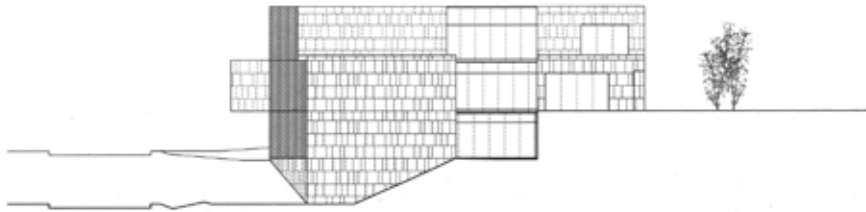
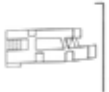
Alzado Norte





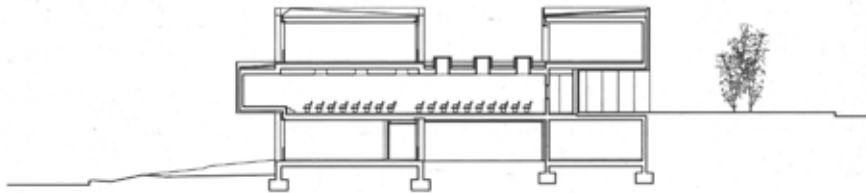
ALZADO EXTERIOR

Alzado Oeste



ALZADO EXTERIOR

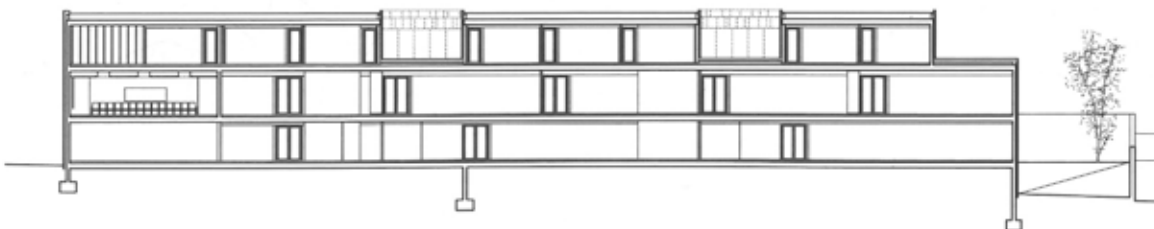
Alzado Este



SECCIÓN POR EL SALÓN DE ACTOS



SECCIÓN POR EL PATIO



SECCIÓN POR EL VOLUMEN DOCENTE



Fig. 20



Fig. 24



Fig. 21



Fig. 25



Fig. 22



Fig. 26



Fig. 23

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS:

Fig. 1-11: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 12: Fotografía de Miguel Picado Filgueira

Fig. 13-19: Fotografía de Roland Halbe

Fig. 20: Fotografía de Xurxo Lobato

Fig. 21: Fotografía de Gonzalo Alonso

Fig. 22: Fotografía de Janet González

Fig. 23-26: Fotografía de Xurxo Lobato

Fig. 26-30: Fotografía de Jonathan Chanca

CRÉDITOS DE LOS DIBUJOS:

Plantas: Redibujadas por José Hernández Navarro

Alzados: TC Cuadernos, nº 72/73, Francisco Mangado, Arquitectura 1998-2006, pag. 376 y 379

Secciones: TC Cuadernos, nº 72/73, Francisco Mangado, Arquitectura 1998-2006, pag. 379

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y FUENTES DE LAS ILUSTRACIONES

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

LIBROS:

RICE, PETER, UN INGENIERO IMAGINA, CINTER DIVULGACIÓN TÉCNICA, MADRID, 2009, 1ª EDICIÓN

TORROJA MIRET, EDUARDO, RAZÓN Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES [1957], CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS, MADRID, 2010, 3ª EDICIÓN, 1ª REIMPRESIÓN

AGUILÓ, MIGUEL, ESTRUCTURAS PARA EDIFICIOS SINGULARES ESPAÑOLES, ACS, MADRID, 2008, 1ª EDICIÓN

GIEDION, SIGFRIED, ESPACIO, TIEMPO Y ARQUITECTURA. ORIGEN Y DESARROLLO DE UNA NUEVA TRADICIÓN, EDITORIAL REVERTÉ, MADRID, 2009

POWELL, KENNETH, LOS GRANDES ARQUITECTOS, LUNWERG, BARCELONA, 2012, 1ª EDICIÓN

FRAMPTON, KENNETH, ESTUDIOS SOBRE LA CULTURA TECTÓNICA. POÉTICAS EN LA ARQUITECTURA DE LOS SIGLOS XIX Y XX[1995], EDICIONES AKAL, MADRID, 1999, 1ª EDICIÓN

DEPLAZES, ANDREA, CONSTRUIR LA ARQUITECTURA DEL MATERIAL EN BRUTO AL EDIFICIO, EDITORIAL GUSTAVO GILI, BARCELONA, 2010, 1ª EDICIÓN

FRANCISCO MANGADO: OBRAS Y PROYECTOS, EDITORIAL GUSTAVO GILI, BARCELONA, 2005, 1ª EDICIÓN

REVISTAS:

TECTÓNICA. nº 3. HORMIGÓN (I). ARTÍCULO: EL HORMIGÓN ARMADO, EFRÉN G. GRINDA.

