



UNIVERSIDAD DE GRANADA

Programa de Doctorado / PhD Program

Expresión Gráfica, Cartografía y Proyecto Urbano

Departamento / Department

Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

Tesis / Thesis

EL USO DE LA TÉCNICA EN LA CONCEPCIÓN ARQUITECTÓNICA.

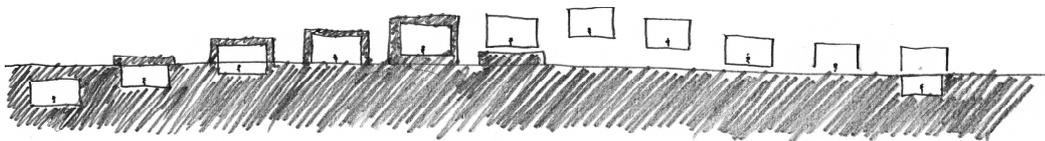
EL ESPACIO ENTRE EL CIELO Y LA TIERRA:

HACIA UNA ÉTICA TECTÓNICA.

USING TECHNIQUE IN ARCHITECTURAL CONCEPTION.

THE SPACE BETWEEN EARTH AND SKY:

TOWARDS A TECTONIC ETHIC.



Directores de Tesis / Supervisors

Kenneth Frampton (Columbia University)
Miguel Ángel Graciani Rodríguez (Universidad de Granada)
Antonio Jiménez Torrecillas (Universidad de Granada)

Autor / Author

Alejandro Muñoz Miranda

31 de Marzo de 2011, Granada

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Alejandro Muñoz Miranda
D.L.: GR 4040-2011
ISBN: 978-84-694-5749-8

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado en la elaboración de la presente tesis y que también me han acompañado durante todo el proceso.

En primer lugar, mi gratitud para mis directores de tesis. A Kenneth Frampton por la valiosa motivación y orientación del gran maestro de referencia que, siendo tan cercano y accesible, ha estado continuamente aportando sus ideas y supervisando la investigación desde el año 2002; hacia él mi más sincero respeto y admiración. A Miguel Ángel Graciani Rodríguez por su gran visión crítica constructiva que siempre ha impregnado su manera de transmitir y enseñar la arquitectura desde que fuera alumno suyo hasta hoy, gracias por estar siempre presente. A Antonio Jiménez Torrecillas por su gran positivismo analítico y claridad en sus planteamientos que ha aportado a esta tesis, mi gratitud por su inmensa generosidad. Con los tres quedo en deuda.

Quiero también mostrar mi agradecimiento a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada y a todos sus profesores de la primera promoción, los cuales crearon el clima perfecto para emocionarme y proseguir en este mundo de la arquitectura. A Javier Gallego Roca, quien me apoyó para obtener la beca FPU del Ministerio de Educación con la que pude ir a Columbia University para investigar durante los años 2002-2003 con Kenneth Frampton. También a Ángela Giral por su inestimable colaboración como directora de la Avery Library, la cual me facilitó el acceso a libros de incalculable importancia para mí. A Alberto Campo Baeza, por sus valiosos consejos y referencias desde siempre y especialmente durante nuestra estancia en Columbia University, del que aprendí mucho de arquitectura y de la vida.

Finalmente, agradecer a mis padres, Jesús y María del Carmen, por todo el cariño y la oportunidad que me han dado. A mis hijos Aram, Ale y Aida por su luz en el día a día. Por último, a Hala, por su incondicional apoyo y amor, a quien le dedico esta tesis.

ÍNDICE

ABSTRACT	(1)
Capítulo 1. TÉCNICA E IDEA	
1.1. Idea y arquitectura: la nueva realidad de la técnica	(3)
1.2. La arquitectura: "una fabulosa y grande ortopedia" tecnológica sobre la naturaleza	(3)
1.3. La permanencia del espacio y la idea	(6)
Capítulo 2. TÉCNICA Y PENSAMIENTO	
2.1. <i>Techné</i>	(10)
2.2. Ortega y Heidegger	(10)
2.3. La <i>Meditación de la Técnica</i> de Ortega y Gasset y la arquitectura	(11)
2.4. La creación de lo técnico: la creación del espacio arquitectónico	(14)
2.5. Ideas, Filosofía y Ciencia	(14)
2.6. Ideas, Tecnología y Ciencia	(15)
Capítulo 3. TÉCNICA Y ESPACIO ARQUITECTÓNICO	
3.1. Espacio = <i>Cavitas</i>	(16)
3.2. Concepciones filosóficas y científicas del espacio	(18)
3.3. Arquitectura como expresión de la ciencia	(20)
3.4. Concepciones del espacio arquitectónico	(23)
3.5. La revolución tecnológica y la nueva concepción del espacio	(27)
Capítulo 4. TÉCNICA Y ESTRUCTURA & MATERIALES	
4.1. Introducción: espacio, estructura y técnica	(32)
4.2. Materiales y técnica	(35)
4.3. La materialidad de la forma estructural	(40)
4.4. La estructura y los nuevos materiales	(41)
4.5. Estructura y escala	(43)
4.6. Comportamiento estructural y forma del espacio	(48)
4.7. Importancia de la junta en la idea del espacio y de la estructura	(49)
4.8. Límites de la forma del espacio: relaciones entre la estructura y el cerramiento	(51)

Capítulo 5. EL TRABAJO TÉCNICO DEL ACERO

5.1. Introducción	(54)
5.2. Primeros usos del hierro en arquitectura	(57)
5.3. Características técnicas del hierro y del acero	(59)
5.4. El Crystal Palace y el nuevo comienzo	(61)

Capítulo 6. LA JUNTA TECTÓNICA ESTRUCTURAL: DEL NUDO A LA SOLDADURA

6.1. Introducción: tecnología y arquitectura	(68)
6.2. La estructura tectónica	(69)
6.2.1. El esqueleto estructural	(70)
6.2.2. El orden	(72)
6.3. Las fuerzas sobre la estructura	(72)
6.4. La cabaña	(74)
6.4.1. El tejido y el nudo: la tienda de campaña	(75)
6.4.2. La carpintería tectónica y el ensamblaje: la cabaña	(76)
6.5. El vacío tectónico entre la cabaña y la edad del hierro de la Revolución Industrial	(80)
6.6. La tectónica del acero	(81)
6.7. Las juntas estructurales tectónicas	(83)
6.8. La membrana como espacio: el tejido y la estructura	(84)
6.9. La estructura ósea y la transmisión de la carga	(86)

Capítulo 7. LO ESTEREOTÓMICO Y LO TECTÓNICO

7.1. Conceptos estereotómico y tectónico	(95)
7.2. Continuidad y discontinuidad estructural. El tipo de apoyo	(96)
7.3. La envolvente y su entendimiento descompuesto	(106)
7.4. La forma activa. La eficiencia estructural y la forma del espacio	(107)
7.5. El caso del hormigón armado: un nuevo elemento híbrido	(113)

Capítulo 8. LA EXPERIENCIA FENOMENOLÓGICA DEL ESPACIO TECTÓNICO-ESTEREOTÓMICO	
8.1. Sobre la fenomenología	(118)
8.2. Fenomenología y pensamiento filosófico	(118)
8.3. Fenomenología en la arquitectura y en los arquitectos	(119)
8.4. Fenomenología y entorno	(121)
8.5. Fenomenología y espacio	(124)
8.6. Fenomenología y la experiencia multisensorial	(126)
8.7. El regionalismo y sus implicaciones fenomenológicas	(131)
8.8. Fenomenología y experiencia corporal	
8.8.1. Introducción	(138)
8.8.2. Movimiento y posición	(139)
8.8.3. El caso concreto de Utzon: entre el cielo y la tierra	(146)
8.9. La experiencia fenomenológica tectónica-estereotómica en relación a las 3 posiciones	
8.9.1. La liberación de la envolvente del espacio: de la cueva a la cabaña / desde la tierra al cielo	(155)
8.9.2. Posición 1 (dentro - in)	(158)
8.9.3. Posición 2 (sobre - on)	(160)
8.9.4. Posición 3 (encima - above)	(167)
 Capítulo 9. CONCLUSIONS: TOWARDS A TECTONIC ETHIC	 (173)
 Bibliografía	 (202)
 Referencias Imágenes	 (207)

ABSTRACT

The fundamental aim of the present research work is to demonstrate how technology and the creation of space are inextricably interconnected, not only quite literally through a conceptual expansion of the joint as a connecting point, but also through the resonant load-bearing and space-engendering character of the surface material enveloping the space, where the structure-enclosure plays a central role in the spatial boundary as a membrane-skin.

The specific focus of this thesis is to study the point of contact between an architectural space and the ground level. An understanding of the evolution of the spatial myth from cave to hut as the volume required for human life take place allows us to analyse the development of the various positions of space relative to the ground level (in, on and above) conditioned by the spatial, constructional and structural aspects of the envelope surrounding the enclosed space through the application of the laws of physics and a tectonic-stereotomic vision.

The present work will start by analysing the importance of the development of technique in the conception of architectural space. Thus, a link will be established between technique and ideas, thoughts and the history of architectural space, structure and materials. Particular attention will be paid to structure as a fundamental technical element defining the form taken by the space and playing a fundamental role in the relationship with the enclosure or surface of friction between interior and exterior space. Additionally, the importance of structure as an essential element of architecture will be studied, given its capacity of connecting spatial form with the forces of gravity, as well as establishing the relationship between the interior space and light. Furthermore, the discovery and development of new materials applied to architecture (iron, steel and reinforced concrete) have introduced new structural possibilities, generating new conceptions of space. A major part of this study deals with the impact of lightweight elements, of ferro-vitreous technology, on the form of architectural space. We shall likewise discuss how reinforced concrete is the third hybrid tectonic element which is

neither totally compressive (as is the case of bricks and stone) nor totally operational as a tensile net. Its essential spatial expression is that of the wide-span cantilever.

Moreover, the present research work attempts to provide a new insight into the stereotomic-tectonic evolution of architectural space in relation to the freeing-up of the spatial envelope according to the structural and construction techniques applied in different positions of space relative to the ground level (from earth to sky). An effort will likewise be made to make valuable contributions by way of considerations regarding structural optimisation and the spatial boundary, leading towards the idea of spatial dematerialisation and ingravity as a *tour de force* of architecture.

But at the same time, the present thesis does not disregard the phenomenological aspect of the human being, and strives to find answers among the subject's perception of space in relation to the environment, multisensory experiences, and corporal movement. All of the foregoing must be underpinned by a concordance between a logical tectonic-stereotomic construction based on idea-reason and a phenomenological experience of the human being manifested as emotion.

To a certain extent what this research is proposing is a return to local principles or to regionalism, which is able to employ place-specific tools and craftsmanship (local arts and their virtues) promoting and being innovative with traditional elements which belong to a particular place, and using tectonic and stereotomic logic.

Therefore, the final aim of the present thesis shall be to search for those architectural spaces where the subject's experience (phenomenological perception) is related to a tectonic ethic based on a balanced combination of conception (the intellectual aspect), materialness, reason and economy of means, and is at the same time capable of moving the senses.

1. TÉCNICA E IDEA

1.1. IDEA Y ARQUITECTURA: LA NUEVA REALIDAD DE LA TÉCNICA

Ortega y Gasset insiste en "Ideas y creencias"¹, que las cosas que las teorías nos proponen no son la realidad, sino precisamente y solamente ideas. Él, además, identifica la idea con la imaginación y la ocurrencia, la cual es radicalmente opuesta a la creencia. Para Ortega, el mundo de las ideas es un mundo aparte del real y por esta causa se encuentra fuera de la naturaleza. Considera que el hombre es el único animal que posee un mundo interior, y que, por lo tanto, puede pensar y elegir. En palabras del mismo dice:

"todo pensar es fantasía, y la historia universal es el intento de dominar la fantasía, sucesivamente en diversas formas... los deseos fantásticos frente a los instintos".

De este modo, para Ortega, el acto de pensar es un acto de elección por parte del hombre² y este hecho es el más alto privilegio que un hombre puede tener, es decir, la libertad de elección. En este sentido, la relación de la arquitectura y la idea de proyecto es estrecha ya que nos podemos preguntar: ¿podemos construir esa idea y hacerla realidad? ¿Será la idea construida una nueva realidad, la arquitectura, que se encuentra a parte de la propia naturaleza?

1.2. LA ARQUITECTURA: "UNA FABULOSA Y GRANDE ORTOPEDIA" TECNOLÓGICA SOBRE LA NATURALEZA

Para el arquitecto, este nuevo mundo de ideas debe ser construido para crear arquitectura. Estas ideas construidas deberán ser conformadas por la técnica desarrollada por el hombre, que dependerá naturalmente del momento de desarrollo tecnológico de cada cultura.

¹ Jose Ortega y Gasset, *Obras Completas*, 2a rev. ed., 12 vols. (Madrid: Alianza : Revista de Occidente, 1983).

² José Ortega y Gasset, *Meditación De La Técnica Y Otros Ensayos Sobre Ciencia Y Filosofía*, 7ª ed. (Madrid: Alianza Editorial, 2002).

Desde los inicios del ser humano, el hombre ha sido considerado como un ser técnico, que continuamente transforma y altera los objetos del mundo corpóreo³. De esta forma, la técnica se presenta como el procedimiento que hace posible que el hombre pueda satisfacer sus necesidades. Así, la técnica será una reacción contra la naturaleza y sus imposiciones sobre el ser humano, por lo que una nueva naturaleza sobrepuesta o un "nuevo mundo" será creado entre la naturaleza y el hombre⁴. Entonces, entenderemos a la arquitectura como un acto-reacción del ser humano sobre la naturaleza que satisface la necesidad de poseer y controlar un espacio propio, en el cual, el hombre desarrolle su vida y pensamientos, a parte de tener el reto de que esta nueva realidad-espacio, construida por la técnica del hombre, transmita una idea mediante la materialización del nuevo espacio.

Como considera Arendt⁵ en su definición de *homo faber* o ente que fabrica, el ser humano posee además una dualidad como creador, ya que es capaz de fabricar cosas "inservibles" (como los trabajos de arte, los cuales desembocan en ellos mismos) y de inventar instrumentos técnicos útiles. Por lo tanto, el *homo faber* es simultáneamente pensador y constructor. Este carácter doble, permitirá al arquitecto poder construir sus ideas; todo esto independientemente de la desafortunada separación entre invención y fabricación que el *homo faber* sufrirá desde el Renacimiento, en donde se dividen las artes liberales de las artes mecánicas. Esto supone un adelanto a la división industrial de las labores, que se agudizara en el siglo XIX con la separación clara entre la arquitectura y la ingeniería⁶, lo cual ha derivado en nuestros días hacia la especialización.

La tecnología, que el hombre desarrolla a lo largo de la historia, debe estar acompañada de las ideas para poder transformar o crear un mundo nuevo. Esta capacidad, que el hombre posee para pensar, es decir, de tener un mundo interior, le hace posible alterar y enfrentarse a la naturaleza. De esta forma, existe la contradicción de que el hombre pertenece a la naturaleza y se enfrenta a ella, por lo que es creado un mundo alterado (la

³ Ibid.

⁴ Jose Ortega y Gasset, Jaime de Salas, and Jose Maria Atencia, *Meditacion De La Tecnica, Filosofia Hoy* (Madrid: Santillana, 1997).

⁵ Hannah Arendt, *The Human Condition*, 2nd ed. (Chicago: University of Chicago Press, 1998).

⁶ Kenneth Frampton, *Labour, Work and Architecture* (London: Phaidon, 2002).

arquitectura), el cual está formado por materiales alterados (estructura y acabados), cuyo espacio es regulado por las leyes naturales y físicas y cuyos elementos esenciales de ese mundo alterado siguen siendo naturales como el espacio, la luz y el tiempo. Ortega⁷ considera a la técnica como "una fabulosa y grande ortopedia". Pero si se olvida la analogía humana que relaciona la ortopedia⁸ con la prótesis y uno se centra en el concepto de un objeto artificial creado por las manos del hombre mediante su inteligencia, que sustituye a un elemento natural (la prótesis sustituye a una parte del cuerpo humano), entonces esto se podrá asimilar con la arquitectura, ya que esta última puede ser entendida como un "artefacto técnico" sobre la naturaleza (la cabaña sustituye a uno natural, llamado cueva), que crea un espacio para el hombre, que este puede controlar, que lo protege del mundo exterior y que, en el cual, puede desarrollar su vida.

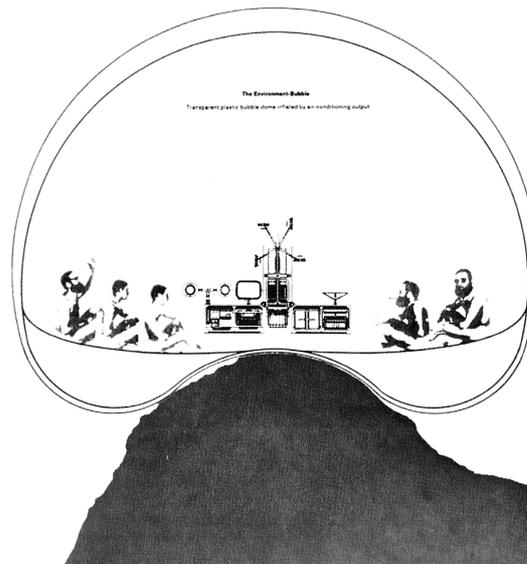


Fig. 1. The Environment-Bubble (Reyner Banham y Francois Dallegret, 1965)

Desde el punto de vista conceptual, la búsqueda del espacio total basado en una membrana-piel-estructura que sea capaz de resolver todas las necesidades del ser humano en el interior de dicho espacio, tanto de función, como climáticas, estructurales, etc... ha sido una investigación constante en el campo arquitectónico. Así, Reyner Banham y Francois Dallegret en su Environment-Bubble pretenden expresar mediante este concepto de burbuja el concepto nuevo de espacio de relación del ser humano

⁷ Ortega y Gasset, *Meditación De La Técnica Y Otros Ensayos Sobre Ciencia Y Filosofía*.

⁸ Ortopedia (sinónimo de prótesis): pieza o aparato artificial que sustituye a un órgano o una parte del cuerpo humano.

con el entorno. A partir de esta idea revolucionaria de la tecnología plástica y del presurizado se han desarrollado otras envolventes arquitectónicas que procuran desmaterializar al máximo la arquitectura pero que aún carecen de estabilidad estructural, siendo esta carencia uno de los mayores condicionantes para su evolución.



Fig. 2 y 3. Serpentine Gallery diseñado por OMA y Balmond en Londres (2006)

Fig. 4. Proyecto Spacebuster de Berlin's Raumlabor instalado en New York (2009)

1.3. LA PERMANENCIA DEL ESPACIO Y LA IDEA

En este nuevo mundo que crea la arquitectura, debemos distinguir entre lo que es meramente técnico y lo que es la idea-pensamiento que crea el objeto técnico. Ortega y Gasset⁹ separa inteligentemente entre utensilios técnicos y enseres artísticos, y explica que los primeros sufren un desgaste cuando son usados frente a los segundos con los que el hombre se comporta de una forma diferente, quedándose frente a ellos, contemplándolos, escuchándolos... y no desgastándolos.

⁹ Ortega y Gasset, *Meditación De La Técnica Y Otros Ensayos Sobre Ciencia Y Filosofía*.

"...sólo diremos que hay una notable diferencia entre lo que el hombre hace con los utensilios técnicos y su comportamiento con los enseres artísticos, cuando ya los ha creado. El hombre gasta y desgasta los instrumentos técnicos, es decir, que, cuando ya los ha fabricado, los pone en funcionamiento, los hace funcionar. Y ello es un auténtico hacer del hombre. Pero frente a los objetos artísticos, el hacer del hombre no resulta simple. No los gasta, ni mucho menos los desgasta. Se queda ante ellos; incluso en el caso de que lea, por ejemplo, algún poema. La lectura es, ciertamente, un hacer, pero un hacer que, materialmente, no tiene nada que ver con los poemas."¹⁰

we only ^{will} say that there is a notable difference between man makes with technical instruments and his behavior with artistic objects (foody and chattels) when he has created them.

[Man wears out and wears away technical instruments, when he made them, he put them to ~~work~~ working, And that is a true MAKE by man.

BUT, face to artistic objects, the ^{man's} LABOUR is not so simple. He doesn't wear them out, nor wear them away. He stands in front of them. even when he reads is reading, for example, a poem. Reading is, truly, a making, but a making that, materially, has not any relation with poems themselves.

my "translation" February 19. 2003. 

Fig. 5. Traducción de Alberto Campo Baeza del texto citado anteriormente mostrando su gran interés por la Meditación de la Técnica de Ortega y Gasset. Entregado por Campo Baeza al doctorando en la Avery Library de Columbia University en febrero de 2003.

¹⁰ Ibid. p. 102.

Esto me ha hecho reflexionar sobre el concepto del desgaste de un espacio arquitectónico: ¿cómo es posible que un espacio pueda seguir transmitiendo una idea y no se desgaste frente al paso del tiempo y al uso del hombre? Pienso que esto es realmente posible cuando la arquitectura utiliza en su concepción los ingredientes fundamentales de la naturaleza, es decir, la luz y la gravedad. La construcción sufre un desgaste con el tiempo y uso del hombre por ser un objeto material de creación humana (instrumento-utensilio), pero el espacio (concebido bajo una idea también humana) no se gasta, permanece constante e invariable hasta el límite en que la estructura (elemento de mayor resistencia y que da forma al espacio) sea capaz de expresar el espacio concebido para tal función. Este significado ayuda a entender la importancia de la estructura en el concepto de "ruina", en donde la arquitectura, desprovista de ornamento y decoración, es capaz de seguir expresando el espacio para la que fue concebida, por lo que el límite del valor arquitectónico de la ruina será definido por el estado de su estructura ya que será en última instancia la expresión del espacio y, por lo tanto, de su idea. Con este ejemplo vemos cómo la idea, indesgastable por sí misma, acaba dependiendo directamente de lo material ya que en ello encuentra su manifestación en la nueva realidad construida por el hombre.

Vitruvio en su *De Architectura* comentó la importancia de la transmisión de la idea y su valor ontológico escribiendo:

*"En todas las materias, pero particularmente en la arquitectura, hay dos puntos: la cosa significada y lo que le da su significado. Lo que es significado (cosa significada) es el tema de lo que podemos estar hablando y lo que da significado es una demostración sobre los principios científicos."*¹¹

De esta manera, lo que da significado es lo construido, aquello que debe tener la capacidad de resistir las leyes de la gravedad conjugadas con las leyes de los materiales. Así, se proporciona un significado conceptual, transformando la realidad construida en un significado o idea, la cual también ha sido la

¹¹ Pollio Vitruvius and M. H. Morgan, *Vitruvius: The Ten Books on Architecture* (New York,: Dover Publications, 1960).

generadora del proceso técnico de construcción y del espacio creado. Mediante este significado conceptual de la idea, la mera construcción pasa a ser llamada arquitectura esencial.

Así, para Alberto Campo Baeza, la arquitectura esencial¹² es aquella cuya materialidad es construida por la idea y donde el tiempo es construido por la luz y el espacio es construido por la gravedad. Entonces, ¿por qué el espacio arquitectónico no se desgasta? Se pueden analizar distintas razones. Una es porque el espacio debe expresar una idea, un pensamiento o una reflexión, y, como ya hemos visto antes, las ideas no son consumibles. Otra es porque en la concepción y construcción del espacio se usan, como ingredientes fundamentales, elementos constantes de la naturaleza y sus leyes físicas, y estos tampoco pueden ser desgastados ni por el hombre y ni por el paso del tiempo (en relación a la escala del ser humano en su paso por el universo). Las ideas, creadas por el hombre y materializadas por la técnica, y la luz y las leyes físicas, como elementos que obsequia gratis la naturaleza, serán los ingredientes básicos que son usados en el espacio constante e inmutable, capaz de crear una arquitectura esencial.

¹² Alberto Campo Baeza, *La Idea Construida : La Arquitectura a La Luz De Las Palabras* (Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1996).

2. TÉCNICA Y PENSAMIENTO

2.1. *TECHNÉ*

El origen del término técnica proviene originalmente del griego *techné*, el cual significa arte u oficio y que era utilizado para designar el conocimiento y habilidad para organizar y planear libremente una creación. Era importante en esta creación que tanto la obra estuviera bien hecha como que el ser humano se manifestara a través de ella. De esta forma, la *techné* transforma una realidad natural creando una realidad artificial. Esta última se crea mediante el cumplimiento de ciertas reglas, también creadas para este propósito de crear esta nueva realidad artificial. Así, la tecnología será la ciencia de la técnica, la cual implica tanto lo técnico (*techné*) como su conocimiento-pensamiento (*logos*)¹.

También existe una relación directa del término técnica con el término griego *tekton*, que significa: productor, obrero, carpintero o constructor. Este término griego deriva del también griego *tikto* que quiere decir "producir" o "dar a luz". De tal forma que este hecho de producir por parte de una persona entra en relación directa con la palabra *arkhitekton*, compuesta por *arkho* que significa "soy el primero" y *tekton*, entendiéndose al arquitecto como el inventor o autor jefe. Esta palabra derivó al latín como *architectus*, siendo el origen etimológico de la palabra arquitecto, la cual aparece en el castellano hacia el año 1520².

2.2. ORTEGA Y HEIDEGGER

José Ortega y Gasset y Martin Heidegger han sido los dos primeros filósofos de la época moderna en explicar la cuestión concerniente a la tecnología. Entre ambos existen bastantes similitudes de pensamiento. Los dos distinguen entre varios tipos de tecnología pero Ortega diferencia tres periodos a lo largo de la historia mientras que Heidegger solamente dos. Para Ortega está la tecnología del azar o suerte, la tecnología del artesano y la

¹ Santiago Segura Munguía, *Diccionario Etimológico Latino-Español*, 1a ed. (Madrid: Ediciones Generales Anaya, 1985).

² *Ibid.*

tecnología moderna; mientras que Heidegger agrupa los dos primeros tipos en un periodo y coincide con el tercero con Ortega.

Ambos afirman la profunda afinidad entre la humanidad y la tecnología, mientras rechazan que el hombre esté exhausto por lo tecnológico o que la esencia de la tecnología pueda ser alcanzada a través de lo tecnológico. Además los dos rechazan la definición de tecnología como ciencia aplicada solamente y la visión de la ciencia moderna como inherentemente tecnológica. Esto les lleva a ser cautelosos ante el peligro que ven en el exceso de tecnología³.

2.3. LA MEDITACIÓN DE LA TÉCNICA DE ORTEGA Y LA ARQUITECTURA

Ortega⁴ define la técnica como la reforma que el hombre supone a la naturaleza en vista a la satisfacción de sus necesidades. Así, la técnica surge como reacción enérgica contra la naturaleza o sus imposiciones sobre el ser humano, llevando a crear entre la naturaleza y el hombre una nueva naturaleza superpuesta a aquella, una sobrenaturaleza o un "nuevo mundo", es decir, arquitectura.

La técnica está sometida a continuas variaciones históricas dependiendo de cual y cuanta sea en cada momento la idea de bienestar que el hombre tenga. En este sentido existe una relación directa con la arquitectura en función de las necesidades espaciales que cada momento histórico tenga de confort como para ofrecer emoción o significado a un espacio. Aquí se ve cómo el pensamiento debe estar a la altura de cada momento para poder aprovechar al máximo los recursos técnicos desarrollados en cada momento o creados para el momento.

³ Carl Mitcham, *Thinking through Technology : The Path between Engineering and Philosophy* (Chicago: University of Chicago Press, 1994).

⁴ Ortega y Gasset, Salas, and Atencia, *Meditacion De La Tecnica*.

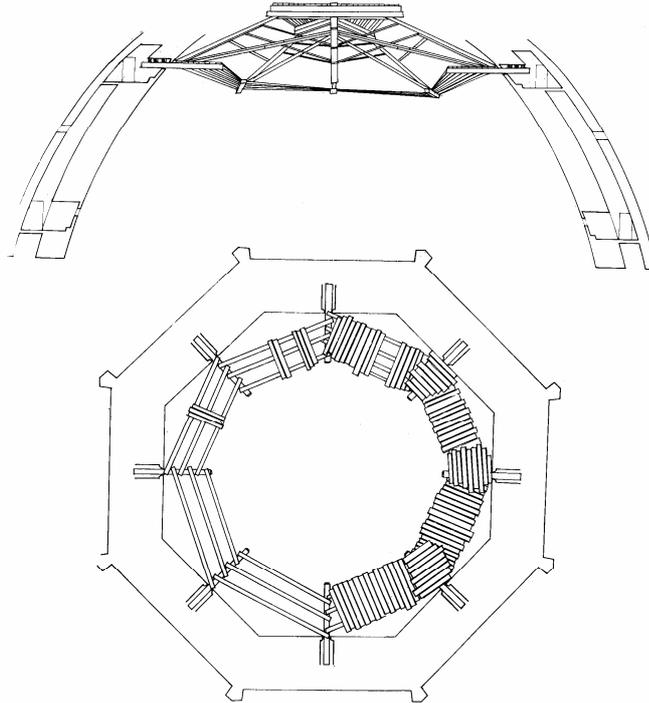


Fig. 1. Andamiaje ideado por F. Brunelleschi para la coronación de la Cúpula de Santa María del Fiore en Florencia

Los actos técnicos son aquellos donde dedicamos el esfuerzo a inventar y luego a ejecutar un plan, al igual que la intención de la arquitectura es imaginar un espacio y después construirlo. Según Ortega, un acto técnico es capaz de:

- a) asegurar la satisfacción de las necesidades elementales.
- b) Lograr esa satisfacción con el mínimo esfuerzo.
- c) Crearnos posibilidades nuevas con nuevos objetos que no hay en la naturaleza.

Pero además, este acto técnico puede asimilarse con el acto arquitectónico, por lo que respectivamente a los puntos anteriores la arquitectura tiene que:

- a) Cumplir la función para la que está destinada: la casa del hombre y de su espíritu.
- b) Definir el espacio con la necesidad mínima estructural.
- c) Crear una construcción y nuevos espacios como objetos sobrepuestos a la naturaleza.

De esta forma, aparece la técnica como un esfuerzo para ahorrar esfuerzo. Además, la técnica permite al hombre emanciparse de la naturaleza⁵ y crear la arquitectura como algo superpuesto a la misma en donde el hombre puede desarrollar su vida en convivencia con la naturaleza.

Ortega piensa que para la técnica se necesita una relación activa del hombre con el medio. Esto es extrapolable a lo que ocurre en la arquitectura, donde el espacio arquitectónico tiene una relación activa entre el hombre y los elementos naturales que le rodean. También Ortega cree que la vida aparece constituida como un problema casi ingenieril:

"Aprovechar las facilidades que el mundo ofrece para vencer a las dificultades que se oponen a la realidad de nuestro programa, estando la técnica condicionada por el programa de vida a la que ha de servir."

En este sentido, la arquitectura deberá aprovecharse de lo que la naturaleza le obsequia de una forma gratuita, es decir, sus elementos fundamentales como son la luz y las leyes físicas.

Por último, Ortega es partidario de que la evolución de la técnica no consiste en nuevos descubrimientos sino que depende de su desarrollo, ejemplificándolo con el caso de los inventos de la pólvora e imprenta, los cuales son descubiertos en China en el S. XI aunque no trascendieron hasta ser desarrollados posteriormente siglos más tarde en Europa. Esto me ha hecho reflexionar sobre que la idea o concepción de un espacio arquitectónico no posee tanta importancia como si es construido en última instancia, y que el espacio arquitectónico podrá ser realidad en función del grado de evolución tecnológica que haya para poder ejecutar el espacio imaginado por el arquitecto.

⁵ Ibid.

2.4. LA CREACIÓN DE LO TÉCNICO: LA CREACIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO

La técnica necesita de la ciencia y en este sentido, técnica y ciencia están totalmente relacionadas. De esta manera, la tecnología necesita de la ciencia y a la vez se apoya en la técnica⁶. La expresión formal de la tecnología resulta instrumental y objetual (objeto y espacio arquitectónico), lo que plantea a la ciencia problemas físico-matemáticos (geometría, estructura, proporción, etc.).

La comprensión tecnológica tiene su origen en la Enciclopedia Francesa del siglo de la Ilustración, en donde para la cual el objeto técnico es la expresión de un pensamiento que tiene su propia doctrina⁷. Así, podemos pensar lo mismo del espacio arquitectónico (objeto técnico), en donde primero el arquitecto tiene el pensamiento-idea, a través del cual se elabora el anteproyecto del espacio arquitectónico estableciendo la idea unas reglas; y posteriormente se desarrolla la construcción técnica de este espacio pensado, el cual deberá ser reflejo de la idea.

2.5. IDEAS, FILOSOFÍA Y CIENCIA

La ciencia es un tipo especial de conocimiento expresado a través de las ideas y las teorías. Estas teorías e ideas son a su vez el vínculo que enlaza la ciencia con la filosofía. Cada teoría y sus ideas asociadas influyen fuertemente en nuestra visión del mundo y entendimiento de su orden natural⁸.

Uno comienza a desarrollar las ideas de la ciencia o de la filosofía antes que sus teorías, por lo que el mundo de las ideas es primero y primordial. Además el mundo de las ideas nunca se "desgasta" como comenta Ortega u Gasset⁹.

⁶ Santiago Rodríguez Castro, *Diccionario Etimológico Griego* (Madrid: Esfinge grupo editorial, 2007).

⁷ *Ibid.*

⁸ Mitcham, *Thinking through Technology : The Path between Engineering and Philosophy.*

⁹ Ortega y Gasset, Salas, and Atencia, *Meditacion De La Tecnica.*

2.6. IDEAS, TECNOLOGÍA Y CIENCIA

La relación entre tecnología e ideas no es tan cercana y tan obvia como entre ciencia e ideas, ya que la tecnología, entendida como el hacer o uso de un artefacto, es una actividad o una práctica en primer lugar. De esta forma, cuando las ideas son asociadas con la tecnología, ellas suelen parecer meramente ideas científicas aplicadas a un contexto práctico. Este entendimiento limitado de la tecnología moderna como ciencia aplicada a través de la analogía, ha llevado a no desarrollar excesivamente una filosofía independiente de la técnica¹⁰.

Como ya se ha comentado, la técnica debe dar expresión a un pensamiento, por lo que la precisión de la técnica será la exactitud y el compromiso del desarrollo tecnológico para poder transmitir la idea.

La *Estructura de las Revoluciones Científicas* de Thomas Kuhn, ha influido recientemente en el concepto de la relación entre ciencia y tecnología. Kuhn defiende que los cambios en los aparatos técnicos son los que explican mejor las diferencias entre el paradigma de la ciencia normal y el paradigma cambiante de la ciencia moderna, más que la estructura conceptual de la ciencia¹¹.

Así, se pueden establecer ciertas diferencias entre ciencia y tecnología. La ciencia es la expresión abstracta de lo que existe mientras que la técnica es la expresión de un orden del mundo creado por el hombre. El objeto formal de la ciencia es su legalidad mediante las leyes físicas mientras que el objeto formal de la técnica es su creatividad singular. De esta forma, la ciencia se refiere a lo necesario y general mientras que la técnica se refiere a lo posible en cuanto realizable.

¹⁰ Mitcham, *Thinking through Technology : The Path between Engineering and Philosophy*.

¹¹ *Ibid.*

3. TÉCNICA Y ESPACIO ARQUITECTÓNICO

3.1. ESPACIO = CAVITAS

El vocablo espacio deriva etimológicamente del Latín *spatius*¹, el cual posee un repertorio variado de significados: pista de carreras, carrera, circo, extensión, distancia, intervalo, vuelta de paseo, espacio como lugar que algo ocupa, tamaño, dimensiones, lapso y plazo de tiempo... Como se observa, lo más cercano a la concepción del espacio arquitectónico es "el espacio como lugar que algo ocupa", pero incluso en esta definición, el término *spatius* no significa la aceptación de un espacio interior como vacío, sino que se entiende más como lugar exterior, extensión, distancia o relación entre objetos.

Ante esta falta de explicitar el espacio arquitectónico como el vacío contenido por la arquitectura, tenemos que recurrir al término *cavitas*², el cual significa cavidad, hueco o vacío, aproximándose más a la concepción que pretendemos del espacio. Pero este término no era utilizado por los autores latinos clásicos, utilizándose *cavus* en vez de *cavitas*, ya que además *cavus* era la procedencia de la palabra *cavitas*.

El término *cavus*³ significa vacío y cóncavo, lo cual nos conduce al entendimiento de un lugar controlado, una cavidad, es decir, un espacio vacío o un espacio cóncavo (*concausus* procede de *cum* y *cavus* que significa "en compañía de vacío" o "con vacío"). Pero además, la sorpresa llega cuando la palabra *cavus* es la procedencia etimológica de la palabra cueva, que curiosamente es el primer espacio habitado por el ser humano (espacio interior natural).

Una cueva (*cavus*) es realmente el primer espacio controlado por el hombre, un espacio interior natural que no ha sido manipulado todavía. El hombre del neolítico es el primero que es capaz de independizarse de la cueva, construyendo su propio hogar en cabañas y comenzando a producir monumentos funerarios megalíticos como los dólmenes, tholos y menhires.

¹ Segura Munguia, *Diccionario Etimológico Latino-Espanol*.

² Ibid.

³ Ibid.



Fig. 1. interior de una cueva.

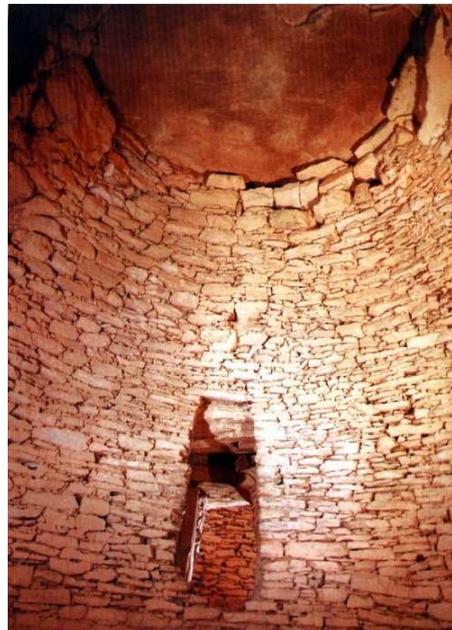


Fig. 2. Interior del dolmen del Romeral en Antequera (Neolítico).

Este salto de la cueva a la cabaña y al monumento funerario se produce gracias a que el ser humano es capaz de producir por entero un nuevo espacio para él con su técnica e instrumentación

desarrollada (un espacio interior técnico), guiado lógicamente por su pensamiento. También es interesante prestar atención a la dualidad de entendimiento que existe con respecto a la permanencia del espacio diario frente al funerario, donde la permanencia era buscada en el tiempo mediante la utilización del mejor material que ellos conocían, es decir, la piedra. Con posterioridad al neolítico, en la Edad de los Metales, será cuando el hombre sea capaz de producir materiales de cobre, bronce (cobre con estaño) y hierro. Este desarrollo del trabajo metalúrgico, que se suma al trabajo lítico, será de consecuencias trascendentales para el progreso técnico del ser humano. El reto estará ahora en el grado de durabilidad de los materiales creados por el hombre (materiales alterados dentro de la naturaleza): hierro, acero, vidrio y hormigón en todos sus tipos.

3.2. CONCEPCIONES FILOSÓFICAS Y CIENTÍFICAS DEL ESPACIO

En la filosofía antigua, el problema del espacio fue discutido generalmente en términos de oposición entre lleno y vacío. De esta forma, desde la antigüedad han habido dos concepciones filosóficas del espacio: a) el espacio según lo que es percibido en relación con los objetos y b) el espacio como contenedor de cosas fundamentalmente⁴.

En el libro del *Timeo*⁵, Platón distinguió tres tipos de realidad. Una primera donde la realidad está formada por imágenes visibles o aparentes, las cuales siempre están en continuo cambio. Una segunda en la que la realidad es invisible, es decir, el mundo de las ideas eternas. Y la tercera, la *Chora*, en donde la realidad es un receptáculo material que recibe todas las cosas y en donde el espacio puede ser solamente aprehendido mediante la razón.

Aristóteles hizo también otra distinción entre el espacio y el lugar (*topos*). Para él, el lugar era una parte del espacio, cuyos límites coinciden con los límites de un cuerpo, mientras que el espacio era la suma total de los lugares ocupados por un cuerpo⁶. Es sorprendente cómo, bajo un punto de vista científico

⁴ Max Jammer, *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics*, 2d ed. (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1969).

⁵ Plato and Giovanni Reale, *Timeo*, 1. ed., *Testi a Fronte* ; 9 (Milano: Rusconi, 1994).

⁶ Jammer, *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics*.

en el prólogo del libro *The concepts of space* de Lex Jammer, Einstein también diferencia entre dos concepciones del espacio muy similares a las que ya hizo Aristóteles. Para Einstein existe la concepción del espacio como:

- 1) Realidad posicional del mundo de los objetos materiales (asimilable al concepto de *topos* de Aristóteles).
- 2) Contenedor de todos los objetos materiales (asimilable al entendimiento del espacio por Aristóteles).

En la segunda concepción, el espacio aparece como una realidad física, la cual en un cierto sentido es superior al mundo material, ya que un objeto material solamente puede ser concebido existiendo en un espacio. Esta última concepción es la que presupone Descartes en la definición del sistema coordinado⁷.

Según Einstein, el concepto de espacio fue enriquecido por Galileo Galilei y Newton⁸, para los cuales el espacio debía ser independiente del comportamiento de inercia de los cuerpos, por lo que la primera concepción del espacio no servía para la fundamentación del Principio de Inercia y la Ley del Movimiento. De esta forma, el espacio es considerado independiente de los objetos materiales, otorgándosele un papel absoluto. Newton, en *Mathematical Principles*, diferencia entre lo que es el espacio absoluto y relativo:

"El espacio absoluto, en su propia naturaleza y sin relación con nada externo, permanece siempre igual e inmóvil. El espacio relativo es algo de dimensión móvil o medida de espacios absolutos." ⁹

En este momento Newton separa el concepto de espacio abstracto del espacio de la experiencia real.

Desde que la idea del espacio no ha sido considerada solamente como una idea abstracta, las ideas arquitectónicas sobre

⁷ Ibid.

⁸ Ibid.

⁹ Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy* (London,: Dawson, 1968).

el espacio físico pueden ser relacionadas con la concepción del espacio en la filosofía y en las ciencias. De esta forma, Einstein describió en 1953 lo siguiente: "cualquier trabajo de arquitectura sigue tres premisas del espacio físico: el espacio como lugar, el concepto absoluto de espacio tridimensional y el concepto relativo de espacio-tiempo" ¹⁰ .

3.3. ARQUITECTURA COMO EXPRESIÓN DE LA CIENCIA

Los conocimientos sobre ciencia son los que hacen evolucionar al pensamiento humano. Pero esta inquietud del científico por el conocimiento puede ser extrapolable a la producida por el arquitecto. Así, esta inquietud será doble por parte del arquitecto: por un lado estará la continua reflexión sobre el concepto de arquitectura y su espacio y, por otro lado, existirá la inquietud de querer aplicar los conocimientos producidos por la ciencia en la arquitectura. De esta forma surge la pregunta: ¿se puede responder o dar expresión a los nuevos conceptos de la ciencia mediante la construcción arquitectónica? ¿Con esta expresión de la ciencia en la arquitectura podemos hacer avanzar a la concepción del espacio arquitectónico? ¿La arquitectura debe dar expresión a los nuevos conceptos científicos? ¿Que relación existe entre la construcción de un objeto arquitectónico y otro científico? ¿Puede un espacio arquitectónico concentrar los significados cristalizados de la ciencia en ese tiempo preciso o puede ser el espacio superior en concepción a los resultados de la ciencia del momento?

La aplicación de metáforas de ciencia sobre el trabajo de la arquitectura es limitada. Existen varios puntos de vista para relacionar la arquitectura como ciencia a través de objetos, de la práctica o mediante el discurso teórico¹¹. Sería cuestión de ver si mediante la pregunta de qué hace una buena metáfora, nosotros pudiésemos aprender las relaciones entre ciencia y arquitectura como por ejemplo en: circulación, movimiento físico, función, estructura, etc. En este preciso momento se presenta el peligro de la analogía.

¹⁰ Jammer, *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics*.

¹¹ Peter Louis Galison and Emily Ann Thompson, *The Architecture of Science* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1999).

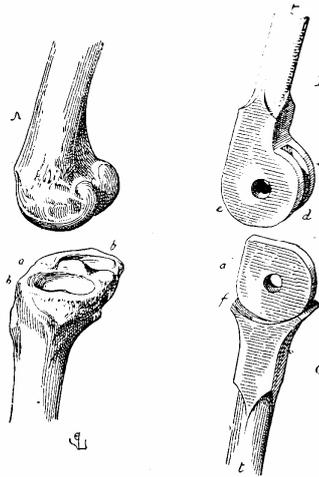


Fig. 3. E.E. Viollet-le-Duc, *Mémoires d'un dessinateur* (1879).
Aplicación de la articulación entre huesos para la ingeniería.

El peligro de esta analogía puede desarrollarse mediante conexiones metamórficas que generen un manierismo de modernidad¹² sobre la forma arquitectónica, que es lo que en la actualidad está ocurriendo en la arquitectura, donde la continua obsesión con la teoría científica puede producir estrategias formales en la arquitectura no correspondidas con el fin primigenio de esta, es decir, investigar sobre el espacio arquitectónico. Por ejemplo, con la teoría del caos y la geometría fractal, las personas sienten un especial interés; pero estos conceptos son complicados de aplicar al espacio arquitectónico o a la membrana-envolvente como se verá en el capítulo 9. La teoría del caos, al igual que la geometría fractal es una posibilidad de ordenamiento y crecimiento mediante una ley natural que es interesante conocer, pero no se puede aplicar tal cual a la arquitectura. Tampoco se debe acusar a la arquitectura de inhumana, como hizo Benoit Mandelbrot, quien opinaba que la Bauhaus era "inhumana" por su simple geometría mientras que la geometría fractal era la supuesta con que la naturaleza se organizaba a pesar de los cambios de escala¹³. En este sentido no comparto estas opiniones ya que no se puede olvidar con que se relaciona la arquitectura, es decir, con el hombre y la materia en una escala determinada. Así, como ya estudiara Galileo en su libro *Dialogues concerning two new sciences*, las características de resistencia material se ven afectadas por los cambios de escala, al igual que la relación

¹² Alberto Pérez-Gómez, "Architecture as Science: Analogy or Disjunction?," in *The Architecture of Science* (Cambridge: MIT Press, 1999).

¹³ *Ibid.*

entre la arquitectura y el hombre a través del espacio creado varia en función de la escala (véase el capítulo 4.5 Estructura y Escala).

La arquitectura y el espacio arquitectónico son creados por el ser humano, el cual es un ser técnico, como lo definió Ortega y Gasset. De esta forma, el ser humano crea un nuevo mundo sobrepuesto al natural, creando objetos nuevos con su técnica. Estos elementos deberán seguir unas leyes tecnológicas de producción que le facilitaran su montaje y ejecución siendo formas simples y geométricas.

En los inicios de la cultura occidental, la ciencia y la arquitectura eran una misma cosa. La filosofía y la ciencia se dirigían hacia la revelación de la verdad. Una verdad entendida desde el *Timeo* de Platón como una correspondencia matemática. Así, el cosmos del arquitecto era el cosmos de Platón por lo que la arquitectura revelaba por analogía el orden creado por el cosmos, de la Naturaleza y del ser humano¹⁴. De esta forma, el *Timeo* se volvió modelo tanto para la arquitectura como hasta para la Física de Newton¹⁵.

Nos encontramos en un momento muy interesante que puede ser el comienzo de una nueva etapa. Pero no hay que dejarse llevar por la simple analogía de la ciencia dentro de la arquitectura, en donde los arquitectos quieren ser científicos, sino que debemos intentar incorporar los conocimientos científicos y además procurar que las cuestiones profundas del espacio sean resueltas por la arquitectura. Un punto de partida para esto puede ser volver a la unidad perdida del arquitecto, científico, filósofo e humanista que llegó hasta el Renacimiento en donde la especialización del conocimiento los separó.

¹⁴ Jammer, *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics*.

¹⁵ Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*.

3.4. CONCEPCIONES DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO

Posiblemente, la visión de la concepción del espacio a lo largo de la historia explicada por Sigfried Giedion¹⁶ resulta una de las más clarificadoras. Él presenta la historia de la arquitectura como una sucesión de diferentes concepciones del espacio arquitectónico, agrupadas en tres tipos. La primera concepción del espacio es la que se desarrolla en la época Mesopotámica, del Antiguo Egipto y Grecia, y consiste en entender al espacio arquitectónico como el espacio de radiación de los volúmenes de los objetos, de relación con otros y de interacción entre ellos. De esta forma, puede ser vista una relación directa con la primera de las concepciones filosóficas del espacio en la antigüedad, que consistía en percibir el espacio como relación entre objetos. Así, la arquitectura puede ser entendida como un volumen que permanece en el espacio, como es el caso de las Pirámides de Giza y del Partenón de Atenas.

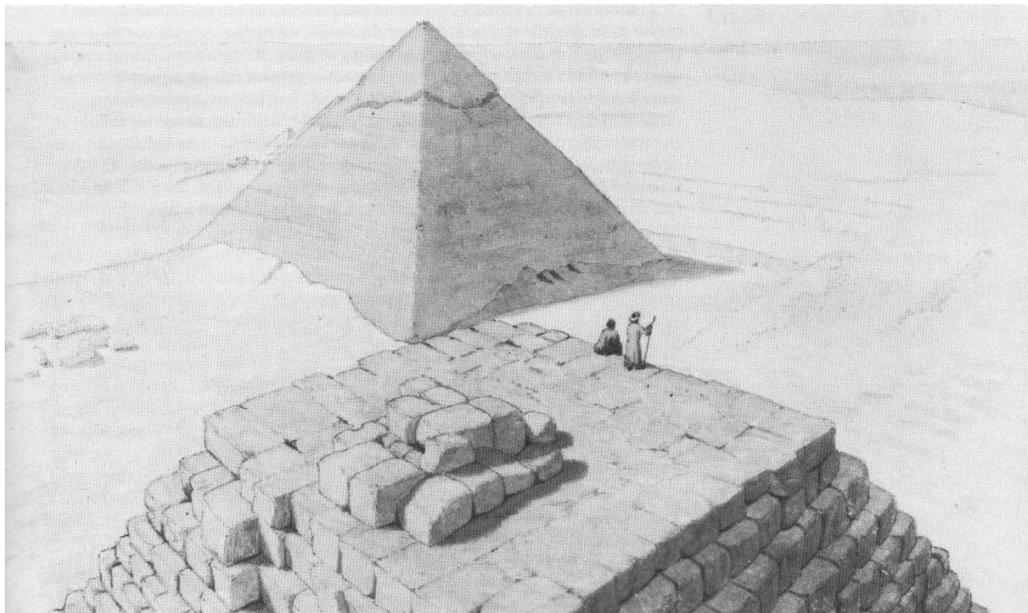


Fig. 4. Vista de la Pirámide de Kefrén desde la Pirámide de Keops.
Dibujo de Edward Lane hacia el 1826-1827.

La segunda concepción del espacio arquitectónico se basa en valorar la arquitectura como espacio interior, compartiendo la segunda idea filosófica de la antigüedad referente al espacio como contenedor de cosas. Comienza con la época romana y continúa en la medieval y el Renacimiento, llegando incluso al Barroco. En esta

¹⁶ S. Giedion, *Architecture and the Phenomena of Transition; the Three Space Conceptions in Architecture* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971).

segunda concepción se trata de ir ahuecando el espacio interior y de perforar en el perímetro construido. Esto es posible gracias a las invenciones sobre nuevas técnicas y materiales de construcción que hicieron posible empezar a abrir huecos en el muro (aparece el hormigón romano y las nuevas técnicas para ejecutar el arco, la bóveda y la cúpula). Desde el Panteón de Roma ha habido una constante evolución de la forma del espacio interior y de su iluminación. El uso de la luz fue el principal elemento que ha configurado esta segunda concepción del espacio (termas romanas, catedrales góticas, cúpulas barrocas, etc.).



Fig. 5. Cúpula del Panteón de Roma.

Este uso de la luz, que tiene su origen en la apertura de huecos sobre el cerramiento, llegará al extremo de poder desintegrar una pared con la utilización del vidrio. Pero el uso del vidrio plano de grandes dimensiones no estará listo para ser usado hasta el S. XIX, momento en que la producción de éste entra en la industrialización de la mano de los ingenieros.