TECTÓNICA. nº 9. ACERO (I). ARTÍCULO: CONSTRUIR EN ACERO: FORMA Y ESTRUCTURA EN EL ESPACIO CONTINUO, RAMÓN ARAUJO.

TECTÓNICA. nº 13. MADERA (II). ARTÍCULO: ESTRUCTURAS DE MADERA, FRANCISCO ARRIAGA.

TECTÓNICA. nº 26. ILUMINACIÓN (II). CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS EN SANTIAGO DE COMPOSTELA, FRANCISCO J. MANGADO BELOQUI.

AV MONOGRAFÍAS. nº 133. FRANCISCO MANGADO, 1999-2009.

ARQUITECTURA VIVA. nº 123. MUSEOS CIUDADANOS. FRANCISCO MANGADO. COFRE DE BRONCE. MUSEO ARQUEOLÓGICO, VITORIA.

TC CUADERNOS. nº 72/73. FRANCISCO MANGADO. ARQUITECTURA 1998-2006.

TESINAS:

ARQ. ANA MIREYA FONG CHAN, SISTEMA CONSTRUCTIVO "STEEL FRAME" (ENTRAMADO DE ACERO DE BAJA ESPESOR) Y SU UTILIZACIÓN EN CLIMAS TROPICALES, DIRECTOR: DR. ARQ. JAUME AVELLANEDA DÍAZ-GRANDE, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA, MASTER UNIVERSITARIO TECNOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGIA

ENTREVISTAS:

RESPUESTA DE GUSTAVE EIFFEL A LOS ARTISTAS CONTRA LA TORRE EIFFEL, LE MONDE 1887

PÁGINAS WEB:

www.fmangado.com

www.nb35.es

FUENTES DE LAS ILUSTRACIONES

LIBROS:

RICE, PETER, UN INGENIERO IMAGINA, CINTER DIVULGACIÓN TÉCNICA, MADRID, 2009, 1ª EDICIÓN

TORROJA MIRET, EDUARDO, RAZÓN Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES [1957], CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS, MADRID, 2010, 3ª EDICIÓN, 1ª REIMPRESIÓN

POWELL, KENNETH, LOS GRANDES ARQUITECTOS, LUNWERG, BARCELONA, 2012, 1ª EDICIÓN

DEPLAZES, ANDREA, CONSTRUIR LA ARQUITECTURA DEL MATERIAL EN BRUTO AL EDIFICIO, EDITORIAL GUSTAVO GILI, BARCELONA, 2010, 1ª EDICIÓN

FRANCISCO MANGADO: OBRAS Y PROYECTOS, EDITORIAL GUSTAVO GILI, BARCELONA, 2005, 1ª EDICIÓN

REVISTAS:

TECTÓNICA. Nº 26. ILUMINACIÓN (II). CENTRO DE FORMACIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS EN SANTIAGO DE COMPOSTELA, FRANCISCO J. MANGADO BELOQUI.

AV MONOGRAFÍAS. Nº 133. FRANCISCO MANGADO, 1999-2009.

ARQUITECTURA VIVA. Nº 123. MUSEOS CIUDADANOS. FRANCISCO MANGADO. COFRE DE BRONCE. MUSEO ARQUEOLÓGICO, VITORIA.

TC CUADERNOS. Nº 72/73. FRANCISCO MANGADO. ARQUITECTURA 1998-2006.

PÁGINAS WEB:

www.fmangado.com

www.nb35.es

www.flickr.com

www.tumblr.com

www.rolandhalbe.de

www.pedropeganaute.es

Reunido el Tribunal calificador en el día 23 de Julio de 2013

en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura La Salle de la Universidad Ramon Llull

el/la alumno/a José Hernández Navarro

expuso su Trabajo Final de Máster, el cual tiene por título:

EL LENGUAJE DE LA ESTRUCTURA: EL MURO DESCOMPUESTO
F.MANGADO, ARQ. Y J.JIMENEZ, ING.

delante del Tribunal formado por los Drs. que firman a continuación, habiendo obtenido la calificación:



Presidente/a

Vocal

Vocal

Alumno/a