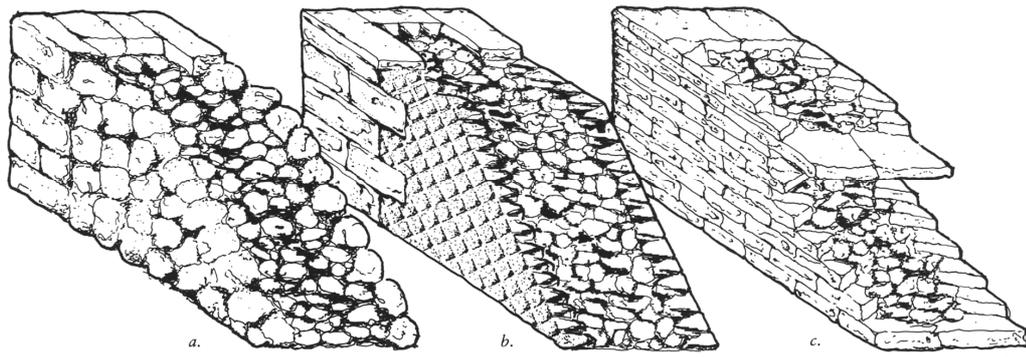


Fig. 6. Muros de Hormigón romano: a) opus incertum, b) opus reticulatum, c) opus testaceum

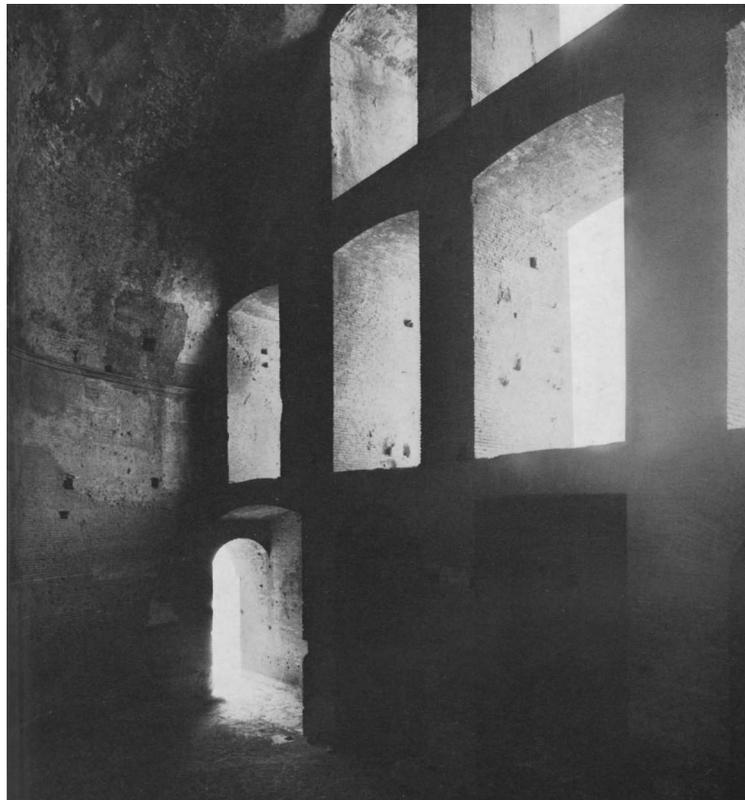


Fig. 7. Apertura de huecos en el muro romano

La tercera concepción del espacio, que define Giedion, es la consideración de la arquitectura como volumen y como espacio interior simultáneamente, es decir, la interacción entre el espacio interior y el exterior. En esta tercera concepción del espacio todavía nos encontramos en su comienzo de experimentación, por lo que resulta de un especial atractivo. Es de vital importancia analizar como se ha producido esta última evolución, ya que nos puede llevar a comprender ciertas claves que nos ayuden

a avanzar en una nueva concepción del espacio arquitectónico. Este progreso es debido a un nuevo uso de los materiales junto con los revolucionarios métodos de construcción desarrollados por la industria durante el S. XIX. Aparece el acero y el vidrio plano y con ellos la transparencia y la luz, tendiéndose a una desmaterialización de los límites del espacio interior.



Fig. 8. Vista interior de una nave lateral del Crystal Palace de J. Paxton, Londres 1851.

Una clasificación similar a la que propone Giedion es la que realizó Cornelis van de Ven¹⁷, quien propuso poder desarrollar la idea del espacio arquitectónico a través de una unidad entre lo material y lo espacial:

"...desde un punto material, la idea del espacio nos lleva a la tesis de una unidad espacial-plástica,

¹⁷ Cornelis van de Ven, *Space in Architecture : The Evolution of a New Idea in the Theory and History of the Modern Movements* (Assen: Van Gorcum, 1978).

encontrando la expresión en tres maneras: un espacio exterior (masa), un espacio interior y la culminación en la interpenetración de los dos espacios, el interior y el exterior. Toda renovación en la expresión espacial comenzará desde una de estas premisas universales."

Quiero añadir a esta definición que la verdadera renovación del espacio arquitectónico vendrá fundamentalmente del entrelazamiento del espacio interior con el exterior, es decir, de la tercera concepción que establece Giedion.

El avance a lo largo de la historia de la concepción del espacio arquitectónico, creo que está en relación directa con el avance de la ciencia y de la tecnología. La revolución tecnológica de los últimos cien años ha proporcionado una nueva dimensión técnica de las nuevas posibilidades en la concepción del espacio arquitectónico, ya que, con la tecnología y los nuevos materiales, se pueden establecer unas nuevas relaciones entre ellos y los elementos esenciales de la naturaleza que componen la arquitectura, es decir, la luz y las leyes físicas. El hombre es por naturaleza un ser técnico, que tratar de crear un nuevo mundo (arquitectura) a parte de la naturaleza, pero que seguirá usando sus leyes y elementos principales (luz, gravedad, leyes físicas...). De esta forma, existe una contradicción, el hombre pertenece a la naturaleza y se enfrenta a ella, transformando los objetos del mundo corpóreo y creando nuevos instrumentos y materiales¹⁸, los cuales serán capaces de construir un espacio arquitectónico bajo una idea.

3.5. LA REVOLUCION TECNOLÓGICA Y LA NUEVA CONCEPCIÓN DEL ESPACIO

Actualmente nos encontramos en un momento fascinante de posibilidades de pensamiento con respecto a una nueva concepción del espacio arquitectónico. Hoy en día existe tanto una técnica desarrollada como una buena experimentación sobre materiales conocidos y sobre otros nuevos. Solamente falta tener claro el enfoque de cómo orientar el pensamiento y su esfuerzo para dar así un paso hacia adelante en la concepción del espacio arquitectónico.

¹⁸ Ortega y Gasset, *Meditación De La Técnica Y Otros Ensayos Sobre Ciencia Y Filosofía*.

Nos encontramos, como diría Giedion, en la tercera etapa de la concepción del espacio, joven todavía, la cual se caracteriza por la unión de la concepción simultánea del espacio interior y exterior, produciendo una interesante interacción entre ambos. Esta interacción clara interior-exterior, que se manifiesta hoy día, ha sido posible gracias al desarrollo técnico que ha producido una gran mejora sobre el comportamiento y entendimiento estructural de un edificio.

Esta evolución estructural ha sido causada por el desarrollo del hierro como material de construcción. Así, a mediados del siglo XIX, se comenzó a desarrollar tanto el hierro fundido como el hierro forjado. Gracias a este material y a los audaces diseños que los ingenieros desarrollaron, los comienzos de la arquitectura moderna pudieron empezar¹⁹. De esta forma, esta aplicación del hierro al espacio arquitectónico empezó con la Bibliothèque Sainte Geneviève (1843-1850) de Henri Labrouste en París y el Crystal Palace (1850-1851) de Joseph Paxton en Londres, continuando posteriormente con la Galerie des Machines (1886-1889) de Victor Contamin en París.

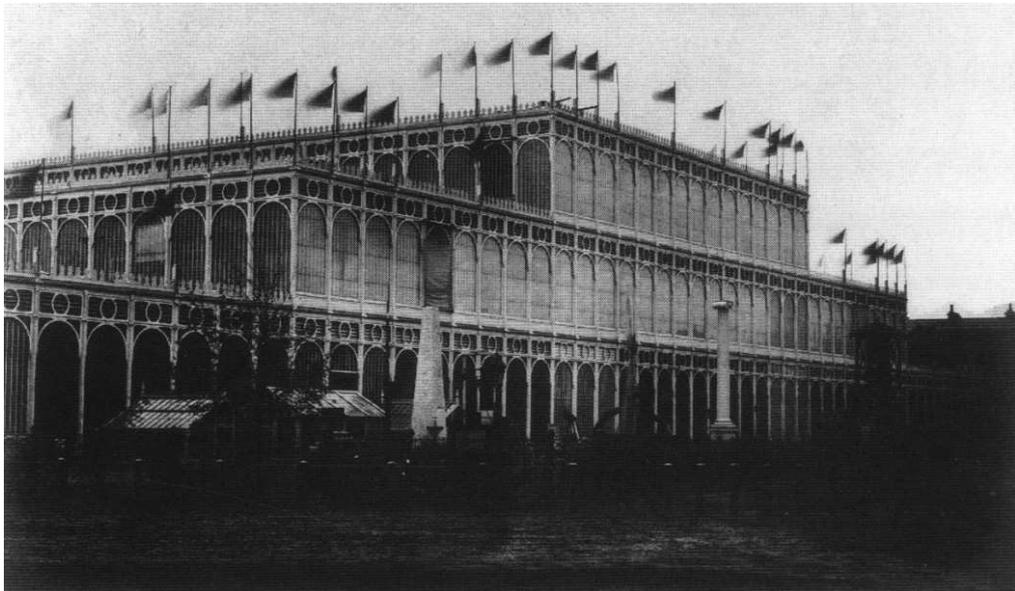


Fig. 9. Vista exterior del Crystal Palace de J. Paxton, Londres 1851.

¹⁹ Ivan Margolius, *Architects + Engineers = Structures* (Chichester: Wiley, 2002).

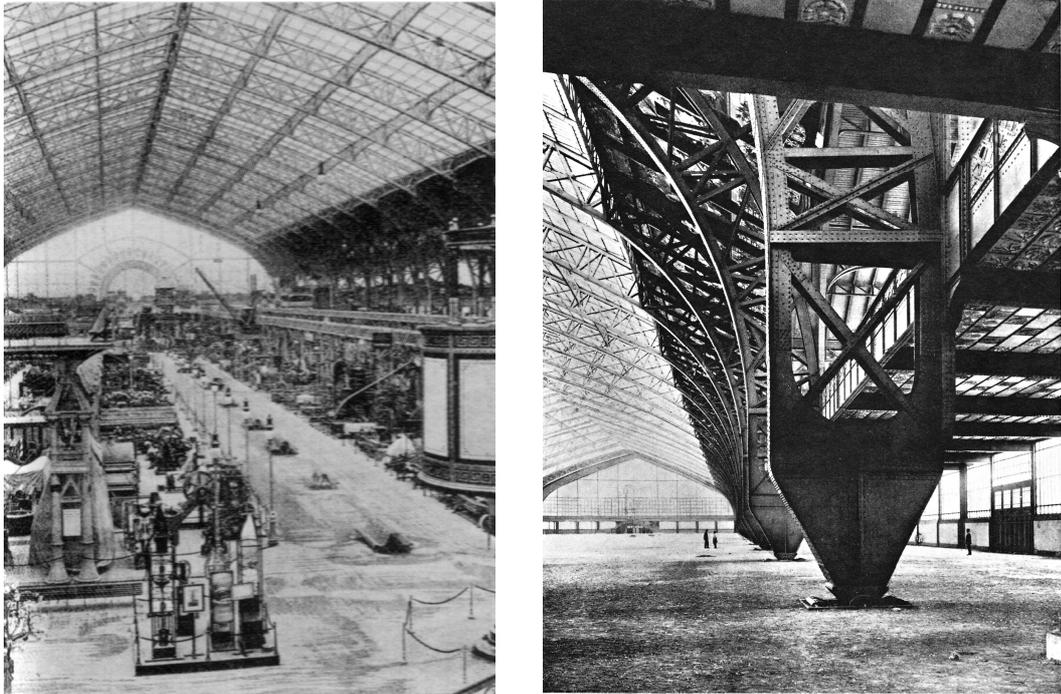


Fig. 10 y 11. Vistas interiores de la Galerie des Machines (1886-1889) de Victor Contamin en París.



Fig. 12. Interior de la Bibliothèque Sainte Geneviève de H. Labrouste, París 1843.

No solamente el hierro fue utilizado como material especial para las estructuras, sino que este fue mejorado hacia el acero, en cuya manufactura fueron pioneros Henry Bessemer y Robert Mushet en 1850. Después fue combinado con el hormigón, primero con mallas de hierro y luego con barras de acero, apareciendo el hormigón armado a finales del siglo XIX. Este nuevo material, que implicaba una nueva técnica del acero y hormigón, permitió nuevas

posibilidades en el diseño arquitectónico. De esta manera, Le Corbusier estableció la libertad del cerramiento respecto a la estructura de hormigón armado de la Casa Domino (1914), la cual ofrecía nuevas posibilidades a la concepción del espacio arquitectónico.

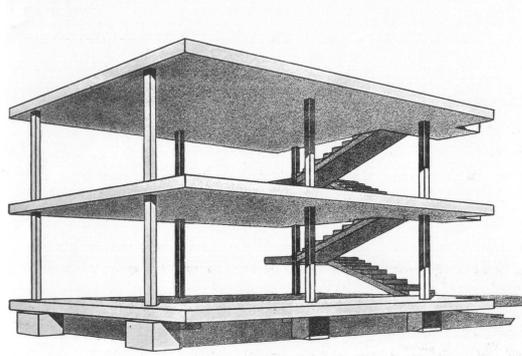


Fig. 13. Estructura tipo Domino, Le Corbusier, 1914.

Mies van der Rohe incorporó la base del edificio americano de estructura de acero en sus diseños cuando llegó a los Estados Unidos en 1937. Él consiguió transformar el esqueleto de acero en una simple jaula llena de una variedad de materiales, como vidrio, hormigón, piedra, etc. usando la estructura como generadora de la forma²⁰ y como elemento ordenador del espacio.

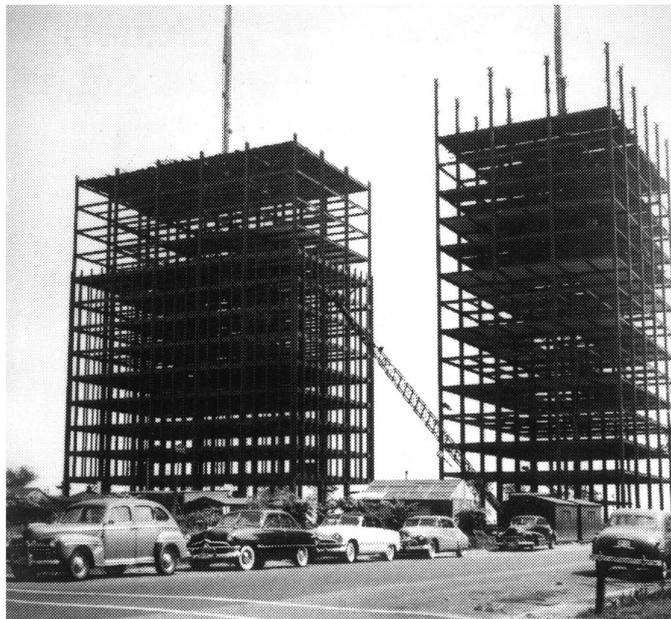


Fig. 14. 860-880 Lake Shore Drive en Construcción, Mies van der Rohe, Chicago 1949-51.

²⁰ Ibid.



Fig. 15. 860-880 Lake Shore Drive, imagen exterior, Mies van der Rohe, Chicago 1949-51.

4. TÉCNICA Y ESTRUCTURA & MATERIALES

4.1. INTRODUCCIÓN: ESPACIO, ESTRUCTURA Y TÉCNICA

La estructura es uno de los elementos esenciales del espacio a lo largo de toda la historia de la arquitectura. Además, según cómo se plantee será la encargada de ayudar a comprender la relación entre el espacio interior y el contorno del espacio arquitectónico. Además la estructura es lo que hace posible el espacio arquitectónico ya que es capaz de ofrecer unidad, equilibrio, resistencia y durabilidad. De esta forma, como Frampton comenta, la estructura se presenta como la esencia irreducible de la forma del espacio arquitectónico¹ y, así, este debe ser necesariamente envuelto por una forma estructural construida.

La estructura, la cual expresa el dibujo de la fuerza de la gravedad sobre la arquitectura, posee diferentes formas de presentarse en un espacio arquitectónico, las cuales pueden ser de tres tipos: visible totalmente, ocultamiento por completo y manifestación mediante el revestimiento con otros materiales. Sea cualquiera de las tres, visible o no, el sistema estructural es también lo que le ofrece un orden aparente al edificio. El arquitecto debe elegir la estructura propuesta en función de la idea de proyecto que quiera transmitir, para posteriormente llevar la estructura al mínimo, es decir minimizarla desde un punto de vista racional, por lo que la estructura no debe ser sobredimensionada ni expresionista² más allá de su función espacial y estructural.

¹ Frampton, *Labour, Work and Architecture*.

² Otl Aicher, Wolfgang Jean Stock, and Michael Robinson, *The World as Design* (Berlin: Ernst & Sohn, 1994).



Fig. 1. Antonio Gaudí. Capilla de la Colonia Güell, Barcelona, 1898-1914. Modelo que representa las fuerzas exteriores calculadas sobre la superficie a modo de cargas puntuales repartidas de manera infinitesimal. Gaudí usaba este método no solamente para hacer un modelo estructural sino también para comprobar el acabado estético de la superficie exterior del cierre.

Para Mies van der Rohe, la estructura representaba la esencia del espacio y, también para él, la estructura y el espacio son uno. Además, la relación entre estructura, tecnología y arquitectura resulta fundamental, como podemos apreciar en sus siguientes palabras³:

"La arquitectura depende de su tiempo. Ella es una cristalización de su estructura interior. Esa es la razón de por qué la tecnología y la arquitectura están tan próximas (familiares). Nuestra esperanza real es que ellas crezcan juntas, y que algún día una de ellas sea la expresión de la otra. Solamente entonces tendremos una arquitectura digna de su nombre: la Arquitectura como un símbolo de verdad de nuestro tiempo."

Pero además Mies van der Rohe decía que una estructura clara es la columna vertical de todo ello y es lo que hace posible la planta libre⁴. Esto entra en total relación con los principios

³ Myron Goldsmith and Werner Blaser, *Buildings and Concepts* (New York: Rizzoli, 1987).

⁴ Arne Petter Eggen and Bjorn Normann Sandaker, *Steel, Structure, and Architecture* (New York: Whitney Library of Design, 1995).

básicos de la arquitectura moderna expresados mediante la planta libre y la estructura clara que tanto abogara Le Corbusier en sus cinco puntos de la arquitectura.

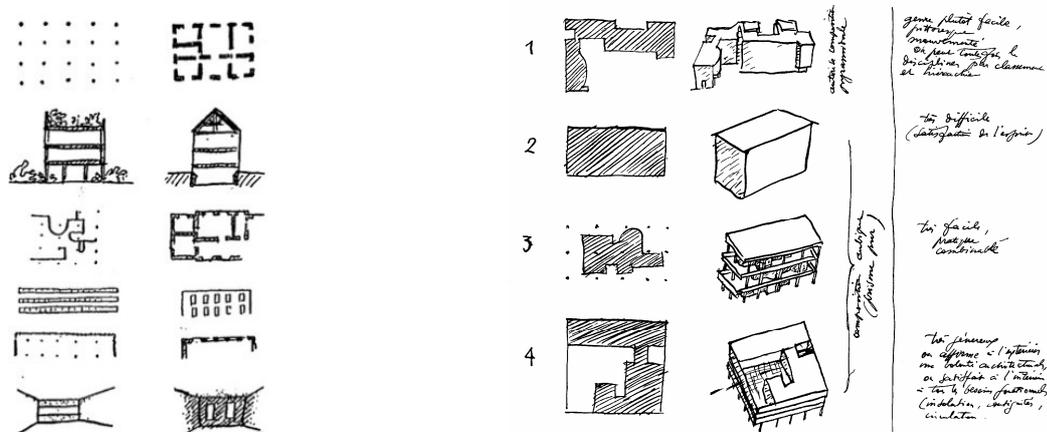


Fig. 2 (izquierda). Croquis comparativos de Le Corbusier para mostrar los cinco puntos para la nueva arquitectura (1926).

Fig. 3 (derecha). Las 4 composiciones de Le Corbusier (1929) basadas en los cinco puntos: 1) Ejemplo de la casa La Roche, 2) Casa en Garches; 3) Casa en Stuttgart; 4) Villa Savoie.

Uno de los cinco puntos de una nueva arquitectura, que plantea Le Corbusier, es la planta libre, la cual consiste en:

"La planta libre. Hasta ahora, muros portantes; partiendo del subsuelo se superponían, constituyendo la planta baja, los pisos y llegando a la cubierta. La planta resultaba esclavizada por los muros portantes. En la casa, el hormigón armado aporta la planta libre. Los pisos ya no se han de superponer según la organización de los muros. Son libres. Gran economía del espacio construido, empleo riguroso de cada centímetro. Gran economía de dinero. Como racionalismo de la nueva planta."⁵

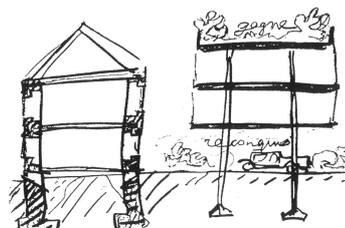


Fig. 4. Esquema comparativo de Le Corbusier sobre la construcción con muros de carga y con estructura reticulada de pilares.

⁵ Le Corbusier, *Précisions Sur Un État Présent De L'architecture Et De L'urbanisme* (Paris: Crès. Collection de L'Esprit Nouveau, 1930).

4.2. MATERIALES Y TÉCNICA

La relación entre la forma y el material es inseparable y es necesario conocer las posibilidades técnicas para poder manipular un material y obtener ciertas formas. Esto mismo pensaba Gottfried Semper, de tal forma que, para él, cada trabajo pertenecía a dos campos técnicos diferentes: uno el de la forma y otro el del material⁶.

Así, atendiendo a la distinción que realizó Semper entre los trabajos técnicos, se pueden distinguir a primera vista cuatro tipos según las propiedades físicas de las materias primas que los componen. Éstos son: el trabajo textil, el cerámico, el tectónico y el estereotómico. A estos anteriores, Semper añadiría un quinto, el cual sería el trabajo del metal. Semper explica las posibilidades de cada tipo de trabajo técnico y sus posibles mezclas. Así, el arte cerámico es el que abarca todos los estudios de vasijas de todos los tipos, incluyendo las realizadas en vidrio, piedra y metal. También se incluyen los ladrillos, tejas, la terra-cotta, la teja o la baldosa vidriada usada para revestir paredes y pavimentos en suelos, así como teselas de vidrio y arcilla coloreada que son usadas para incrustaciones y otros productos cerámicos. Pero él define que, *"bajo un punto de vista estilístico, estos últimos materiales con aplicaciones cerámicas pertenecen más tanto al trabajo estereotómico como al trabajo textil."*⁷

Respecto al trabajo textil, Semper no lo quiere limitar solamente al trabajo de fabricación textil y pretende aplicarle un concepto más amplio, aplicándolo también al campo de la arquitectura. Así, distingue entre el trabajo del atado, es decir, las uniones, y el trabajo de cubrición, siendo ambos trabajos opuestos respecto a su significado: la pluralidad frente a la unidad respectivamente⁸.

⁶ Gottfried Semper and Introduction by Harry Francis Mallgrave, *Style in the Technical and Tectonic Arts; or Practical Aesthetics* (Los Angeles: Getty Publications, 2004).

⁷ Ibid.

⁸ Gottfried Semper, *The Four Elements of Architecture and Other Writings, Res Monographs in Anthropology and Aesthetics* (Cambridge England ; New York, NY: Cambridge University Press, 1989).

Lo mismo entiende respecto a lo tectónico, del cual considera que posee un amplio ámbito, abarcando desde las estructuras de madera para techos y sus soportes, pasando por el trabajo de ebanistería de muebles, hasta algunos aspectos de la albañilería y de la construcción con metal. Sin embargo, para Semper la madera es el material tectónico más importante y lo relaciona con las estructuras ligeras, móviles y no monumentales⁹.

La estereotomía (termino griego compuesto por *stereos*, sólido y *-tomia*, que significa corte) según afirma Semper "abarca el trabajo de la piedra (mampostería de ladrillo o piedra, muros de hormigón en masa...) y de la excavación, incluyendo en este último el trabajo de incrustaciones y tallado en madera, marfil o metal... incluso el oficio de la joyería depende de esta técnica derivando de esta su acabado estilístico"¹⁰. Así, la importancia de la técnica y su aplicación al acabado y forma material puede ser entendida con el ejemplo del trabajo de joyería como trabajo estereotómico. Bajo un punto de vista arquitectónico, la estereotomía es la técnica estructural que más influencia ha tenido en la historia de la arquitectura ya que con esta técnica se identifica la arquitectura monumental clásica.

La quinta división de Semper es el trabajo técnico del metal, el cual es capaz de combinar los cuatro tipos expuestos anteriormente (cerámico, textil, tectónico, estereotómico). El metal es capaz de ofrecer un gran número de técnicas límites e intermedias más que cualquier otro material¹¹. Por ejemplo, el trabajo con el metal posee técnicas tan diferentes como: el repujado (gracias a su maleabilidad), la forja (técnica intermedia entre el tratamiento del metal duro, la masa flexible y el tratamiento estereotómico como un sólido denso), estampado y acuñado, soldadura y ribeteado, esmaltado, dorado... Pero es curioso que Semper no le preste suficiente atención a este material bajo un punto de vista arquitectónico, e incluso resulta más sorprendente aún cuando explica las diferencias de los trabajos técnicos en el libro *Style in the Technical and Tectonic Arts or Practical Aesthetics*, escrito nueve años después de su

⁹ Semper, "Introduction to *Style in the Technical and Tectonic Arts*", en Isabelle Frank, *The Theory of Decorative Art : An Anthology of European & American Writings, 1750-1940* (New Haven Conn.: Published for the Bard Graduate Center for Studies in the Decorative Arts New York by Yale University Press, 2000).

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

fascinación por el Crystal Palace de la Exposición Universal de 1851 en Londres. Bajo mi punto de vista, el acero y primero el hierro suponen la revolución tecnológica que cambiará la arquitectura del siguiente siglo, algo que Semper intentó investigar sobre la importancia de los nuevos materiales, como muestra su folleto sobre el tercer tomo de *Style in the Technical and Tectonic Arts or Practical Aesthetics* nunca escrito:

*"Un enorme campo de inventiva se nos revelará una vez que intentemos hacer uso artístico de nuestras necesidades sociales como factores en el estilo de nuestra arquitectura en el mismo camino como ha sido hecho en el pasado; mientras, sería apenas posible solamente a través de los nuevos materiales y sus usos en nuevos métodos de construcción para traer una decisiva y duradera oportunidad en la arquitectura, e incluso menos mediante el simple poder de un genio quien ha ideado su tan llamado nuevo estilo."*¹²



Fig. 5. Gottfried Semper (1803-1879)

Respecto a una visión de las características y resistencias estructurales de los trabajos técnicos que Semper diferenció, se pueden fijar las siguientes:

- a) Textil: flexible y resistencia fuerte a la tensión.
- b) Cerámica: material plástico y trabajo suave.
- c) Carpintería (tectónico): trabajando con trozos de madera resistente a fuerzas a lo largo de su longitud (*"elástico y relativamente firme"*¹³).

¹² Harry Francis Mallgrave, *Gottfried Semper : Architect of the Nineteenth Century* (New Haven, CT: Yale University Press, 1996).

¹³ Harry Francis Mallgrave, *Gottfried Semper: Architect of the Nineteenth Century* (New Haven: Yale University Press, 1996).

d) Mampostería (estereotómico): trabajando con agregaciones sólidas resistentes a compresión (*"firme, densamente agregado, resistente al aplastamiento y combamiento, y así de su considerable y conveniente firmeza o buen trabajo para la extirpación de partes de masa de cualquier forma elegida, para ser combinada en piezas regulares dentro de un sistema estable, en el cual la firmeza sea el principio de construcción"*¹⁴)

e) Metal: comparte las características de los cuatros anteriores.

Además, estos cinco puntos responden a cinco industrias respectivamente. Así, los cuatro elementos de Semper (el hogar, el trabajo de tierra, la estructura y techo, el cierre de la membrana) pueden ser relacionados con las características técnicas que desarrollan las industrias anteriores:

1. El hogar o el espacio central relacionado con la chimenea se relaciona con las ideas de la industria de la cerámica y del trabajo del metal.
2. El trabajo de la tierra y preparación del terreno es relacionado con los niveles de desarrollo de lo estereotómico.
3. La estructura se relaciona directamente con la industria de la carpintería y metalurgia principalmente, aunque también con la estereotómica, como la historia del muro de carga y el hormigón armado han demostrado conformando estructuras que encierran espacios.
4. El cierre o membrana se relaciona con la técnica de la industria textil y con la de la industria de la junta seca o tectónica. También se puede relacionar con la industria de lo estereotómico cuando la estructura y el cerramiento están unidos.

¹⁴ Ibid.

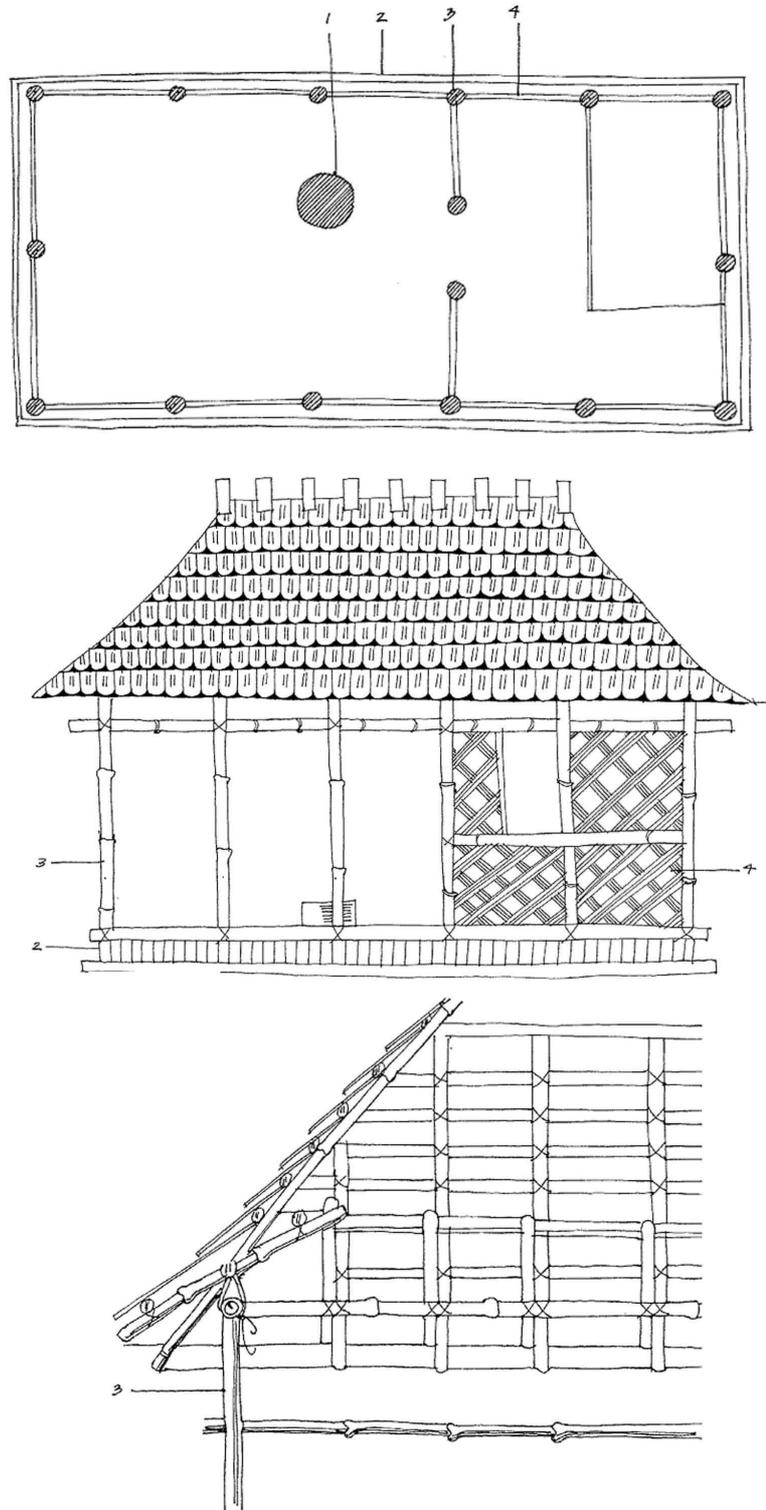


Fig. 6. Dibujos de la cabaña caribeña de la Gran Exposición de 1851. Gottfried Semper, ilustración de *Der Still in den technischen und tektonischen Künsten*, 1860-1863 (números en relación con los cuatro elementos de Semper).

4.3. LA MATERIALIDAD DE LA FORMA ESTRUCTURAL

Para Mies van der Rohe la forma arquitectónica era una consecuencia directa de la estructura. De esta manera, se quiere explicar la relación básica entre la expresión estructural como expresión del espacio.

Pero además, la estructura depende exclusivamente de su componente material, es decir, de qué clase de material resistente está conformada. Así, Le Corbusier en su artículo tributo al Crystal Palace en *The Architectural Review* de Febrero 1937, dos meses después de su último incendio y consecuente desaparición, escribió:

*"La arquitectura no es una manifestación de estilos de las escuelas. Es una manera de pensamiento, de alcanzar un orden y de expresar los problemas contemporáneos en términos de materiales."*¹⁵

En el siglo XIX, Semper, influido por el proyecto de Paxton del Crystal Palace, distinguió conceptualmente entre *estructura-técnica* y *estructura-simbólica*¹⁶. La primera tiene su razón de ser como parte de la función estructural, por lo que posee un valor ontológico que no puede ser separado del valor tecnológico. Mientras, la segunda tiene su razón de ser en que el elemento debe representar el papel que juega el conjunto estructural del edificio, por lo que la estructura-simbólica adquiere un valor de representación.

Además, Semper diferenció la forma construida en dos tipos de producción material: *tectonic of the frame* y *stereotomic of the earthwork* según explica Frampton¹⁷. La primera, *tectonic*, es definida por elementos de longitud variable que son unidos para abarcar un espacio; estará formada por materiales como la madera y sus variantes como el bambú y el trabajo de mimbre. El segundo, *stereotomic*, será definido como la masa comprimida que puede abarcar un espacio a través de la acumulación de unidades idénticas. Este término estereotómico, según Frampton, deriva del

¹⁵ Le Corbusier, "A Tribute," *The Architectural Review* 1937 (junio), p. 72.

¹⁶ Semper, *The Four Elements of Architecture and Other Writings*.

¹⁷ Kenneth Frampton, "Rappel a L'ordre: The Case for the Tectonic," in *Labour, Work and Architecture*, ed. Kenneth Frampton (London: Phaidon Press, 2002).

termino griego *stereos* (sólido) y *-tomía* (corte), siendo algunos de los materiales más comunes el ladrillo, la piedra, el muro de carga, tapial y más recientemente el hormigón armado. Desde un punto de vista ontológico (filosófico), se identifica al término *tectonic of the frame* con la tendencia a lo inmaterial relacionándose con el cielo, mientras que el término *stereotomic of the earthwork* es más material, perteneciendo al mundo terrestre. Además desde el punto de vista técnico y de representación, Semper identifica a lo *tectonic* como la realización técnica de una forma y la representación de un recinto cerrado mientras que lo *stereotomic* lo considera como la preparación técnica de un lugar y exposición desde un punto de vista representacional.

4.4. LA ESTRUCTURA Y LOS NUEVOS MATERIALES

En la concepción del espacio arquitectónico, la estructura tiene un papel importante junto con el uso del vidrio y otros nuevos materiales que permiten a la gravedad y a la luz (curiosamente los dos temas que estudia Newton en *Mathematical Principles* y en *Opticks*) ofrecer nuevas relaciones todavía no experimentadas por el ser humano. En esta nueva relación entre estructura y vidrio se encuentra un material, el hierro, que siempre ha existido, pero que con la revolución Industrial del S. XIX y con el apoyo de los ingenieros sufrió una alteración y mejora cambiando por completo su aplicación en la arquitectura. El hierro ha sido usado por el hombre desde tiempos prehistóricos de la Edad de los Metales en la creación de instrumentos técnicos, como por ejemplo el hacha. Pero estas alteraciones de los elementos de la naturaleza para crear un elemento modificado de mejor resistencia y uso es una actitud innata al ser humano como ser técnico. En la arquitectura comenzó el uso de estos nuevos materiales creados o alterados por el hombre, hierro y bronce, junto con los propios de la naturaleza, como eran la piedra o madera. De todas formas, estos nuevos materiales se empezaron a usar con moderación en los edificios griegos y romanos. Incluso, los arquitectos de la antigüedad preferían el bronce frente al hierro ya que el primero era más resistente al paso del tiempo. Después, en el Renacimiento, el hierro no tenía todavía la

confianza para ser usado como material de construcción ya que aun ofrecía poca resistencia frente a la exposición y corrosión, añadiendo a esto una falta de antiguos precedentes prácticos. A esto se añadiría que el hierro no podía ser producido nada más que en relativas cantidades. Incluso León Batista Alberti¹⁸ prefiere materiales en su estado natural, los cuales estén listos para ser usados, frente a aquellos que deben ser creados por la mano y el arte del hombre ("*hominu manu et arte*"). Pero Alberti entra en contradicción ya que el hierro, en esta época del Renacimiento, resulta de una vital importancia ya que es el material que utilizaron tanto Brunelleschi como Miguel Ángel para poder construir la cúpula de Santa Maria del Fiore y la cúpula de San Pedro del Vaticano respectivamente. En estos casos, diseñaron unos cierres perimetrales mediante cadenas de hierro que actuarían de refuerzo ante la tendencia a que la cúpula se abriese en su arranque. Y no hace falta comentar el tan usado vidrio desde tiempos tan remotos como material realmente alterado y creado por el hombre.



Fig. 7. Cúpula de Santa María del Fiore, Florencia.

¹⁸ S. Giedion, *Space, Time and Architecture; the Growth of a New Tradition*, 5th ed. (Cambridge,: Harvard University Press, 1967).

4.5. ESTRUCTURA Y ESCALA

Galileo Galilei fue uno de los primeros científicos que observó que no existía una relación directa entre el tamaño del objeto material y su resistencia. Es decir, en función de la escala de su forma o geometría, sus propiedades de resistencia no podían ser extrapoladas de una manera directa. De tal forma que el tamaño tenía una importancia decisiva en su resistencia estructural, y como consecuencia en su función o uso:

"Si una máquina es construida de una manera en que sus partes soportan a otras en la misma relación que una más pequeña, y si la pequeña es suficientemente fuerte para su propósito, no veo por qué la más grande no lo es."

"Tú puedes ver dolorosamente la imposibilidad de incrementar el tamaño de las estructuras hacia las enormes dimensiones tanto en arte como en la naturaleza, asimismo la imposibilidad de construir barcos, palacios o templos de enorme tamaño en semejantes maneras que sus remos, vigas, tornillos de hierro y en resumen que todas sus partes puedan mantenerse juntas; la naturaleza no puede producir árboles de extraordinario tamaño porque sus ramas se romperían bajo su propio peso."¹⁹

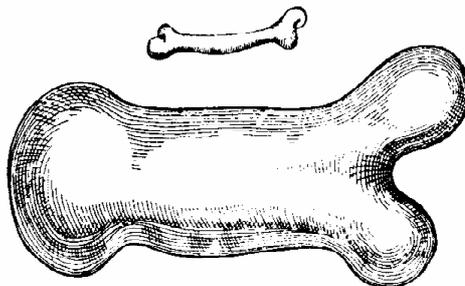


Fig. 8. Dibujo comparativo de distintos tamaños de huesos de Galileo Galilei en *Dialogues Concerning Two New Sciences*, p. 131.

En este sentido, una misma figura geométrica con diferentes escalas y ejecutada con el mismo material posee diferentes características resistentes. Esto es debido a que cuando el tamaño de una estructura es ampliada, el volumen (o el peso) aumenta al cubo mientras que la superficie de soporte de la estructura

¹⁹ Galileo Galilei, Henry Crew, and Alfonso de Salvio, *Dialogues Concerning Two New Sciences* (Evanston, Ill.: Northwestern University Press, 1968) p. 151.

aumenta al cuadrado. De esta forma, la estructura que conforma un espacio arquitectónico no debe tratarse igual en relación con su tamaño, por lo que la geometría nunca puede ser suficiente garantía para predecir una estabilidad estructural, ya que estará en función de la escala del espacio que será construido y, por supuesto, del material. Ante un aumento de escala, la geometría no tendrá tanta importancia como la que sí tendrá el tipo de material. Cuando un espacio arquitectónico sea pensado, se deberá saber a qué escala se quiere ejecutar para llegar a una mejor elección material y de la forma geométrica de la estructura.

*"Entre los prismas o los cilindros fuertes de forma parecida, hay uno y solo uno, el cual, bajo la presión de su propio peso, vive justo en el límite entre la ruptura y no-ruptura, así que uno más grande es incapaz de transmitir la carga de su propio peso y rompe, mientras uno más pequeño es capaz de resistir una fuerza adicional tendiéndose a romper."*²⁰

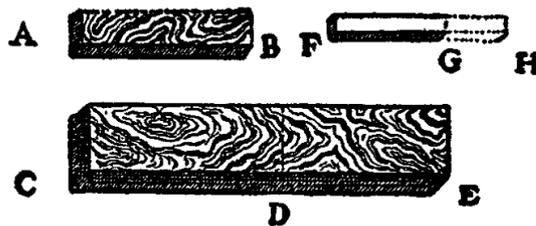


Fig. 9. Dibujo para el estudio del tamaño máximo en donde una figura es capaz de soportar su propio peso. Croquis explicativo de Galileo Galilei en la Proposición VII de *Dialogues Concerning Two New Sciences*, p. 127.

El efecto sobre la eficiencia del incremento de la luz del vano se demuestra en el ejemplo muy simple de una viga de sección rectangular con una carga uniformemente repartida. En la figura siguiente se muestran dos vigas con distinta luz, cada una llevando la misma intensidad de carga. La del vano más largo debe tener un mayor canto a fin de tener la resistencia adecuada. El peso propio de cada viga es directamente proporcional a su canto y así la proporción entre la de carga transmitida y el peso propio por unidad de longitud de la viga (la eficiencia estructural) es menos favorable para la luz mayor.

²⁰ Ibid. P. 126.

Así, en el caso de un vano horizontal, que es el tipo de estructura más común encontrada en la arquitectura, la eficiencia de un elemento con una forma concreta de sección transversal disminuye conforme aumenta la luz. Para mantener un nivel constante de la eficiencia en una serie de tramos, tiene que utilizarse diferentes formas de secciones transversales. Más eficiencia en la forma ha de usarse en tanto en cuanto la luz se incremente, si un nivel fijo de carga en relación con el peso propio (eficiencia) se mantiene constante.²¹

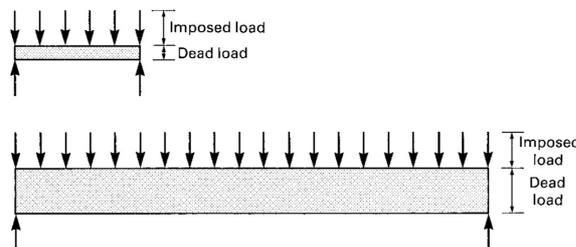


Fig. 10. El peso de una viga es proporcional a su canto, por lo que debe incrementarse en función del incremento de la luz. Por lo tanto, la proporción entre peso propio y la transmisión para una misma cantidad de carga se vuelve menos favorable cuanto más aumente la luz.

De esta forma, podemos comprender que para cada escala se requieren estructuras diferentes y que la forma de la estructura no solucionará el problema estructural sino que servirá solamente para mejorar la relación entre la transmisión de cargas y el mejor aprovechamiento de la resistencia del material.

Un ejemplo clarificador es el análisis de tres proyectos de planta cuadrada de Mies van der Rohe en el que los tamaños varían y consecuentemente el estudio estructural para la cubrición de dichos espacios. En primer lugar tenemos el proyecto para la Casa 50x50, en donde bajo una cubierta totalmente plana y de reducida sección, ésta es sustentada por cuatro pilares en los centros de las caras de los lados (véase Figuras 11 y 12). El segundo proyecto es la New National Gallery de Berlín, en donde se pasa de un tamaño de cubierta de la casa de 50x50 pies (15,24x15,24 metros) a un lado total de 64,80 metros. En los estudios preliminares se puede observar cómo Mies intentó forzar la

²¹ Angus J. Macdonald, *Structure and Architecture* (Oxford: Architectural Press, 1994) p. 62.

colocación de un menor número de pilares junto con la utilización de una sección variable en las vigas de la cubierta (Fig. 13). Finalmente, Mies optó por una solución de ocho pilares, dos a dos enfrentados a cada lado, liberando las esquinas y manteniendo una sección constante en el canto de las vigas de la cubierta (Fig. 14). El tercer proyecto para analizar es el Convention Hall de Chicago (Fig. 15) en donde la dimensión era la de una macroestructura. La gran escala de este proyecto de planta cuadrada era de 720 pies de lado, es decir, unos 219,45 metros de longitud. Mies sabía que la única forma de cubrir dicho espacio era aligerando la estructura, ya que la reducción del peso propio sería clave para este proyecto. De esta forma, la estructura se concibió como una gran estructura espacial en el techo y una cercha de barras en los laterales que conducían las cargas hacia, solamente, los seis apoyos puntuales de cada lado.

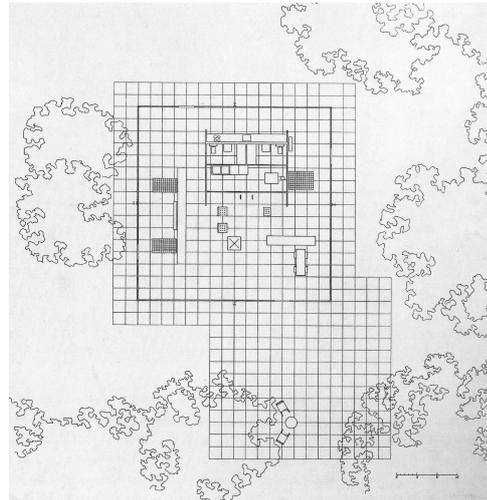
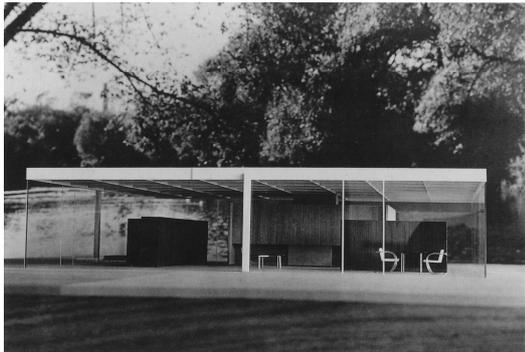


Fig. 11 y 12. Maqueta y planta del proyecto Casa 50x50 (1951-52).
Mies van der Rohe.

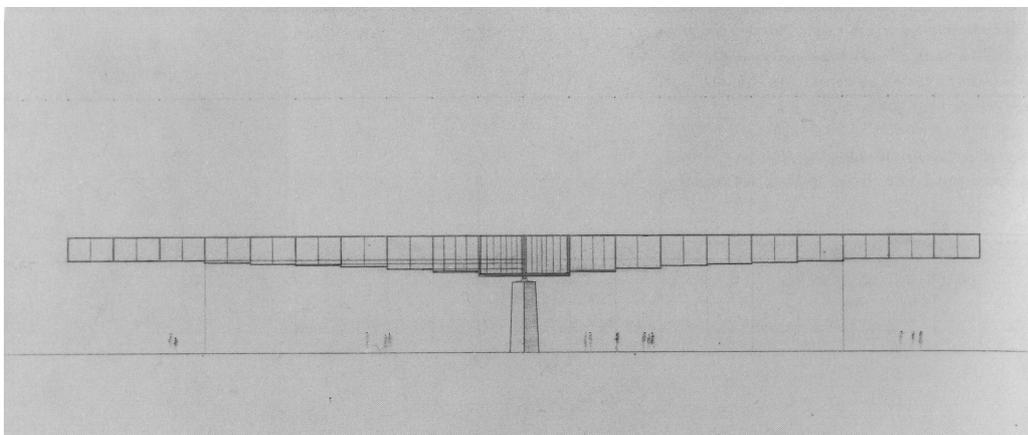


Fig. 13. Dibujo preliminar del alzado de la New National Gallery en Berlín (1962).
Mies van der Rohe.

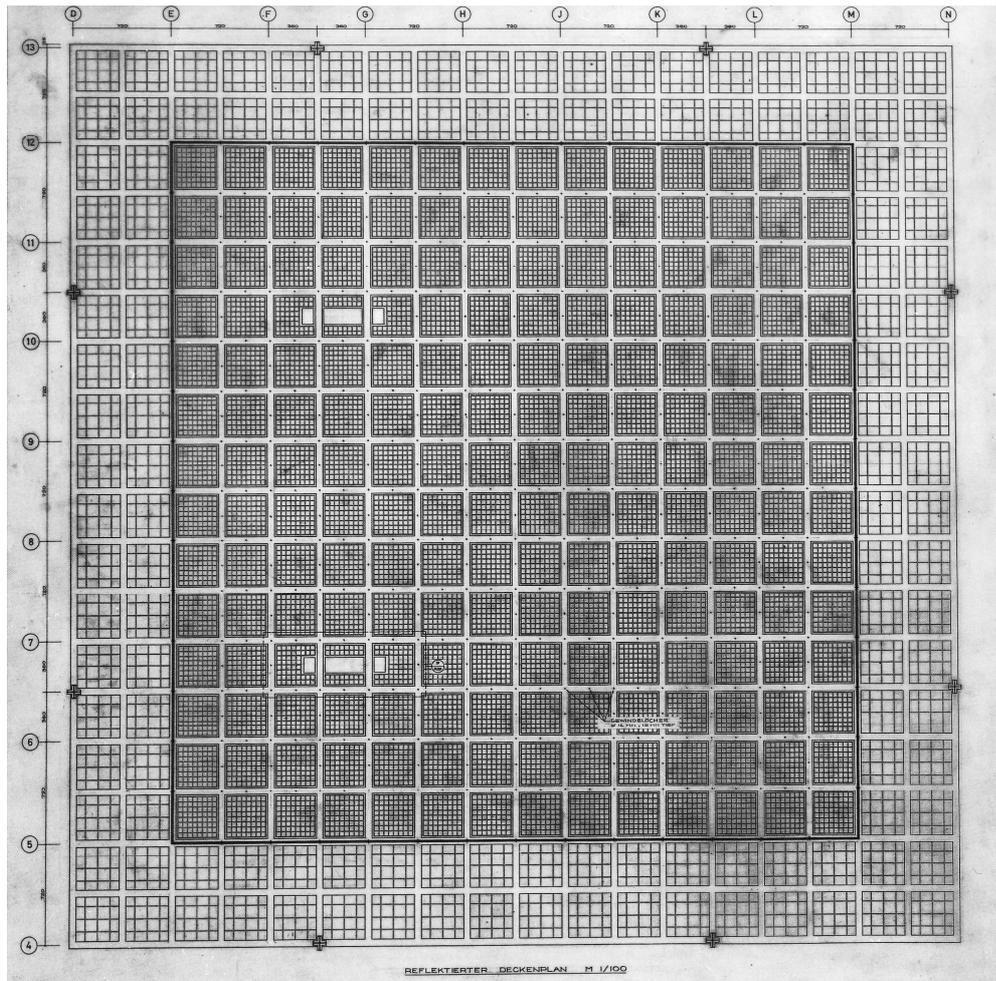


Fig. 14. Planta de techos definitiva de la New National Gallery en Berlín (1968).
Mies van der Rohe.

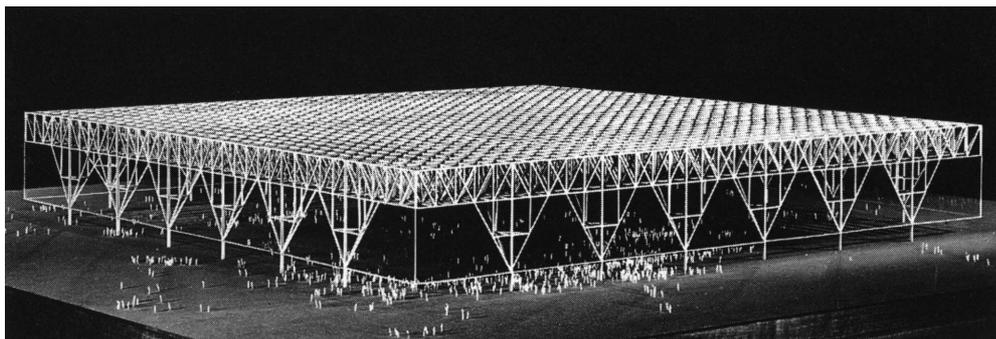


Fig. 15. Convention Hall Project, Mies van der Rohe, Chicago 1953-54,
Maqueta estructural.

Se puede observar en estos tres proyectos, siempre la intención, partiendo de la cubierta de planta cuadrada, de liberar las esquinas de apoyos que hacen percibir a la estructura más ligera e ingrávida. También se aprecia la evolución de las distintas secciones para poder salvar las luces y también para

aligerar de peso propio a la misma. En este caso, la eficiencia local consistente en reducir el peso propio de la estructura mejora la eficiencia global de la misma. Otra observación interesante, con respecto al cambio de escala, es la relación de la cubierta con el sistema de apoyo sobre los pies derechos, ya que en una escala pequeña, las dilataciones de la cubierta por temperatura no son excesivas por lo que en el caso de la casa 50x50 los pilares metálicos aparecen soldados, existiendo una continuidad y siendo solidarios a las vigas de la cubierta. En cambio, en el proyecto de la New National Gallery y del Convention Hall, debido a las mayores dimensiones de estos edificios, las juntas de unión con los pies derechos que soportan la estructura se plantean de una forma apoyada para que los movimientos de dilatación de la cubierta no transmitan esfuerzos de flexión a los pilares, quedando libre la cubierta y procurando transmitir solamente esfuerzos axiales a los pilares, existiendo en este caso una clara discontinuidad estructural (véase el apartado 7.2).

4.6. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y FORMA DEL ESPACIO

El arquitecto pretende alcanzar siempre el equilibrio del sistema estructural, intentando manipular las leyes físicas. Una buena estructura es aquella que está hecha de tal forma que con el mínimo material necesitado pueda llevar a cabo su meta de soportar una carga dada o ser capaz de cercar un espacio (volumen dado) sin usar más material del preciso²². Para ello deberemos tener el conocimiento del comportamiento de materiales y estructuras, la experiencia del proceso de construcción de un espacio arquitectónico y un conocimiento con detenimiento de las leyes científicas de la naturaleza.

Mies van der Rohe pensaba que era errónea la relación directa entre la fuerza y la pesadez de un elemento resistente, y continuamente pretendía hacer los edificios lo más ligeros posibles eliminando el peso innecesario²⁰.

El equilibrio, resistencia y estabilidad estructural debe regirse mediante el cumplimiento de las Leyes de Movimiento de

²² Margolius, *Architects + Engineers = Structures*.

Newton. La primera ley establece que un cuerpo en reposo no se moverá a menos que uno nuevo o una fuerza desequilibrada sea aplicada sobre él. La tercera ley establece que, cuando un cuerpo está en reposo, para cada fuerza aplicada a él, una correspondiente reacción de equilibrio igual y opuesta es aplicada sobre él. De esta forma las Leyes de Movimiento de Newton nos demuestran el equilibrio que debe existir entre todas las fuerzas aplicadas a una estructura. Por lo que la estructura se convierte en un juego de acción y reacción²³.

Los arquitectos españoles dentro del panorama internacional son un caso excepcional ya que, debido a su formación, pueden desarrollar una labor estructural simultánea a la del proceso de concepción del espacio. Además, resulta muy importante que la parte técnica referente al conocimiento de los materiales y su comportamiento esté en relación directa con su aplicación espacial y apariencia visual. Así, la arquitectura se presenta como unidad estructural y espacial simultáneamente.

4.7. LA IMPORTANCIA DE LA JUNTA EN LA IDEA DEL ESPACIO Y DE LA ESTRUCTURA

Mies van der Rohe explica la importancia de la ejecución de la junta como materialización y representación de la idea del espacio, comentando: *"El conjunto, desde lo alto hasta lo bajo, hasta el último detalle, siempre con las mismas ideas."*²⁴

Semper incide en la importancia de la junta como principal elemento tectónico (como unión de elementos) y comenta que la transición de la base estereotómica a la estructura tectónica es expresada a través de la junta. Además, como Frampton comenta, Semper añade que cada transición de lo estereotómico a lo tectónico constituye la verdadera esencia de la arquitectura.

Estudiando el caso de lo tectónico y lo estereotómico con relación a la junta, se puede obtener la conclusión de que en el caso estereotómico puro (sin incluir el hormigón armado) no es

²³ Ross King, *Brunelleschi's Dome : The Story of the Great Cathedral in Florence* (London: Chatto & Windus, 2000).

²⁴ Peter Carter, *Mies Van Der Rohe at Work* (London: Phaidon, 1999).

necesario que exista material en la junta, y si existe se encarga de resistir algunos esfuerzos de cizalladura o momentos mínimos como por ejemplo el mortero de agarre en los muros de mampostería.

Por el contrario, en el caso tectónico la junta resulta ser un elemento fundamental de trabajo estructural por sufrir esfuerzos de tracción, compresión y momentos mayores. Por lo tanto, esta junta tectónica debe ser de mayor resistencia que el propio material estructural tectónico, ya que de ella dependerá que los elementos estructurales queden unidos en el caso de esfuerzos de tracción y momentos de inercia. Los tipos de juntas van desde las articuladas (rótulas, atados textiles...) hasta las empotradas (soldadas completamente) pasando por las juntas entre elementos simplemente apoyados, en donde la resistencia de la junta se reduce al mínimo representando una excepción de este tipo de junta tectónica, comportándose en este caso la junta apoyada casi como la estructura estereotómica. De todas formas, se procura siempre que en caso de colapso estructural, la rotura se produzca en el elemento estructural y no en el elemento de unión o junta. Así, la junta demuestra ser el elemento fundamental de la estructura tectónica.

La soldadura del acero resulta un tipo especial de junta tectónica, capaz de soportar la concentración de fuerzas pasando a través de su diminuta masa y transmitiendo todas estas fuerzas de un elemento estructural a otro. Además posee la cualidad de poder unir elementos de su misma clase material consiguiendo una continuidad homogénea de material-estructural fundido. Durante la soldadura, el acero en dichas zonas se funde, creando una unión cuando se enfría entre las dos superficies propiamente o entre las dos superficies y un material de relleno. Así, favorecido en este último caso por la diminuta expresión formal de la soldadura, la búsqueda de la mínima manifestación expresiva de la unión puede resultar peligrosa si se llega a la esquizofrenia estética de intentar reducir la soldadura a lo mínimo posible para la función estructural requerida, no solamente por su cantidad de masa requerida para la unión soldada sino también por el repaso y lijado que sufren las soldaduras a posteriori, lo cual puede dejarlas bastante debilitadas.

Por lo que si se presta atención a estos detalles de unión en la estructura, se puede comprobar que las distintas soluciones de junta o uniones son las que diferencian a una cultura de otra en el tiempo y en el contexto. Un curioso ejemplo es la comparación que se puede realizar entre dos arquitecturas puramente tectónicas y que se cruzaron en la Exposición Mundial de 1851, las cuales son la cabaña caribeña de Trinidad, que tanto impresionara a Semper, expuesta en el Crystal Palace y este propio edificio de acero y vidrio.

4.8. LOS LÍMITES DE LA FORMA DEL ESPACIO: RELACIONES ENTRE LA ESTRUCTURA Y EL CERRAMIENTO

La relación entre el espacio interior y el exterior se realiza a través del cerramiento. Este cerramiento puede atender a dos tipos:

- a) Aquel que es también estructura.
- b) Aquel que es solamente cerramiento o membrana del espacio interior.

En el primer tipo, cerramiento y estructura se presentan unidos representando el caso del espacio estereotómico, teniendo su límite técnico en la "tectónica de la piedra", realizada en la estructura del gótico, en donde se empieza a diferenciar entre estructura principal y la plementería (también la fábrica que no trabaja estructuralmente tanto como los nervios y que se utiliza para completar entre estos últimos las formas de las cúpulas y bóvedas), permitiendo introducir en el cerramiento-estructura vastas áreas de vidrio. En el segundo tipo, el cerramiento se presenta como un nivel constructivo independiente dentro de la estructura tectónica al cual pertenece. Uno de los ejemplos más claros sobre este tipo de membrana-cerramiento es la obra de Mies van der Rohe, prestando atención a su obra más interesante, es decir, la ejecutada en estructura de acero. Para él, la estructura y el espacio eran uno, por lo que buscó hacer la estructura del edificio visible. Así, descompuso la estructura tectónica del rascacielos de acero en dos tipos, una primaria, que soporta las cargas principales y que está revestida con protección al fuego, y una estructura secundaria, que servía para reforzar la estructura

y para asegurar las ventanas y los débiles y finos paneles de cerramiento²⁵. De esta forma, lo que pretendía Mies, referente a la unidad estructural y espacial, era igualmente aplicable para la planta libre promulgada por Le Corbusier.

Así, la estructura se presenta como elemento fundamental que le da forma al espacio y que le sirve de superficie de fricción entre el espacio exterior y el interior. Además, se aprecia la gran importancia de la estructura, ya que ella también será la que establezca las posibilidades de relación entre el espacio y la luz y entre las relaciones de transparencia espacial del interior al exterior o viceversa.

Por lo tanto, tenemos que buscar en la arquitectura aquella estructura, como principal elemento arquitectónico, que es capaz de configurar la forma espacial (relación con la gravedad) y que es el punto de entrelazamiento entre el espacio interior y el exterior (relación con la luz). En este sentido la casa japonesa representa un completo ejercicio tectónico. Su técnica estructural es inherente a su tradición local-cultural. Así, la arquitectura tradicional japonesa usa un sistema modular determinado por las luces de las vigas y los pilares-columnas, como Goldsmith explica²⁶. Sus tamaños no están basados solamente en parámetros estructurales, o en una rígida idea del orden, sino también en parámetros estéticos. El orden estructural es dado por la estructura básica y sus partes individuales, como los paneles-cerramientos, techos y esterillas. La estructura de madera permite una clara separación entre estructura y cerramiento. Las columnas, separadas de una forma regular, soportan los suelos y los paneles-pantallas de *shoji*, y éstos, independientes de la estructura principal, se deslizan para permitir ventilación, privacidad o cambiar la visión hacia el jardín. Por lo tanto, los materiales son claramente diferenciados entre estructura y cerramiento, pero son unificados apropiadamente. Al contrario que en el fachadismo del edificio o de la vivienda occidental, en la vivienda tradicional japonesa hay un constante cambio en la apariencia del edificio con la cambiante perspectiva del observador proporcionado por la actividad interior del espacio, manifestada en los cambios

²⁵ Eggen and Sandaker, *Steel, Structure, and Architecture*.

²⁶ Goldsmith and Blaser, *Buildings and Concepts*.

entre las aberturas del cerramiento de los paneles de shoji en su relación con la luz. Así, el carácter del espacio cambia con el movimiento y con el tiempo, como la naturaleza cambia a lo largo del día y de las estaciones. De esta forma, el espacio interior y el jardín, como espacio exterior, se interaccionan directamente.

5. EL TRABAJO TÉCNICO DEL ACERO

5.1. INTRODUCCIÓN

Norberg-Schulz comenta que el acero es la representación de la libertad para la arquitectura moderna. En primer lugar, el hierro en todas sus variantes y posteriormente el acero, aplicados sobre la arquitectura, han posibilitado con su ligereza y capacidad resistente un cambio estructural obteniendo nuevas posibilidades espaciales inimaginables en relación con las fuerzas de la gravedad y nuevas relaciones del espacio y la luz.

El metal, considerado por Semper como material que posee todas las cualidades técnicas aplicables de sus cuatro industrias (cerámica, textil, estereotómica o corte de la piedra y madera), ha sido uno de los materiales fundamentales en el desarrollo de la evolución humana desde la Edad de los Metales.

*“Él (el metal) puede ser hecho plástico y luego endurecido; es flexible y resistente, con una alta fuerza de tensión. Es extremadamente elástico y de considerable firmeza relativa (aunque la elasticidad y flexibilidad son sus puntos más débiles) y, por lo tanto, altamente usado para estructuras de trama. Finalmente, es duro, homogéneo, denso e inmensamente resistente a la presión...”*¹

Pero para Semper, el hierro no era mucho más que un metal apropiado para propuestas decorativas, ya que sorprendentemente no profundizó sobre las capacidades estructurales del hierro para la arquitectura en el capítulo que dedicara al trabajo del metal en su libro de *Style in the Technical and Tectonic Arts or Practical Aesthetics*. Solamente unos breves comentarios tras la exaltación que le causara la visita al Crystal Palace (escribiendo incluso sobre él en *The Edinburgh Review* en octubre de 1851 dentro de un artículo referente al Catálogo Oficial de la Gran Exposición de 1851) y junto a algunos otros textos fue su análisis escaso sobre la importancia de este material en la arquitectura. Quizás el hecho de perseguir la originalidad del significado del término

¹ Semper, “Introduction to *Style in the Technical and Tectonic Arts*”, en Frank, *The Theory of Decorative Art : An Anthology of European & American Writings, 1750-1940*.

*tectónico*², procedente de *tekton* (*Sappho*) el cual se refiere al artesano que trabaja todos los materiales duros excepto el hierro, no le permitiera ver la relevancia que tal material tendría en el futuro de la arquitectura contemporánea.

Desde un punto de vista arquitectónico, el hierro, como metal introducido en el campo de la construcción, ha supuesto la mayor revolución en la historia de la arquitectura. El hierro y el acero han permitido un desarrollo estructural de consecuencias espaciales inimaginables como ya escribiera Le Corbusier:

*"El hierro y el acero, los cuales fueron proporcionados por nacientes nuevas industrias permitieron formas imprevistas para ser provocadas, dimensiones tales que uno pudiera decir que la arquitectura nunca hubiera tenido... fueron construidos de hierro y vidrio."*³

El hierro es un material enteramente producido por el hombre como ser técnico. El hierro y el acero nos introducen por primera vez la componente de la alta resistencia a tracción en el trabajo de una estructura. Posiblemente en la cúpula de Brunelleschi sea la primera vez en donde el hierro aparece como material estructural de seria importancia y cuya finalidad sea trabajar a tracción. Pero debemos esperar hasta el siglo XIX en el que se produce el desarrollo real de este material, donde la Revolución Industrial mejorará su producción y resistencia de la mano del uso en la ingeniería, que también le llevó a grandes avances en ese campo. De esta forma se considera al S. XIX como un punto de inflexión en la concepción de las estructuras y, por consiguiente, un momento de referencia para las nuevas posibilidades en la concepción del espacio arquitectónico.

² Kenneth Frampton, John Cava, and Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts., *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995).

³Corbusier, "A Tribute," p. 72.

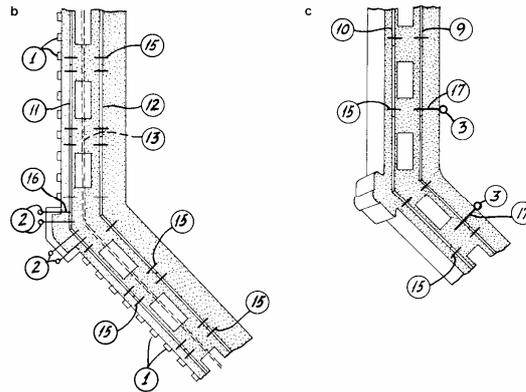


Fig. 1. Plantas y detalles de los tirantes de hierro en la Cúpula de Santa María del Fiore.

La gravedad siempre había traído compresión a las estructuras antes del uso del acero. En el pasado, los arquitectos tenían solamente "gravedad para vencer a la gravedad", de tal forma que ellos colocaban peso sobre peso resultando una estructura puramente a compresión.



Fig. 2. Acueducto de Segovia.

Este extremo de este sistema estructural a compresión lo encontramos en la iglesia gótica en donde las fuerzas de transmisión de esfuerzos a compresión se subdividen y se liberan del plano principal del cerramiento para así poder abrir huecos de mayores dimensiones y, por consiguiente, dejar penetrar más luz al interior. Estas fuerzas son llevadas por los arbotantes desde las bóvedas hacia los contrafuertes que se separan del plano de cerramiento y finalmente estas fuerzas de compresión, que se

mueven en diagonal por los arbotantes, son contrarrestadas por el peso de los pináculos que hace que la resultante de las fuerzas de compresión caiga dentro del centro de masas de la parte del contrafuerte más alejado.

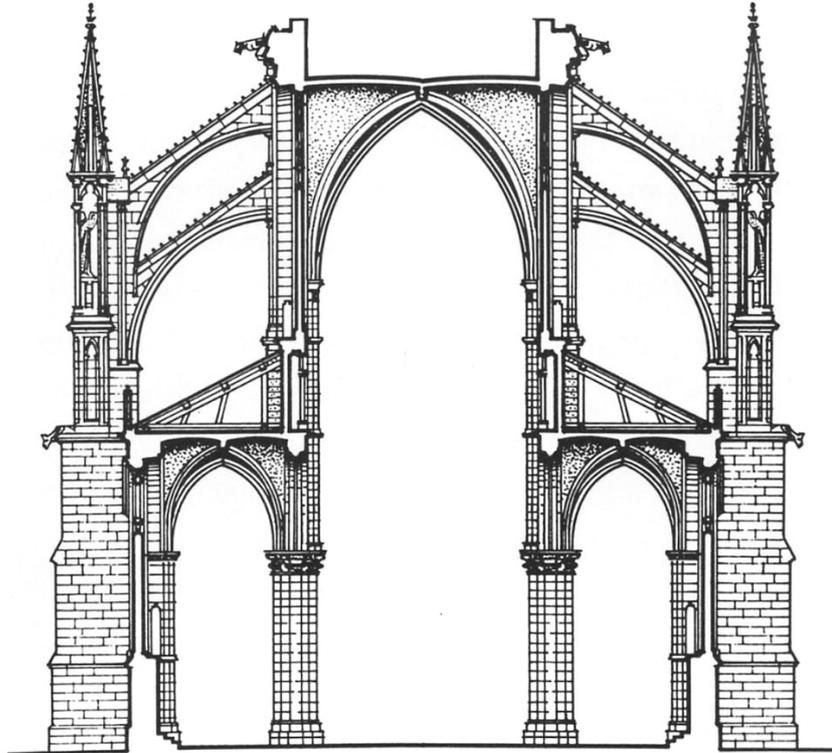


Fig. 3. Sección Transversal de la Catedral de Reims, 1210.

Se ha pasado del muro de mampostería, que soporta unos 22,6 kilogramos de tracción y 3.628 kilogramos por centímetro cuadrado de compresión, al acero que es capaz de alcanzar 3.628 kilogramos por centímetro cuadrado de tensión (tracción y compresión). Por primera vez en la historia, la tracción en un material puede igualar a la resistencia a compresión⁴.

5.2. PRIMEROS USOS DEL HIERRO EN ARQUITECTURA

El hierro, en primer lugar, se ha utilizado como elemento o material resistente, después como estructura del edificio y más tarde como estructura y expresión del espacio. El uso del hierro por parte del hombre se remonta a los utensilios técnicos de la

⁴ Margolius, *Architects + Engineers = Structures*.

edad prehistórica de la Edad de los Metales, pero hasta hace aproximadamente 200 años este uso del hierro y del acero ha supuesto una revolución para las posibilidades arquitectónicas basadas en su utilización técnica. Así, el hierro ha pasado por diferentes etapas de uso, en primer lugar como utensilios técnicos o refuerzos estructurales puntuales (como las grapas para fijar sillares de piedra o las cadenas en el perímetro de las cúpulas para evitar que la cúpula se abriera en su base), convirtiéndose en un elemento estructural primario sin manifestación espacial.

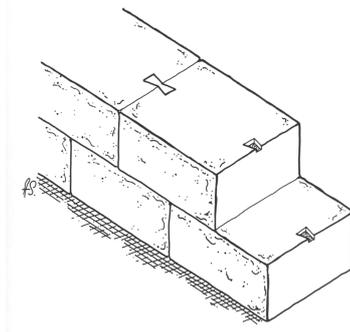


Fig. 4. Grapas empleadas en la época griega

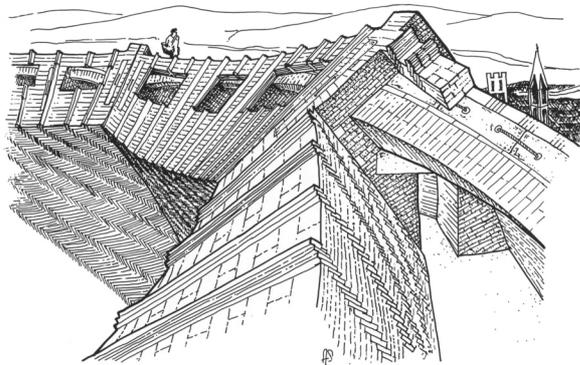


Fig. 5. Cúpula de Santa María del Fiore: spinapesce y cadenas

El hierro empieza a ser usado como elemento estructural y así una de las primeras aplicaciones es la del arquitecto Claude Perrault (1613-1688) quien construirá en 1670 la fachada Este del Louvre usando hierro forjado como refuerzo para la estructura de ladrillo que formaban el entablamento de la columnata. Años después, el arquitecto Soufflot y el ingeniero Jean Rondelet mejoraran esta técnica en la columnata del vestíbulo del Pantheon en Paris en 1770⁵ introduciendo un sistema ordenado de barras metálicas según sus esfuerzos.

⁵ Eggen and Sandaker, *Steel, Structure, and Architecture*.

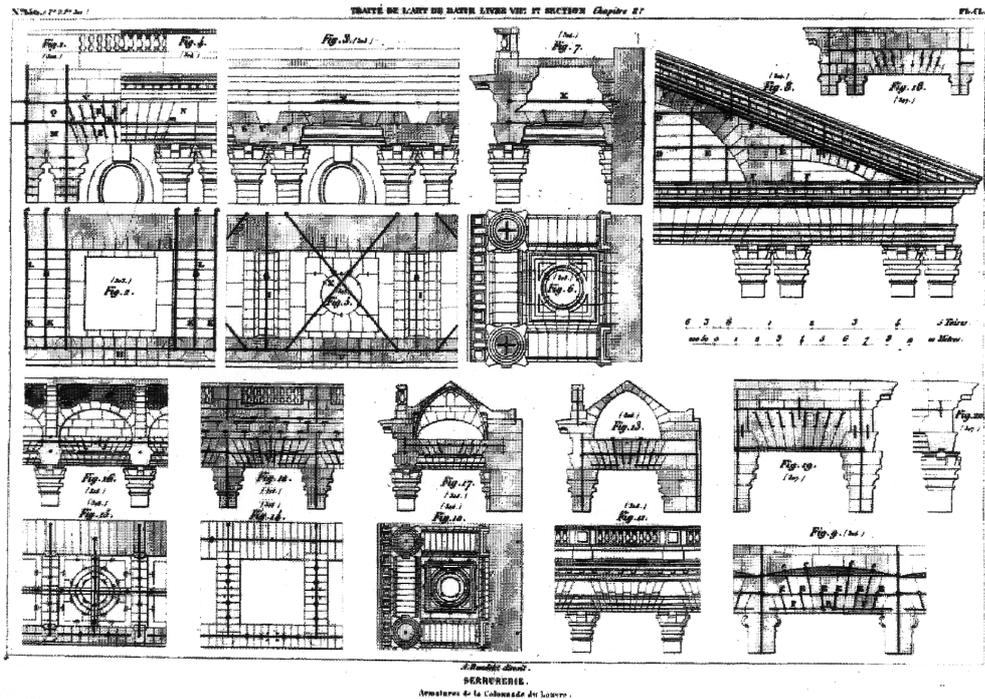


Fig. 6. Claude Perrault, columnata y alzado oriental del Louvre, Paris, 1665. Técnicas medievales de grapas de hierro forjado aplicadas a una construcción trabada en piedra de gran extensión.

5.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL HIERRO Y DEL ACERO

La materia prima del hierro en bruto es una de las formas naturales en las que el óxido de hierro se encuentra, tal como la hematita, la magnetita, la limonita, la siderita, etc. El acero es simplemente hierro ahumado en el cual la mayoría del contenido de carbón ha sido absorbido por el templado; esta es la razón de los sucesivos calentamientos y enfriamientos. El hierro en bruto moldeado que no ha sido templado, y que por consiguiente retiene más contenido de carbón, es llamado hierro fundido o colado. Este hierro es duro y frágil, mientras que el acero es más resistente y elástico. Hasta el siglo XIV, la única forma de acero conocida era el hierro forjado, el cual es hierro en bruto que ha sido martilleado fuera cuando estaba al rojo vivo y que tampoco ha sido templado.

Las diferentes características técnicas entre el hierro forjado y el hierro fundido o colado permitían diferentes aplicaciones prácticas. El hierro forjado era preferiblemente usado en estructuras que soportan fuerzas de tracción y fuerzas de

doblado (especialmente en vigas) ya que es un material maleable y con alta resistencia a la tracción. Mientras el hierro fundido se utiliza para resistir compresiones por lo que es usado en columnas y arcos estructurales. En general, las estructuras de la época del Crystal Palace eran principalmente hechas de arqueadas estructuras de hierro fundido. Cada vez más se requerían mayores luces, por lo que los arquitectos e ingenieros debían de combinar tanto el hierro fundido para los pilares como el hierro forjado para las vigas. A finales de la segunda mitad del siglo XIX empieza a desaparecer el hierro fundido o colado en las columnas que trabajan a compresión pura, dejando paso a la entrada del acero⁶.

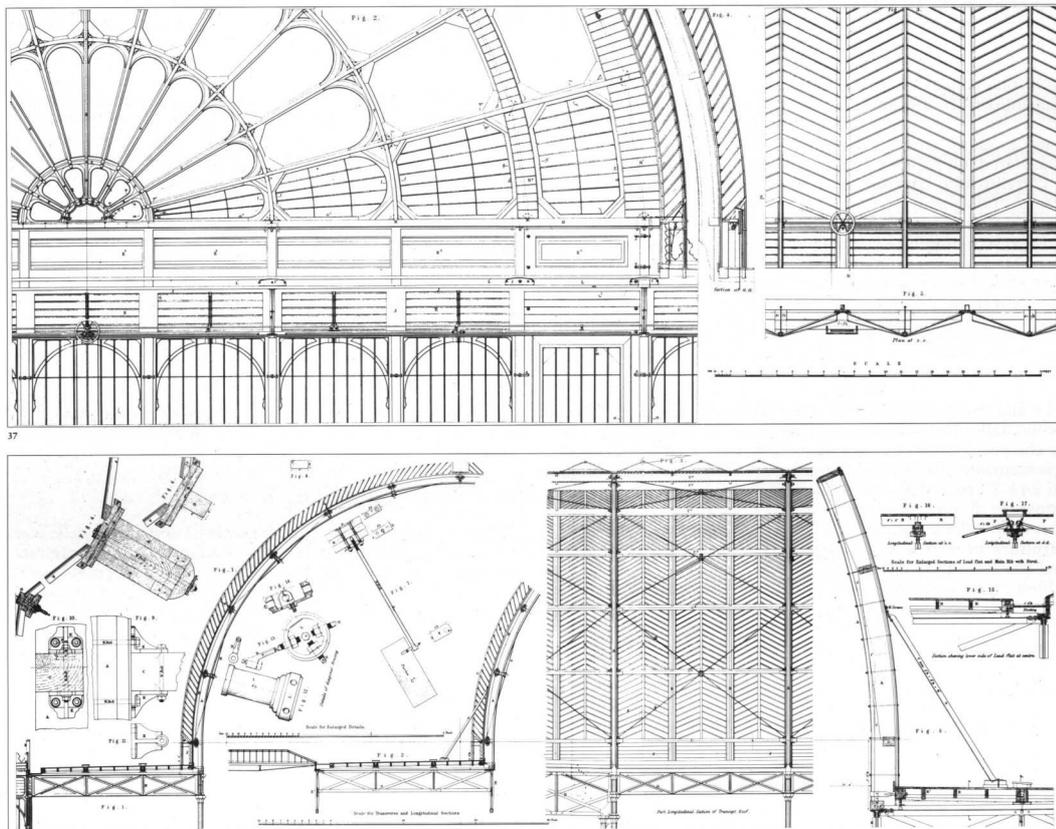


Fig. 7. Dibujos Técnicos de detalles de la bóveda principal del transepto del Crystal Palace de J. Paxton. Dibujos publicados en 1852.

Desde 1880 el progreso en la metalurgia del acero ha sido realizado principalmente en la dirección para asegurar mayor dureza, ligereza y resistencia a tensión, mediante la incorporación de mezclas de metales. Sin esta mezcla, por ejemplo, el desarrollo de la industria automovilística hubiera sido imposible, un hecho demostrado por la continua reducción en el tamaño de las piezas del motor. Además, el acero para la

⁶ Ibid.

ingeniería marina puede proporcionarse sin magnetismo mediante la adición de un sustancial porcentaje de magnesio. Mientras, las mezclas con otros materiales le permitían resistir temperaturas por encima de 400°C, la presión de cientos de atmósferas y la acción de los metales muy corrosivos. Así, el acero inoxidable, que puede resistir ácidos, moho y atmósferas más corrosivas, fue patentado en 1916 por el inglés Brerley, quien había empezado a trabajar con mezclas de níquel y cromo en 1912, cuando Strauss estaba comenzando con experimentos similares en el Krupp Works en Essen. Finalmente, la soldadura autógena en el acero ha permitido líneas de ferrocarril que pueden ser colocadas con longitudes kilométricas sin intermedias uniones atornilladas, y barcos, puentes o estructuras de edificios para ser construidos sin el uso de las uniones ribeteadas. Al lado del considerable ahorro en material, la soldadura ofrece el gran avance estético de permitir superficies uniformes y continuas⁷.

Pero la evolución del hierro al acero, mejorando su estabilidad y resistencia no se ha detenido, sino que el hombre, con su capacidad técnica, ha proseguido con la evolución de materiales obteniendo "high carbon steel" (que soporta 5.080 kilogramos por centímetro cuadrado), el "chrome nickel steel" (25.401 kilogramos por centímetro cuadrado) y más recientemente el "carbon fibres" (43.544 kilogramos por centímetro cuadrado) que en comparación con el acero pesa un cuarto menos y es 48 veces más resistente si tuviéramos la misma cantidad o peso de acero⁸.

5.4. EL CRYSTAL PALACE Y EL NUEVO COMIENZO

El Crystal Palace es el ejemplo más claro que explica cómo los nuevos materiales, el hierro y el vidrio, desarrollados por la Revolución Industrial y la técnica respecto a su proceso de construcción, han hecho realidad las ideas de un arquitecto, Joseph Paxton (1803-1865), sobre una nueva concepción del espacio, creando, por lo tanto, una nueva arquitectura. Así, esta idea también fue compartida por Giedion en un artículo en la revista *Neue Zürcher Zeitung* de 2 diciembre de 1936 en la que comentaba:

⁷ Morton Shand, "Steel and Concrete, a Historical Survey," *The Architectural Review* 1932 (noviembre), pp. 65-72.

⁸ Margolius, *Architects + Engineers = Structures*.

"El Crystal Palace era la realización de una nueva concepción de construcción para la cual no había precedente. También era el primer gran edificio construido de vidrio, acero y madera basado en una estructura de hierro fundido y vigas de hierro forjado remachadas y unidas con exactitud. Para mi conocimiento, las posibilidades latentes en la moderna civilización que hemos creado nunca habían sido vistas desde entonces tan claramente expresadas. Esto era reconocido en el tiempo en que esta combinación de vidrio, madera e hierro -el cual, por cierto, resultó una admirable forma práctica de exhibición técnica- habían evocado un nuevo tipo de imaginación, la cual surgía directamente desde el espíritu de esa época. Solamente entonces podemos explicar la anticipación segura de los contemporáneos que "El Crystal Palace es una revolución en la arquitectura desde la cual un nuevo estilo será fechado."⁹

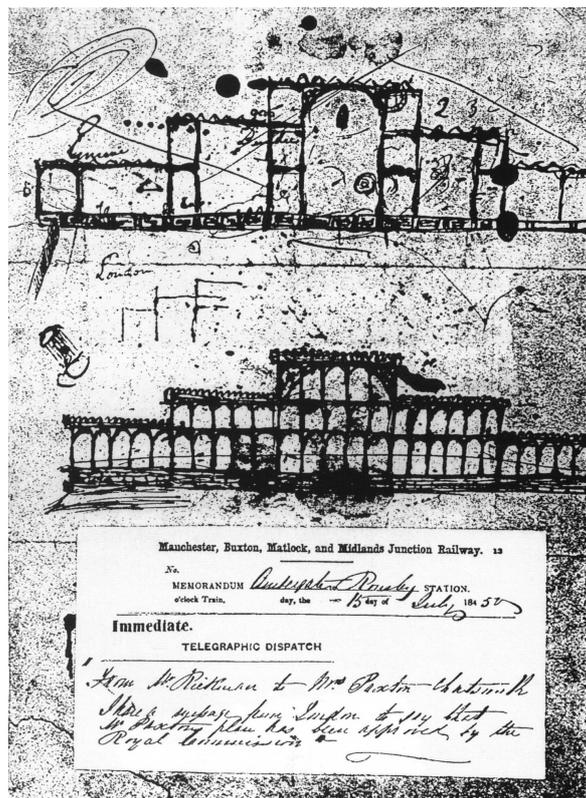


Fig. 8. Croquis conceptual de Paxton del Crystal Palace dentro del telegrama para Mr. Paxton fechado el 15 de julio de 1850, con el mensaje de que el proyecto había sido aprobado ese día.

⁹ Shand, "Steel and Concrete, a Historical Survey."

El proyecto de Paxton fue el que mejor cumplía los seis requerimientos que The Building Committee exigió a las 233 propuestas del concurso abierto para el diseño del edificio para la Exposición Mundial de 1851. Estos puntos eran los siguientes:

*"1) Economía de construcción, 2) facilidad para la recepción, clasificación y exposición de los objetos, 3) facilidad de circulación de los visitantes, 4) disposición para grandes puntos de vista, 5) centralización de la supervisión y 6) alguna característica sorprendente-innovadora para ejemplificar el presente estado de la ciencia de la construcción en este país."*¹⁰

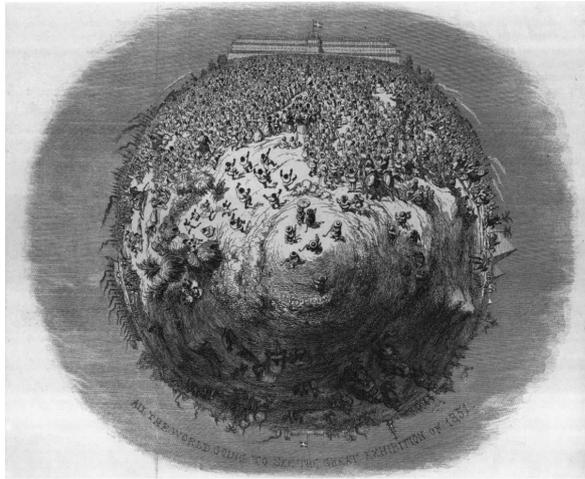


Fig. 9. Cartel Oficial de la Exposición Mundial de 1851 de George Cruikshank.

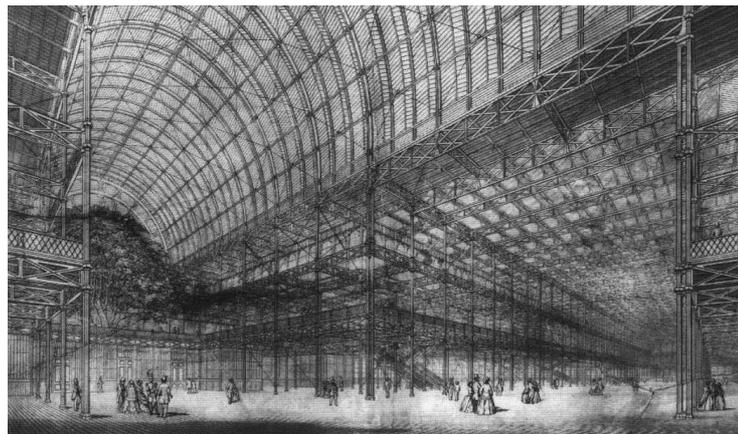


Fig. 10. El dibujo más virtuoso de todos los dibujos del interior del Crystal Palace fue hecho por W.G. Brounger antes de que cualquier contenido fuera introducido dentro del espacio interior expositivo.

¹⁰ AA.VV., "Official Catalogue of the Great Exhibition," *The Edinburgh Review* 1851 (octubre).

También son de interés los comentarios en *The Builder* (de 4 de enero de 1851) durante la construcción del Crystal Palace una vez ya estaba acabada la estructura:

"La exactitud con la que todas las 2500 columnas de hierro fundido habían sido situadas es muy sorprendente. La regularidad ha sido asegurada y la tarea de construcción simplificada, haciendo todas las partes de la planta múltiples de una manejable figura pequeña. Un ajuste perfecto es entonces asegurado con mucha mayor facilidad, mientras la repetición de las mismas dimensiones deja imposible la confusión o la complejidad. Este es el caso de todos los grandes techos de hierro de las estaciones de ferrocarril recientemente construidos. Todas las dimensiones del edificio en el parque son múltiples de 8: por ejemplo, la anchura y profundidad de las naves pequeñas es 3 veces 8, o 24 pies; de la naves secundarias, la anchura es 6 veces 8, o 48 pies; y la gran nave central tiene 72 pies de anchura, o 9 veces 8. La anchura total es de 408 pies."¹¹

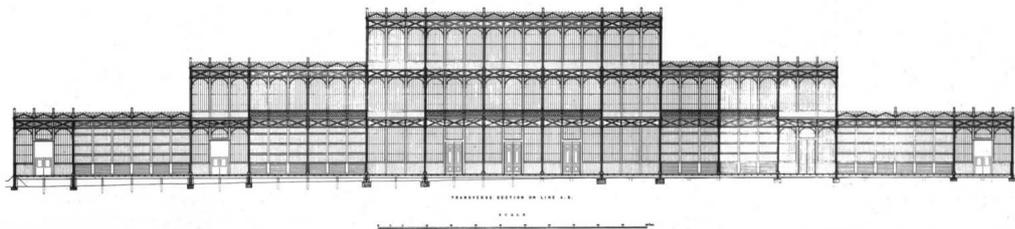


Fig. 11. Sección transversal del Crystal Palace, 1851.

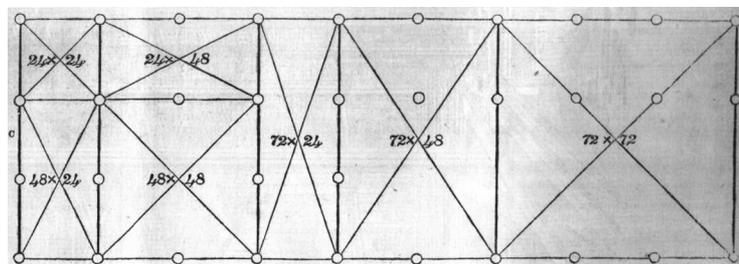


Fig. 12. Modulación propuesta para que los Stands estuviesen en relación con la modulación propia de las naves del Crystal Palace, 1851.

¹¹ "The Exhibition Building in Hyde Park", *The Builder*, Volume for 1851, Saturday, January 4. Number 413.

Según Frampton, las aspiraciones de desmaterialización del Crystal Palace de Paxton las explicó Le Corbusier, quien lo describió como la victoria de la luz sobre la gravedad¹².

En resumen y en palabras de Norberg-Schulz el Crystal Palace reflejaba la moderna expresión de los principios básicos de la arquitectura: la planta libre y la clara estructura¹³. Como consecuencia de estos principios que se reflejaban en la repetición seriada en horizontal de la estructura de acero y de la utilización del vidrio como principal elemento de cerramiento, se produce un salto cualitativo al empezarse a proponer la repetición seriada de esta estructura en vertical, surgiendo el rascacielos como nuevo tipo edilicio construido. Así, uno de los primeros intentos de construcción en vertical utilizando la estructura de acero y el vidrio sería Decimus Burton, uno de los discípulos directos y colaborador de J. Paxton. Burton, al año siguiente de la construcción del Crystal Palace, propone un proyecto de torre de 1.000 pies de altura, cuyo proyecto sería recogido por la revista *The Builder*¹⁴, como propuesta para convertirse en el nuevo edificio que albergara la próxima exposición universal.

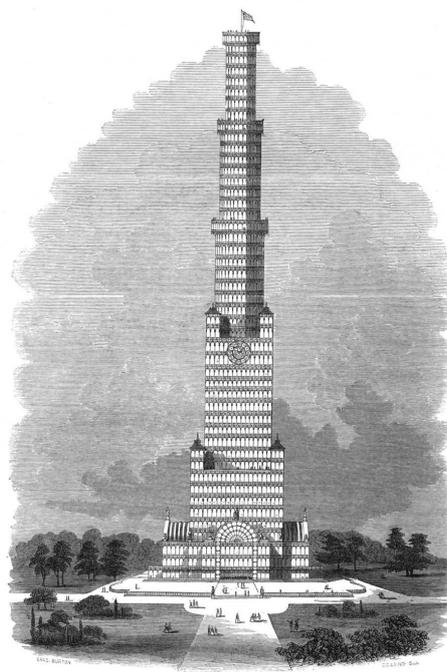
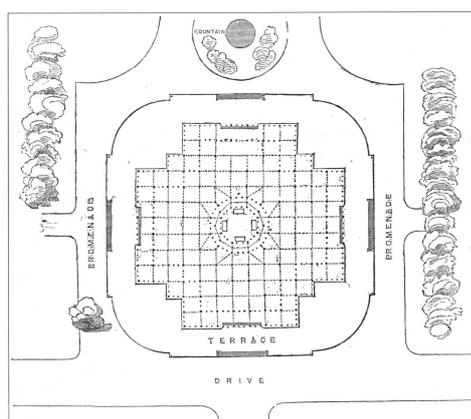


Fig. 13 y 14. Planta y alzado de la Torre de Cristal de 1.000 pies de Burton, 1852.

¹² Frampton, "Rappel a L'ordre: The Case for the Tectonic."

¹³ Margolius, *Architects + Engineers = Structures*.

¹⁴ *The Builder*, Volume X, Number 482, May 1, 1852, pp. 280-281.

Pero en realidad, no existiría ningún otro precedente tan claro de una torre de cristal hasta 1921, cuando Mies van der Rohe propusiese su Rascacielos de Vidrio para el concurso de arquitectos alemanes para el primer rascacielos de Berlín, pensado en un solar triangular limitado por el río Spree, la ocupada calle de tiendas de Friedrichstrasse y la estación de tren del mismo nombre. Estaba basado en una idea no probada basada en que un soporte estructural de acero, repetido verticalmente, podría dejar libre las paredes exteriores de su función portante, permitiendo a un edificio tener una superficie traslúcida en vez de sólida. Un número de rascacielos americanos habían presentado un aumento en la extensión de vidrio, pero Mies era el primero en imaginar cada edificio sin un cerramiento de fábrica estructural o decorativa.

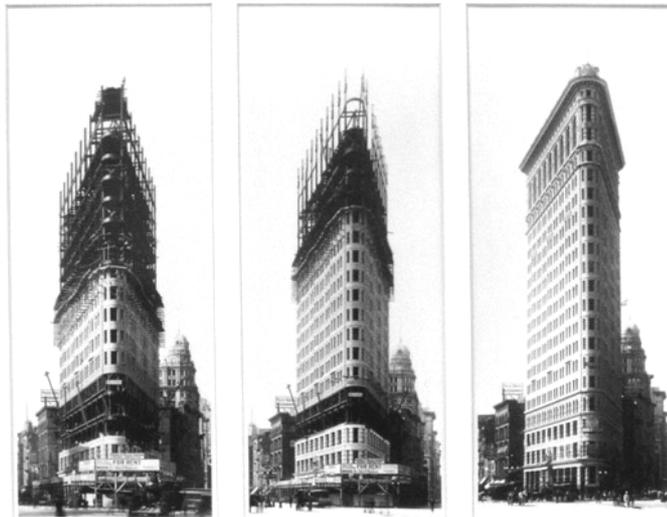


Fig. 15. Estructura metálica y proceso de construcción y revestimiento en piedra del Flatiron Building, New York, 1902, Daniel Hudson Burnham.

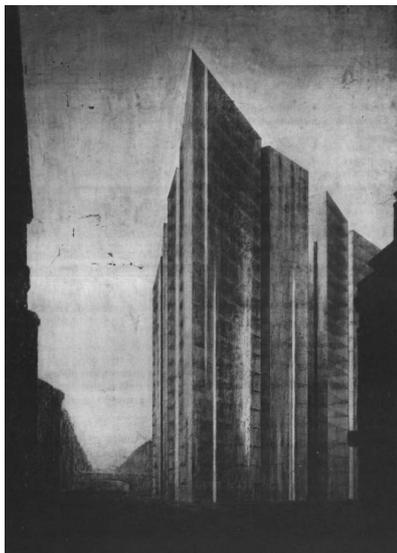


Fig. 16. Perspectiva del Rascacielos de Cristal de Friedrichstrasse, 1921, Mies van der Rohe.

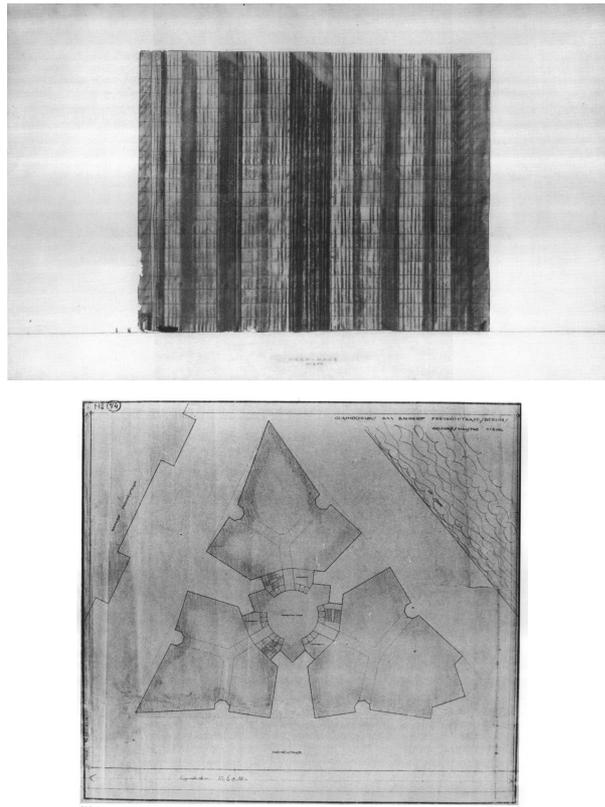


Fig. 17 y 18. Alzado y planta general del Rascacielos de Cristal de Friedrichstrasse, 1921, Mies van der Rohe.

Efectivamente, Mies parecía haber sido inspirado por las fotografías de los rascacielos americanos en construcción, una fase en la que se le apuntaron "los pensamientos constructivos valientes" y entonces la impresión de que el alto logro de las estructuras de acero era irresistible.

6. LA JUNTA TECTÓNICA ESTRUCTURAL: DEL NUDO A LA SOLDADURA

6.1. INTRODUCCIÓN: TECNOLOGÍA Y ARQUITECTURA

La arquitectura es el mayor valor que puede ser reflejo de las fuerzas de sostenibilidad y de desarrollo (ciencia, tecnología, industrialización, economía, cultura, etc) de una época. Así, la arquitectura es un reflejo de una sociedad tecnológica y científica en la que vivimos. Mies van der Rohe insistía en que el tenía que intentar hacer una arquitectura para una sociedad tecnológica. Así, la expresión de las diferencias culturales de un tiempo y de un contexto expresan las diferentes soluciones para sus uniones o sus juntas.

Podemos hacer una reinterpretación de los precedentes tecnológicos que suelen ser no comprendidos en la arquitectura contemporánea. Por ejemplo, para Mies van der Rohe la tecnología está enraizada en el pasado y es uno de los grandes movimientos históricos que representan y dan forma a su época¹.

En relación a esto, podemos proporcionar un enfoque tecnológico sobre toda la historia arquitectónica así como una base para la crítica más racional del diseño contemporáneo. También, Mies insiste en que la arquitectura depende de su época:

*"Architecture depends on its time. It is a crystallization of its inner structure. The slow unfolding of its form. That is the reason why technology and architecture are so closely related. Our real hope is that they grow together, that someday the one be the expression of the other. Only then will we have an architecture worthy of its name: Architecture as a true symbol of our time."*²

Pero ahora en la actualidad, conocemos mejor las posibilidades y limitaciones con el que construimos y particularmente con aquellos materiales que son típicos y característicos de nuestro tiempo: los perfiles laminados de acero y el vidrio plano en grandes dimensiones.

¹ Mies van der Rohe, "Architecture and Technology," *Arts and Architecture* 1950 (nº67), p. 30.

² Ibid.

La demostración de una idea proviene antes de la realización de una cuestión práctica. Así Mies van der Rohe pronunció el ideal de las construcciones en el sentido de una metamorfosis estética, en la que la técnica era sublimada a lo artístico con una elocuente precisión³.

En relación a la desmaterialización de un edificio, el esqueleto era la desmaterialización de un cuerpo que había progresado hasta sus límites extremos. Este extremo arquitectónico cristalizó como una celosía de "espacios vacíos mayoritariamente" que dejaban solo un patrón de líneas y planos puros desde los cuales, junto con la masa, la gravedad óptica parecía estar encerrada en sí misma⁴.

Además, Mies van der Rohe pensaba que la tecnología tenía que estar en todos los lugares y también en lo espiritual. De esta forma escribió:

*"To spiritualize the technological. The means of the new technology, new technical materials."*⁵

6.2. LA ESTRUCTURA TECTÓNICA

La definición de una estructura tectónica es comprendida como la unión de elementos de longitudes variables para formar un campo espacial⁶. Así, en este caso, podemos encontrar construcciones ensambladas que usan la junta estructural como aspecto fundamental pudiendo citar las palabras de Louis I. Kahn cuando afirmaba que "la junta es el principio del ornamento"⁷.

Esta idea de superposición de materiales en la estructura tectónica, va a convertir a la junta, como escribiría

³Fritz Neumeyer, "Construction as Promise of Art: Building Art in the Raw," in *Artless World* (Cambridge: MIT Press, 1994), p.129.

⁴ *Ibid.*, pp.114-15.

⁵ Mies van der Rohe, "Notes for Lectures" in Fritz Neumeyer, *The Artless World: Mies Van Der Rohe on the Building Art* (Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1991) p. 268.

⁶ Frampton, "Rappel a L'ordre: The Case for the Tectonic."

⁷ "...la junta es el principio del ornamento. Y cuanto más pequeños son los elementos, más legible resulta una disposición de las juntas en las cuales el drama de la junta nunca aparece realmente". Louis I. Kahn, Conferencia en Pratt Institute, 10 de noviembre de 1950. Citado en AA.VV, *Louis I. Kahn* (Barcelona: Ediciones del Serbal, 1994).

Juan Miguel Hernández León, en *"una de las metáforas más fructíferas de la heterogeneidad de la construcción moderna, en un signo expresivo de la autoafirmación de esa esencia de lo técnico"*⁸. Así la técnica, como método de transformación de la materia se considera propia de cada época y cultura arquitectónica. En esta línea, Hernández León afirma que:

*"La historia de la técnica constructiva es un relato sobre la relación entre materia y construcción, sobre las distintas estrategias destinadas a conseguir la continuidad entre elementos y materiales de distinta naturaleza y cuyo grado de compatibilidad no siempre es uniforme."*⁹

En esta investigación, se apuesta por la honestidad estructural y la construcción clara como una consecuencia de la forma y la función que se convierte en una cualidad estética. Esto permite al edificio desarrollar sus potenciales respectivos como elementos de construcción para un nivel de expresión poética. Entonces, la construcción en sí misma será un lenguaje de construcción clara, yendo hacia la estética de la máquina.

*"The tectonic experience conveyed by the "overpowering impression" of the "high-reaching" and the enthusiasm for the logic of the "bold constructive thought" endowed the naked construction frame with a quality that raised it to the level of an ideal architectural structure... Mies had raised naked construction to a norm that testified to the necessity of an "aesthetic of honesty" demanded by the frame construction."*¹⁰

6.2.1. El esqueleto estructural

El esqueleto se convertirá en el ideal estético y espacial como cuando Marc-Antoine Laugier sugirió eliminar lo superfluo de la arquitectura, es decir, todo aquello decorativo, incluso se cuestionó que no necesitaba ni puertas ni ventanas, pero que eran inevitables en cierta forma:

⁸ Juan Miguel Hernández León, *Conjugar Los Vacíos* (Madrid: Abada Editores, 2005) p. 278.

⁹ Ibid. p. 277.

¹⁰ Neumeyer, "Construction as Promise of Art: Building Art in the Raw," p. 111.

*"Perhaps one accuses me of having reduced architecture to practically nothing. It is true that I have eliminated from architecture much that is superfluous, that I liberated it from a lot of trivia with which it was habitually decorated, that I have left only its function and simplicity... A building with freestanding supports that carry the girders has no need of doors and windows -but on the other hand it is uninhabitable if it is open on all sides."*¹¹

En este sentido, Walter Gropius defendía que un edificio saludable requiere una estructura ósea saludable, mucho más que la de un organismo humano, y que la parte técnica-TECTÓNICA de un edificio estaría en relación a su imagen¹². Por otro lado, el modelo de Mies van der Rohe de la estructura ósea y de la piel es un término en el que se puede escuchar la reverberación de la teoría textil de Semper, la cual también se apoyó en las expresiones del arte de los nativos, y que sólo necesitaba la aprobación de los materiales adecuados y de los propósitos. "Las costillas y la piel de morsa" tuvieron que ser cambiados por el acero y el vidrio. La masa, reducida a la mínima estructura de vigas y pilares construidos por "troncos" acero de origen industrial, encarnaba una variante técnica de aquella sombra de la selva exagerada, arrebatada no desde la naturaleza "natural", sino desde la naturaleza "técnica" de la era industrial. Por lo tanto, el carácter técnico sucedáneo sustituye a la mimesis de la naturaleza. Con la ayuda de las vigas, como "nervios principales de la arquitectura de hierro" según indicó Lux, Mies copiaba la cabaña primitiva laugeriana para el siglo XX, la cual sigue presente en las "costillas sin carne", según vocablos de Lux, del esqueleto de acero y sus soportes sin adornos, los cuales ahora entran en el ámbito del arte. La tarea que enfrentó al arquitecto moderno en el diseño de un edificio fue la conquista del lenguaje del hierro elemental, es decir, una nueva gramática integrada por los angulares de hierro; las vigas en forma de T u otras vigas fueron determinadas por las leyes matemáticas¹³.

¹¹ Marc-Antoine Laugier, *Essai Sur L'Architecture* (Paris: Duchesne, 1753).

¹² Walter Gropius and Karin Wilhelm, *Walter Gropius, Industriearchitekt* (Berlin: F. Vieweg, 1983) p. 89.

¹³ Neumeyer, "Construction as Promise of Art: Building Art in the Raw," p.129.

6.2.2. El orden

La cuestión del orden es necesaria en todo este proceso, ya que como Werner Lidner dijo: "*tu solamente puedes edificar si conoces cómo construir*"¹⁴. Entonces, el principio de orden estructural toma importancia ya que la forma se vuelve una consecuencia de la estructura. Las pieles envolventes y las divisiones del espacio interior, separadamente definidas de los miembros tensionados, no dejan duda de lo que es estructural y de lo que no.

Así, el ensamblaje en el orden es una clara diferenciación entre lo esencial y lo superfluo, y basada la construcción en este principio se puede definir lo que es realmente práctico o artístico¹⁵. Finalmente, el orden y el ensamblaje pueden resumirse en la junta de unión.

6.3. LAS FUERZAS SOBRE LA ESTRUCTURA

En primer lugar debemos entender que el equilibrio que compone un espacio estructural tiene la finalidad de mantener la integridad de la estructura cuando las cargas se aplican sobre ella, resistiendo por lo tanto las fuerzas. Entonces, la estructura debe contrarrestar las cargas aplicadas y, por supuesto, su propio peso. En este sentido, la fuerza de la gravedad será la ley física que dominará a la arquitectura aérea (sobre y encima del plano del suelo) junto con los demás agentes externos (viento, nieve, etc.) y acompañada para la arquitectura enterrada o semienterrada (bajo el plano del suelo) de los empujes laterales del terreno; y por supuesto sin comentar otros agentes externos más ocasionales como el sismo. Por lo tanto, las reacciones serán las fuerzas internas que proporcionan el soporte, la estabilidad y el equilibrio para una estructura cargada. Así, las condiciones del equilibrio alcanzado por la cimentación afectarán a las reacciones en gran medida. Las zapatas, que proporcionarán el soporte a la superestructura, distribuirán las reacciones al terreno.

¹⁴ Werner Lidner, *Die Ingenieurbauten in Ihrer Guten Gestaltung* (Berlin: Wasmuth, 1923).

¹⁵ *Ibid.* p. 8.

Un concepto interesante es la tensión soportada. Se entiende como el total de la carga sobre la cimentación dividida por la superficie de la base de ésta. El material que se usa en la parte inferior de la cimentación no necesita ser de tanta calidad como el muro de mampostería superior. Así, las construcciones más antiguas parecen haber desarrollado bien este sistema, en vez de cortar piedra, solían usarse los escombros o materiales de desecho como la base de la cimentación que repartiría las cargas al terreno. En la actualidad las zapatas de hormigón armado son colocadas bajo los pilares y muros de carga para distribuir las cargas del edificio al subsuelo y reducir así la tensión soportada a niveles admisibles.

Otros factores a tener en cuenta son las deformaciones. La compresión causa un acortamiento, la tracción causa un alargamiento y la flexión causa una curvatura, en donde por un lado de la estructura ésta se alarga mientras que en el otro lado de la estructura se acorta. La rigidez es una medida que se utiliza para medir la resistencia a la deformación. Una estructura en acero sería 3 veces más rígida que la misma estructura en aluminio y unas 20 veces más rígida que la misma estructura en madera. La tensión es una medida de la intensidad local de la fuerza que actúa dentro de una estructura. La fatiga es una medida de la deformación local dentro de una estructura. La resistencia de un material se define como el nivel de tensión que causa que el material colapse. Por lo tanto, el daño estructural se produce cuando la tensión dentro de una estructura excede de la resistencia del material.

La modificación estructural de las principales formas geométricas con el fin de preservar la estabilidad ha sido una práctica común en toda la historia de la arquitectura. Además, existe una diferencia sustancial en el comportamiento de la junta entre una estructura estereotómica y otra tectónica: la articulación tectónica tiene que ser más resistente que los materiales estructurales, y la junta estereotómica no tiene esta obligación, incluso puede ser que no exista material en la propia junta estereotómica.

6.4. LA CABAÑA

La cabaña ha sido el primer edificio construido con ramas, luego, con troncos de árboles, de tal manera que esta forma de construcción se sigue utilizando aún en muchas ciudades europeas.

El uso de la madera o incluso de la madera labrada mostró la adhesión a las formas primitivas de la carpintería. Así, la cabaña simbólica, la cual se convertiría en el tipo de arquitectura en Grecia expresaba los primeros ensayos de las habilidades mecánicas de los carpinteros¹⁶. Aunque, Quatremère da Quincy crea que esta cabaña haya existido realmente, para él no era más que un producto de las circunstancias naturales, y ,por lo tanto, la imitación del modelo "natural" no plantea al edificio el estatus de arquitectura, siendo esta visión de Quatremère da Quincy no aceptada universalmente.

También Wachsmann dedica un capítulo a la casa compuesta por troncos como una forma de construcción que según él "*es la forma más antigua de construir casas de madera*"¹⁷. Los ejemplos son conocidos desde la prehistoria, la casa de troncos representa la concepción interior de la casa de madera, ya que el valor intrínseco de su forma estructural la diferencia y muestra las cualidades materiales de la madera en su forma más pura.

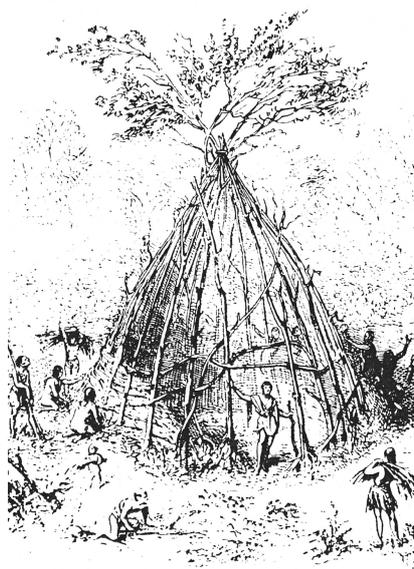


Fig. 1. "El primer edificio" según Viollet-le-Duc.

¹⁶ Antoine Chrysostome Quatremère de Quincy, *Dictionnaire Historique De L'Architecture* (Paris: L'Imprimerie de Ballard, 1793).

¹⁷ Konrad Wachsmann, *Holzhausbau: Technik Un Gestaltung* (Berlin: E. Easmuth, 1930) pp. 30-33.

A pesar de todas las mejoras estructurales posibles, el principio de la construcción en madera se mantiene sin modificaciones desde el registro de la casa primitiva de troncos de madera. Además Wachsmann cree que a pesar de todas las ayudas técnicas, la construcción de una casa de troncos sólo puede realizarse por carpinteros con experiencia, por lo que siempre será un procedimiento de oficio¹⁸.

Además, se debe entender a la cabaña como una composición dual de carpintería y de tejido.

El tejido y el nudo: la tienda de campaña

Semper deduce de su postulado (cuatro grupos: el tejido, lo cerámico, la "tectónica" o la carpintería y la "estereotomía" o albañilería) que el primer artefacto es un nudo o una cadena, habiendo dado axiomáticamente prioridad lógica al tejido. Así, la principal forma lógica para la casa es la tienda de campaña.¹⁹

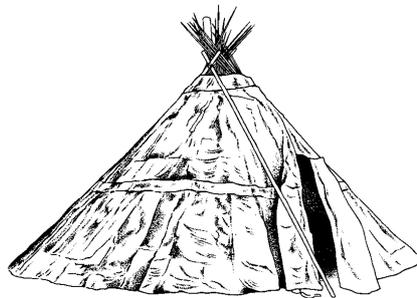


Fig. 2. La tienda de campaña india.

Por lo tanto, para Semper los inicios de la construcción son aquellos vinculados con el tejido, ya que para él la fabricación requiere estar hecha por la técnica realizada por las manos del hombre.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Gottfried Semper, *Der Stil in Den Technischen Und Tektonischen Künsten Oder Praktische Ästhetik: Ein Handbuch Für Techniker, Künstler Und Kunstfreunde (Vol. 1): Die Textile Kunst Für Sich Betrachtet Und in Beziehung Zur Baukunst* (Munich: 1860) p. 113.

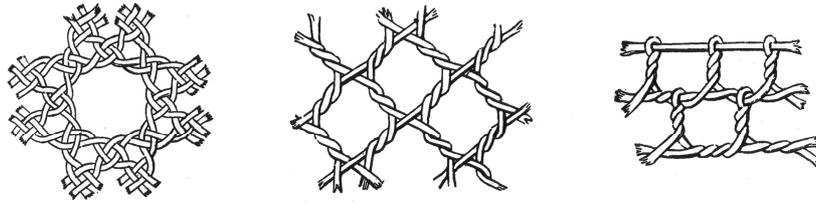


Fig. 3. Nudos típicos de la fábrica tradicional. Ilustración del primer volumen de *Der Still in technischen und tektonischen Künsten* de Gottfried Semper.

*"...it nevertheless remains true that the beginnings of building coincide with those of weaving...As the first partition wall made with hands, the first vertical division of space invented by man, we would like to recognize the screen, the fence made of plaited and tied sticks and branches, whose making requires a technique which nature hands to man, as it were. The passage from the plaiting of branches to the plaiting of hemp for similar domestic purposes is easy and natural."*²⁰

6.4.2. La carpintería tectónica y el ensamblaje: la cabaña

La cabaña es la primera casa construida por el ser humano, ya que sus manos y la técnica del momento se lo permitieron hacer. Así, Marc-Antoine Laugier cuenta cómo fue el proceso para la primera estructura, que reproduzco el texto en toda su integridad debido a los interesantes matices:

"The man wants a place to settle. Beside a tranquil stream he sees a meadow; the fresh turf pleases his eye, the tender down invites him. He approaches; and reclining on the bright colours of this carpet he thinks only of enjoying the gifts of nature in peace; he lacks nothing, he desires nothing; but presently the sun's heat begins to scorch him, and he is forced to look shelter. A neighboring wood offers the cool of its shadows, he runs to hide in its thicket; and he is content again. Meanwhile a thousand vapors which had risen in various places meet and join; thick clouds obscure the air, and fearful rains stream in torrents down on

²⁰ Ibid. p. 213.

delicious wood. The man, inadequately sheltered by leaves, does not know how to defend himself against the discomfort of a humidity which seems to attack him on all sides. A cave comes into view: he slips into it; finding himself sheltered from the rain he is delighted with his discovery. But new defects make this dwelling disagreeable as well: he lives in the dark; the air has to breathe is unhealthy. He leaves the cave determined to compensate by his industry for omissions and neglect of nature. Man wants a dwelling which will house, not bury him. Some branches broken off in the forest are material to his purpose. He chooses four of the strongest, and raises them perpendicularly to the ground, to form a square. On these four supports others laid across them; above these he lays some which incline to both sides, and come to a point in the middle. This kind of roof is covered with leaves thick enough to keep out both sun and rain: and now man is lodged. True, the cold and the heat will make him feel their expression in this house, which is open on all sides; but then he will fill the in-between spaces with columns and so find himself secure... The upright pieces of wood suggest the idea of columns, the horizontal pieces resting on them, entablatures. Finally, the inclined members which constitute the roof provide the idea of a pediment... Never has there been a principle more fruitful in its consequences; with it as guide it is easy to distinguish those parts which are only introduced through necessity or added by caprice." ²¹

Sin embargo, los elementos decorativos no contribuyeron en nada a la belleza esencial de un edificio, sino que fueron permitidos, un término que en la teoría de principios de la arquitectura se había aplicado a las características ornamentales que tenían una sanción antigua. Pero estos principios fueron precisamente lo que Laugier condenó totalmente, es decir, las adiciones debido al capricho,²² reivindicando siempre el hecho de que "no perdamos nunca de vista nuestra pequeña cabaña"²³.

²¹ Laugier, *Essai Sur L'Architecture*.

²² Joseph Rykwert, *On Adam's House in Paradise. The Idea of the Primitive Hut in Architectural History* (New York: The Museum of Modern Art, 1972) p. 44.

²³ Laugier, *Essai Sur L'Architecture*.



Fig. 4. Cabaña primitiva.

Frontispicio de la segunda edición de la obra del abate Laugier, *Essai sur l'architecture*, grabado de Ch. Elsen, 1753

Por tanto, esta cabaña estaba construida con troncos de árboles como columnas y no usa ni el barro ni artículos de mimbre (como trabajo manual del ser humano), por lo que puede entenderse y considerarse a esta cabaña como la mediación de la naturaleza con el arte a través del instinto y de la razón actuando al unísono.²⁴

En relación a este tema, Mies van der Rohe realizó un estudio de las construcciones "primitivas" de las culturas étnicas fuera del ámbito de la cultura greco-romana, cuyas viviendas estaban claramente compuestas en respuestas a las necesidades y al material. A continuación se reproducen los tipos interpretados de los ocho tipos de "cabañas" extraídos de la conferencia que dio el 12 de diciembre de 1923 y que organizó el Colegio de Arquitectos de Alemania en Berlín:

²⁴ Rykwert, *On Adam's House in Paradise. The Idea of the Primitive Hut in Architectural History* p. 46.

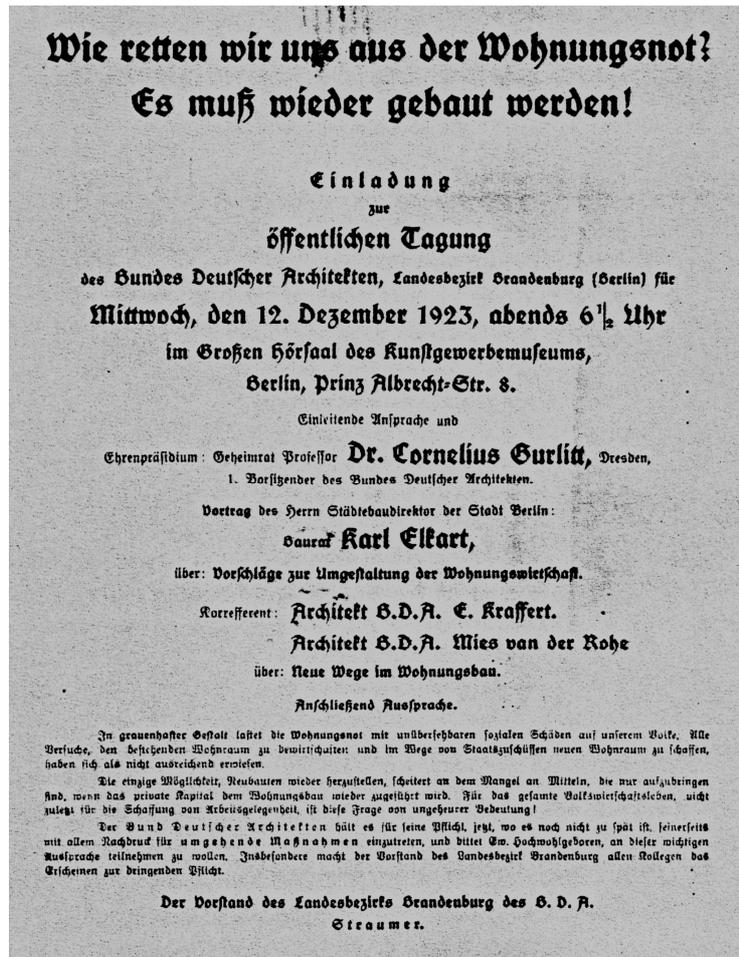


Fig. 5. Cartel de la Conferencia de Mies van der Rohe en el Colegio de Arquitectos de Alemania en Brandengurg District (Berlín) el 12 diciembre de 1923, en el auditorio de Berlin Arts and Crafts Museum bajo el lema "¿Cómo podemos escapar de la escasez de vivienda? La construcción debe ser reanudada!. La conferencia fue publicada en *Die Bauwelt*, 14, nº52 (1923), p.719 en donde se describen los 8 tipos de "cabañas".

- 1) "An Indian tent: this is the typical residence of a nomad. Light and transportable.
- 2) Leaf hut: this is the leaf hut of an Indian. Have you ever seen anything more perfect in terms of function and use of material? Is that not the best possible use of the jungle shadow?
- 3) Eskimo house: Now I take you into night and ice. Moss and seal skins have here become building materials. Walrus ribs from the roof structure.
- 4) Snow hut: We go even farther north. The residence of a central Eskimo. Here is only snow and ice. And yet, man builds.

- 5) *Summer tent of an Eskimo: This fellow even has a summer villa. The building material is skin and bones. From the stillness and loneliness of the north I bring you to warlike medieval Flanders.*
- 6) *Castle of the counts of Flanders and Ghent: Here is the residence has become a fortress.*
- 7) *Farm complex: ...Since there are no buildings that are equally responsive to needs of modern man, I can only show you a structure from a related field that is of modern sensibility and fills those conditions that I also long for and strive for in our houses.*
- 8) *The emperor: Here you see a floating apartment building, created according to the needs and means of our time. Now I must ask again: have you ever seen anything more perfect in terms of responsiveness to purpose and use of material?"²⁵*

6.5 EL VACÍO TECTÓNICO ENTRE LA CABAÑA Y LA EDAD DEL HIERRO DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La construcción estereotómica ha sido la visión tradicional de la inercia, de las paredes masivas y de los espacios internos rígidos que fueron resultado de la obra de albañilería.

La albañilería es la estructura estereotómica que se construye, mediante la acumulación de unidades²⁶ y es continua tanto estructuralmente como constructivamente bajo el trabajo a compresión. Frampton definiría perfectamente estas cualidades estereotómicas:

"...with the major changes wrought by the introduction of steel and reinforced concrete construction have had the effect of shifting the focus away from the relatively undifferentiated mass of traditional stereotomic construction to the articulation to built form into semperian categories of podium, "hearth", frame and envelope."

²⁵ Mies van der Rohe, *Gelöste Aufgaben. Eine Forderung an das Bauwesen* (Solved Tasks: A Challenge for Our Building Industry), *Die Bauwelt*, 14, nº52, 1823, Berlin, p. 719.

²⁶ Frampton, "Rappel a L'ordre: The Case for the Tectonic."

(...)

*"There is no denying that while load-bearing masonry was one of the main means of enclosing space from archaic times to the Baroque, it there after tended to become transposed into a thin lightweight membrane that either envelope and subdivided the basic volume."*²⁷

Así, la masa del edificio, según las antiguas reglas, habría sido proporcionada de acuerdo a las normas de la luz y de la sombra.²⁸

El gótico es la situación extrema del límite estereotómico de la piedra, en el cual la piedra casi está trabajando de una forma tectónica, por lo que se entiende que esta técnica es "un producto perfecto de la ingeniería en piedra"²⁹. En relación a esto se pueden citar las palabras de Mies:

*"...the masonry structures of antiquity, the brick and concrete constructions of the Romans, and the medieval cathedrals were incredibly bold engineering feats, and one can be certain that the first Gothic buildings were perceived, in their Romanesque environment, as foreign bodies."*³⁰

Por lo tanto, la estructura tectónica sólo se utiliza para el techo de madera en la construcción con albañilería.

6.6. LA TECTÓNICA DEL ACERO

Es interesante comenzar resaltando, con la crítica de Leon Battista Alberti sobre el uso de materiales artificiales (no naturales):

²⁷ Kenneth Frampton, "The Owl of Minerva: An Epilogue," in *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture* (Cambridge; Mass: MIT Press, 1995).

²⁸ Neumeyer, "Construction as Promise of Art: Building Art in the Raw," p. 113.

²⁹ Ludwig Hilberseimer, Third issue of G of July, 1924.

³⁰ Mies van der Rohe, "Building Art and the Will of the Epoch!," *Der Querschnitt* 1924 (nº1), pp. 31-32.

"The stones used in building and arch, should be every way the biggest that can be got; because the parts of any body that are united and compacted by nature, are more inseparable than those which are joined and cemented by art. The stones also ought to be equal on both sides, as if they were balanced with respect to their fronts, sizes, weight, and the like." ³¹

Los arquitectos de la generación de Semper perciben al hierro como inhóspito para las artes. Pero la arquitectura de acero fue un buen ejemplo de cómo los avances técnicos y estéticos podían basarse en la tradición. De esta forma, la composición tectónica encontró su expresión contemporánea en el esqueleto de acero.³²

Así, la construcción en acero fue la imagen de la nueva construcción de un esqueleto con su mínima masa que toca la tierra sólo por medio de unos pocos puntos de apoyo, siendo la llamada hacia una nueva definición del espacio³³. Por lo tanto, la naturaleza de la construcción del esqueleto de hierro permite una reducción de los componentes en la pared y deja sobre todo espacios vacíos³⁴.

Además, encontramos diferencias entre el hierro forjado y hierro fundido: la maleabilidad y alta resistencia a la tracción del hierro forjado, y la naturaleza frágil y alta resistencia a la compresión del hierro fundido. Estas distintas características se tienen en cuenta para distintas aplicaciones prácticas de ambos. Como es natural, el hierro forjado se utiliza preferentemente en la mayoría de las estructuras para soportar esfuerzos de tracción y la acción de la flexión, como en los elementos de tensión pura (cables, barras, etc.) y en las vigas, mientras que el hierro fundido se utiliza para soportar la tensión de compresión, como en las columnas y en las estructuras arqueadas. Mientras, el acero de fundición moderno tiene propiedades que combinan maleabilidad con gran fuerza y ofrece posibilidades hasta ahora desconocidas en la formación de estructuras portantes.

³¹ James Leoni, *Ten Books on Architecture by Leone Battista Alberti* (London: J. Rykwert, Alec Tiranti Ltd., 1955) p. 57.

³² Neumeyer, "Construction as Promise of Art: Building Art in the Raw," p. 116.

³³ *Ibid.*, p. 113.

³⁴ Max Dessoir, *Ästhetik und allgemeine Kunstwissenschaft* (1906), citado en Herman Sörgel, *Theorie Der Baukunst* (Munich: Piloty & Loehle, 1921) p. 321.

La teoría de Mies van der Rohe de la estructura ósea y la piel defiende la legalidad simple del edificio primario, desnudo, y una estructura en bruto sin puertas ni ventanas. De esta forma una nueva actitud estética con la estructura de hierro, que parece siempre estar en "construcción". Una "primitividad austera" junto a la luz, la elegancia cristalina por la sencillez constructiva que hizo posible "una arquitectura de luz al ciento por ciento", una visión que no podría haber sido posible sin una avanzada cultura técnica³⁵. Además Mies van der Rohe insistía en que se debería eliminar todo el peso innecesario de los edificios para hacerlos lo más ligeros posible ya que anteriormente se pensaba a menudo que el peso era sinónimo de fuerza, y que en su opinión eso era justo lo contrario. Este entendimiento de ligereza ha hecho poner al alcance los esqueletos de acero para los rascacielos.

6.7. LAS JUNTAS ESTRUCTURALES TECTÓNICAS

La junta tectónica es una solución global que posee un orden interno. Así, a través de las diferentes soluciones para las juntas de unión se expresan las diferencias culturales en el tiempo y en el contexto en función a la técnica empleada.

En orden a resistencia, la junta tectónica estructural tiene que tener más resistencia que los materiales estructurales. La resistencia de un material se define como el nivel de fatiga que hace que el material falle. De esta forma, el daño estructural se produce cuando la fatiga dentro de una estructura superior supera a la resistencia del material.

Se pueden clasificar los siguientes tipos de juntas tectónicas:

- El nudo (tejido)
- El ensamblaje (Carpintería y estructuras de acero articuladas)
- El remache (hierro)
- La soldadura (acero)

³⁵ Neumeyer, "Construction as Promise of Art: Building Art in the Raw," p. 116.

También se observan distintos comportamientos de las juntas trabajando estructuralmente:

- Articuladas
- Apoyadas
- Empotradas

Esta evolución del nudo a la soldadura se puede entender como el paso gradual desde el artilugio "natural" (el nudo, el tejido y la carpintería-tectónica) al artificio (el hierro soldado).

Al principio el único medio de conexión entre las piezas de hierro fue el remache. Éstos se utilizaron para hacer composiciones de secciones de barra o para conectar las barras entre sí. placas de refuerzo eran generalmente necesarias para la conexión de las barras mediante los remaches.

La metalurgia ha perfeccionado hasta ahora procesos de fundición para el acero en donde la resistencia a la tracción del acero fundido es en la actualidad igual a la del acero laminado. El acero fundido tiene la ventaja añadida de ser soldable. Por consiguiente, el acero fundido ofrece nuevas posibilidades para el diseño de las juntas de unión y los tipos de conexiones. Los arquitectos se enfrentan ahora a la tarea de desarrollar diseños en los que el acero fundido se puede emplear con eficacia en el sentido de la fabricación y el montaje.

Por lo tanto, la soldadura de acero es una junta tectónica especial que proporciona una continuidad material-estructural homogénea.

6.8. LA MEMBRANA COMO ESPACIO: EL TEJIDO Y LA ESTRUCTURA

El desarrollo de la membrana parte del abandono de lo monolítico en favor de un tejido formado en capas, en particular durante el último cuarto del siglo XIX y las dos primeras décadas del siglo XX³⁶.

³⁶ Frampton, "The Owl of Minerva: An Epilogue."

Se puede considerar que la membrana está construida por un material, el cual puede ser textura (superficie y efecto), estructura (diseño) y estética (forma).

En el caso del vidrio transparente, éste forma un contraste con la pared sólida. Por lo tanto, la luz que pasa a través de él toma su máximo efecto en el interior. El vidrio a la vez cierra y abre los espacios, creando un juego de luces y sombras. Las estructuras transparentes permiten una ampliación óptica del espacio, y con ello mejorar la calidad de vida dentro de un edificio. Así, el tejido puede transformar el espacio y por lo tanto la membrana también es el espacio.

Un croquis conceptual de Frampton indica el proceso de evolución tecnológica de la envolvente. Del nudo del tejido sobre una estructura de palos de madera nómada al vidrio sobre una estructura de metal, que le permite ver el paisaje y disfrutar del confort.

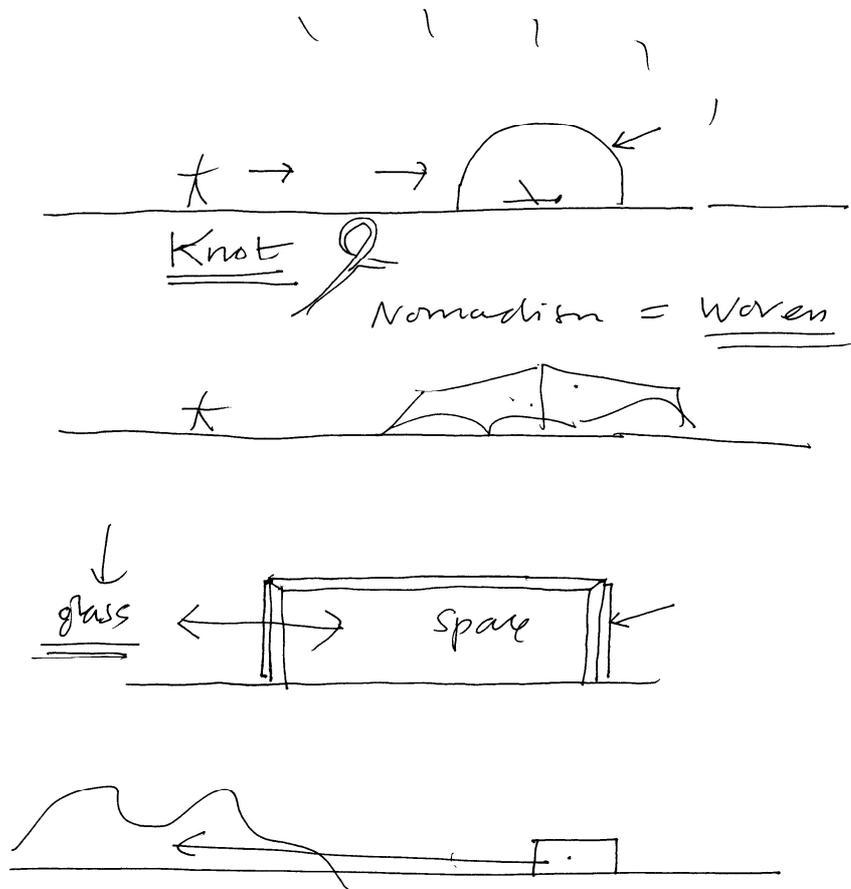


Fig. 6. Dibujo original de Kenneth Frampton (entregado al doctorando en The Graduate School of Architecture, Planning and Preservation de Columbia University, Diciembre de 2003)

6.9. LA ESTRUCTURA ÓSEA Y LA TRANSMISIÓN DE LA CARGA

Como antes se apuntó, el gótico es el mejor ejemplo en el que existe una técnica depurada de descomposición de las cargas que hace que el cerramiento comience a poder perforarse aún más que en las anteriores épocas.

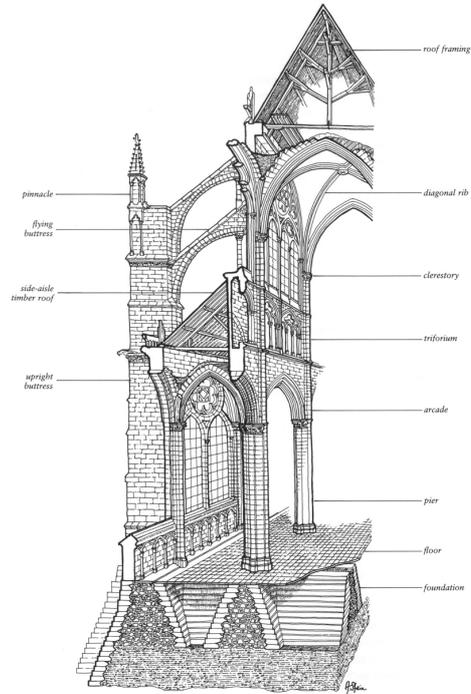


Fig. 7. Sección constructiva de la Catedral de Amiens (1230)

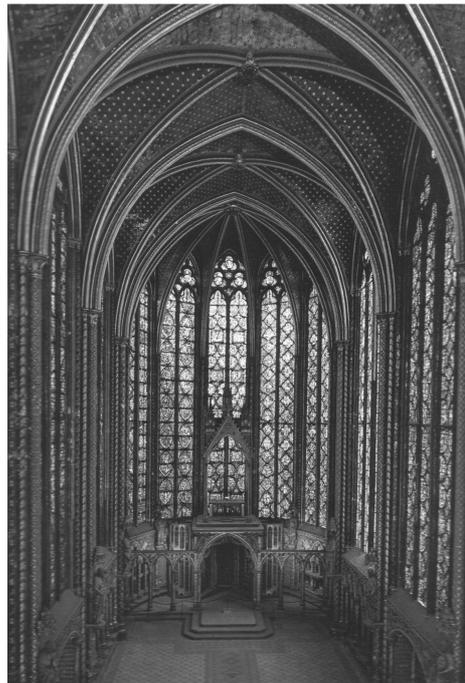


Fig. 8. Sainte Chapelle de París (1243-1248).
Máxima desmaterialización del esqueleto de piedra.



Fig. 9. Catedral de Chartres, Francia, S. XII y XIII.

Por lo tanto la arquitectura gótica es el límite del espacio estereotómico que lucha por liberar al cerramiento para conseguir una membrana de mayor relación con la luz y en donde aún sigue todo trabajando a compresión.

Gracias a esta subdivisión de las fuerzas de compresión, la estructura del gótico alcanza la máxima eficiencia estereotómica, por lo que se puede plantear que una estructura será más eficiente cuanto mayor sea la subdivisión de las fuerzas de compresión³⁷.

Uno de los arquitectos españoles que abordaron este tema fue Alejandro de la Sota que con sus dibujos y escritos intentaron aclarar estos conceptos:

"Se pueden tener ideas arquitectónicas; es necesario tener los medios para desarrollarlas. Toda la ilusión gótica por conseguir una aparente ligereza de sus fustes y nervaduras en sus columnas y bóvedas es una idea bellísima, pero su realidad absurda al no tener el material

³⁷ Bjorn Normann Sandaker, *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. (London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008) p. 67.

apropiado. Siglos pasaron para que existan varillas que en haces como gavillas de paja sean columnas lógicas. La mentira de sus nervios sólo hoy podría ser verdad. ¿Cómo se crea la belleza? ¿Con la tensión de la imposibilidad manifiesta? Tal vez. A mí, lo he dicho mil veces, me parece bellísimo un paraguas o una sombrilla, ya que sus varillas (los nervios de su bóveda) son auténticas y su plementería de simple tela que cierra los espacios. ¿Será la belleza total la que iguala deseo y posibilidad? Tal vez, tal vez no, como todo lo alcanzado.”³⁸

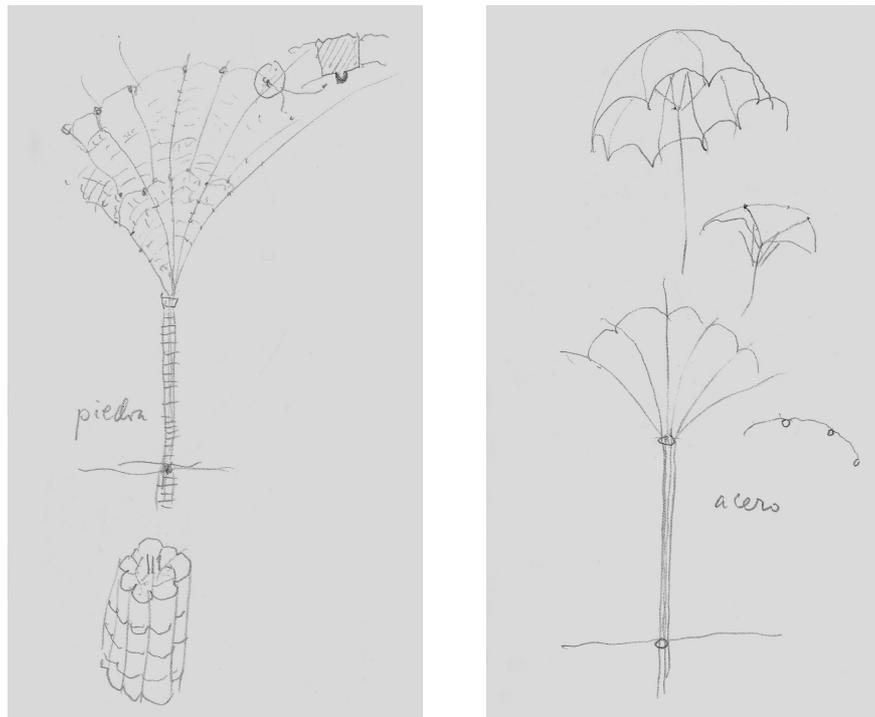


Fig. 10. Dibujos de Alejandro de la Sota

Estos indicios de Alejandro de la Sota del entendimiento de la belleza que integra en igualdad a la necesidad y a la posibilidad, tienen mucha relación con la arquitectura que se basa en la razón y en la lógica constructiva en busca de una ética tectónica que vincule la idea de la concepción del espacio con el uso racional del material-estructural destinado a construir dicho espacio. Este aspecto se desarrolla con mayor amplitud en las conclusiones del capítulo 9 de esta tesis.

³⁸ Alejandro de la Sota, "Alejandro De La Sota, Arquitecto," (Madrid: Ediciones Pronaos S.A., 1989), p. 15.

Es con Viollet-le-Duc cuando se difunde el uso de las nervaduras de acero para construir los espacios arquitectónicos como la evolución industrializada del gótico. Es interesante citar la reflexión de Viollet-le-Duc en referencia a las mejoras en la utilización del hierro en vez de la piedra, sobre todo en el ahorro de espacio:

*"Es evidente que, si los constructores medievales hubieran tenido hierro laminado o fundido de dimensiones considerables, no habrían empleado este material del mismo modo que la piedra... También es evidente que habrían sacado provecho de los principios de elasticidad que ya estaban aplicando a los edificios de piedra... Sin duda, el organismo resultante sería menos que aquel de pesados contrafuertes y mucho menos caro, puesto que sus combinaciones de hierro no pueden costar tanto como los contrafuertes y sus basas, pero sobre todo, ocuparía menos espacio."*³⁹

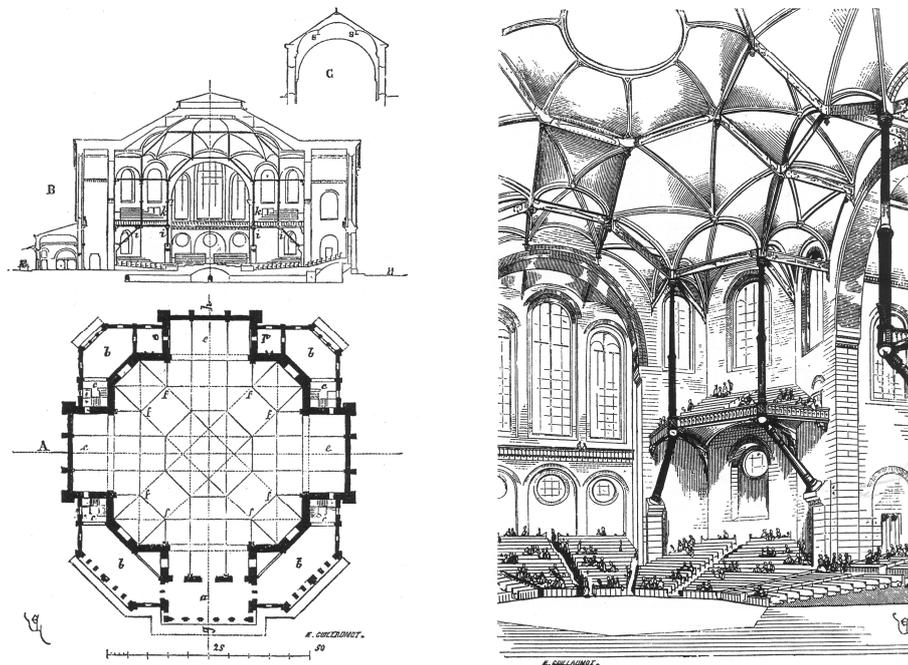


Fig. 11 y 12. Proyecto para una sala de 3.000 asientos, 1872
(Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc)

³⁹ Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc, *Discourses on Architecture* (New York: Grove Press, 1959) Lecture XII, pp. 58, 61.

Otra de las evoluciones de esta subdivisión de las cargas es que los nervios pueden dibujar las líneas de movimiento de las cargas que descienden hasta el suelo a modo de líneas isostáticas. De esta forma, estos primeros intentos geométricos, como por ejemplo el que Anatole De Baudot realizara para la Salle des Fêtes, posteriormente fueron precisados por Pier Luigi Nervi en la Fábrica de lanas Gatti o en The Palace of Labour.

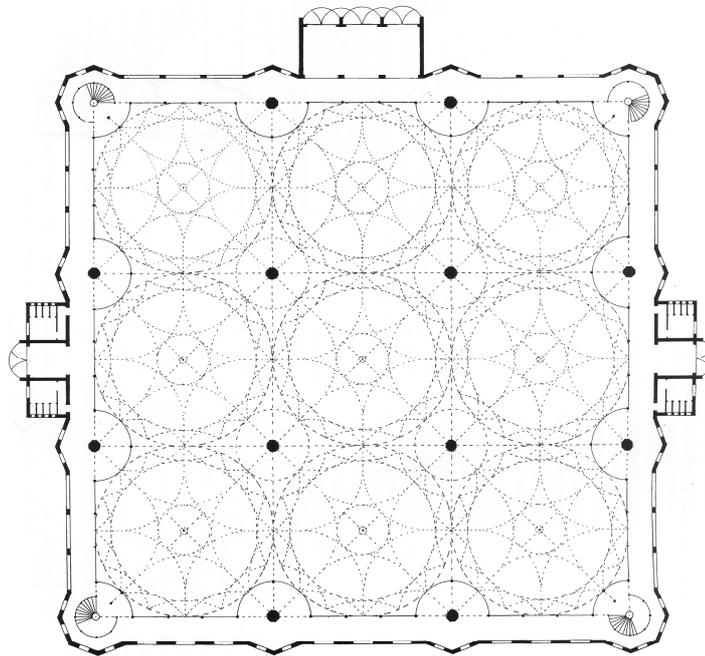
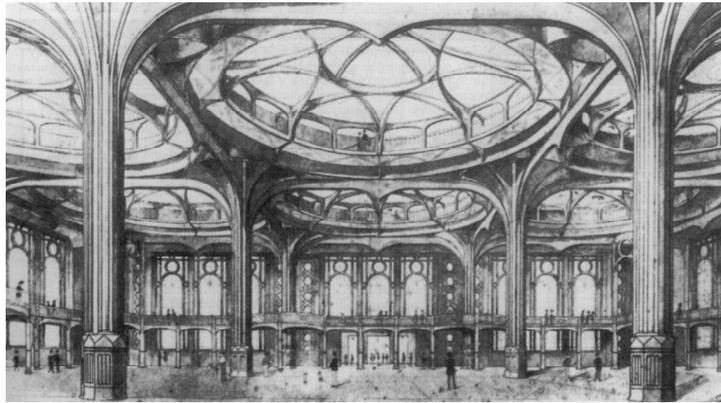


Fig. 13 y 14. *Salle des Fêtes*, 1910, planta y perspectiva.
(Anatole De Baudot)

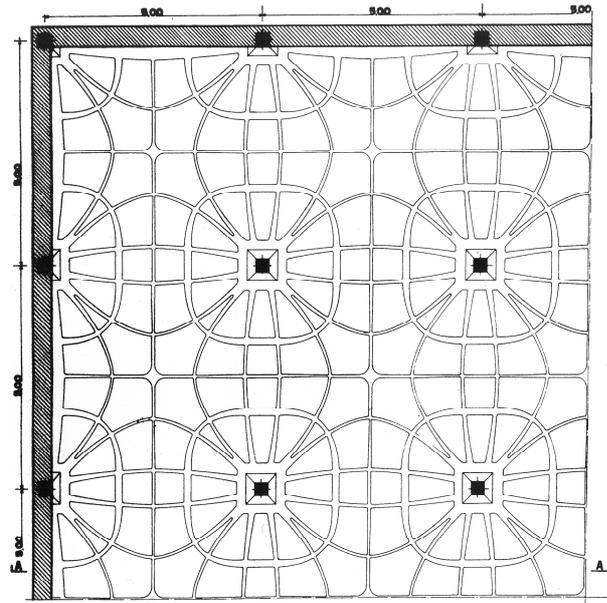


Fig. 15. Fábrica de lanas Gatti, Roma, 1953, planta parcial.
(Pier Luigi Nervi)



Fig. 16. The Palace of Labour, Milan, 1961 (Pier Luigi Nervi).

Una evolución distinta a la de las líneas isostáticas como método para descomponer las fuerzas, fue el trabajo de Gaudí, el cual se enfrentaba mediante su investigación personal a un refinamiento del gótico. El método que utilizó estaba basado en una aplicación práctica mediante maquetas funiculares aplicando cargas infinitesimales dentro de la mecánica de medios continuos. Así el resultado es una descomposición estructural más plástica que mediante la inversión de las cargas se aseguraba el equilibrio con el trabajo a compresión de la estructura. La técnica de diseño funicular consiste en adoptar como eje geométrico de la estructura a la forma invertida proporcionada por el hilo sometido a las

cargas gravitatorias. Así, el modelo de hilos permite visualizar fácilmente la interacción entre la geometría y la mecánica y por prueba error corregir la forma según las necesidades funcionales, estéticas y expresivas del arquitecto, pero siempre en el marco de las leyes de la mecánica. Esta movilidad le confiere al modelo el carácter de un ser vivo que, oscilando, se aproxima lentamente a su posición final de equilibrio. Por ese motivo Gaudí defendía que la silueta de la forma surge de la propia estructura⁴⁰. Este mismo mensaje lo expresaba Eduardo Torroja al afirmar que "la mejor obra es la que se sostiene por su forma y no por la resistencia oculta de su material"⁴¹.



Fig. 17, 18 y 19. Maqueta funicular de pesos de la Sagrada Familia de Gaudí.

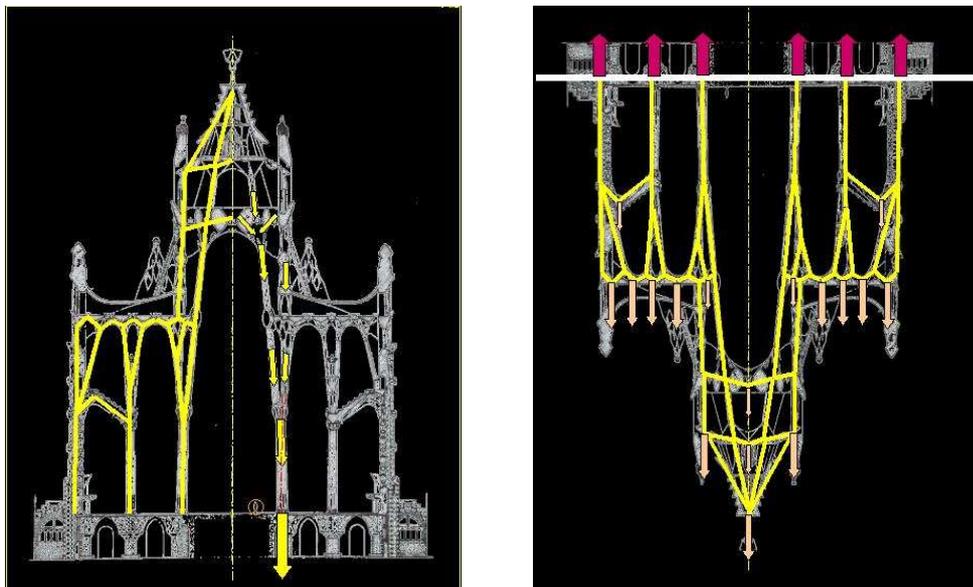


Fig. 20 (izquierda). La Sagrada Familia. Ejes estructurales y transferencia de cargas. Fig. 21 (derecha) Diagrama funicular con acciones

⁴⁰ Eduardo Daniel Quiroga and Eduardo Alberto Salomón, *Gaudí: Mecánica Y Forma De La Naturaleza* (2010 [cited]; available from www.monografias.com).

⁴¹ Eduardo Torroja Miret, *Razón Y Ser De Los Tipos Estructurales* (Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008).

Siguiendo esta idea de optimizar la forma estructural para una mayor eficiencia entre el material empleado y la resistencia del mismo, surge la figura de Miguel Fisac Serna el cual trabaja con la idea ósea de que cuando se trabaja con hormigón éste pesa excesivamente y entonces considera que deben eliminarse las partes que no trabajan.

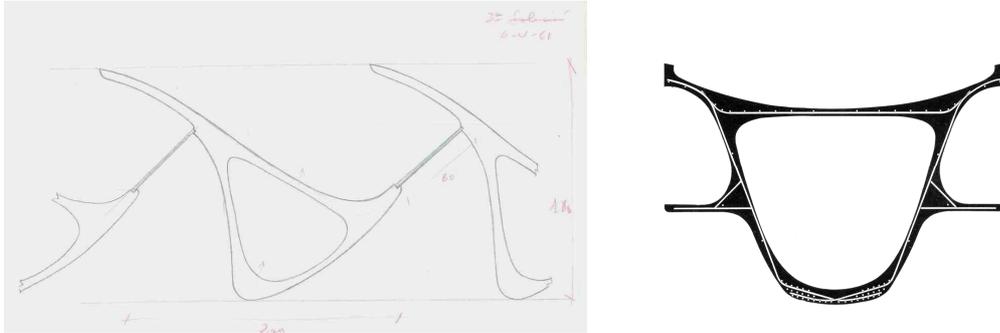


Fig. 22(izquierda). Sección de la tercera solución de la viga hueca de hormigón pretensado para el Instituto de Estudios Hidrográficos del MOPU.

Fig. 23(derecha). Sección de pieza hueca de hormigón pretensado para cubierta.

Esta idea, en cierta manera, de optimización y eficiencia estructural ha sido una cuestión que ha preocupado siempre a los arquitectos que entendían al problema estructural como parte fundamental para concebir el espacio construido. Así, también Mies van der Rohe fue un arquitecto que vivió con intensidad los desarrollos estructurales para poder "deshuesar" mejor la transmisión de las cargas, y sus edificios, sobre todo en su etapa americana, fueron claros ejemplos de esta descomposición estructural que casi se podía titular como "del hueso al cartílago". Cabe resaltar esta apuesta en los edificios de mayor escala en donde la estructura juega un papel importante al cubrir mayores luces, teniendo por consiguiente que reducir al máximo su peso propio para poder ser lo más eficientes posibles (véase capítulo 4, apartado 4.5 titulado "Estructura y Escala"). En el proyecto del Convention Hall de Chicago de Mies van der Rohe, se puede ver que existe en los alzados una expresión geométrica del movimiento de las cargas (Fig. 24 y 25) y en la planta de cubiertas un estudio de la reducción de peso en las cerchas función de las necesidades estructurales (véase Fig. 35 y 36 del capítulo 9).

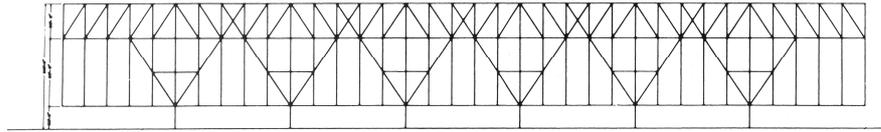


Fig. 24. Solución inicial del Convetion Hall (Chicago, 1953-54) de Mies van der Rohe

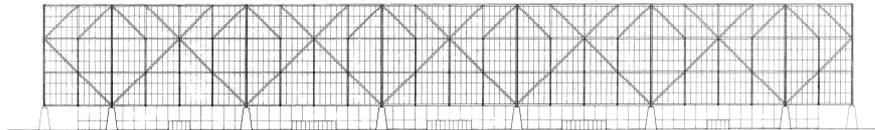


Fig. 25. Solución final del Convetion Hall (Chicago, 1953-54) de Mies van der Rohe

Un forma de evolución de esta subdivisión de las cargas es la estructura arbórea, en la cual la sección de los elementos estructurales tubulares se reducen a la vez que aumentan en cantidad para recoger de una forma más repartida las cargas que provienen de la cubrición, reduciéndose como consecuencia la sección de las vigas de la cubierta. Este tipo de construcción en metal ha sido posible gracias a la fabricación de juntas de acero fundido, como es el caso de la Terminal del Aeropuerto de Stuttgart, soldadas posteriormente a las barras tubulares estructurales.



Fig 26(arriba). Stuttgart Airport Terminal 1 (1991).

Von Gerkan, Marg and Partners.

Fig. 27(abajo izq.) Detalle de la junta de unión en acero fundido soldado.

Fig. 28 (abajo der.) Detalle de la unión con la cubierta mediante rótulas para evitar la transmisión de momentos a las barras.

7. LO ESTEREOTÓMICO Y LO TECTÓNICO

7.1. CONCEPTOS ESTEREOTÓMICO Y TECTÓNICO.

Se pueden esquematizar estas continuas dualidades entre lo tectónico y lo estereotómico, según las consideraciones de Semper en la teoría, Frampton en la crítica y la aplicación práctica en el siguiente cuadro realizado:

Dualidad Estructural: ESTEREOTÓMICO (e) / TECTÓNICO (t)

		SEMPER (teoría)	FRAMPTON (crítica)	APLICACIÓN PRÁCTICA
ESTRUCTURA	Estereotómico	Trabajo con agregaciones sólidas resistentes a compresión	Construida a través de la superposición de unidades idénticas	Continuidad estructural y constructiva
	Tectónico	Trabajo con trozos resistentes a fuerzas a lo largo de su longitud	Elementos de longitud variable unidos para crear una unidad espacial	Construcción ensamblada
ESPACIO	(e)	Preparación del sitio + Exposición	Podio + Poder abarcar un espacio	Plano horizontal y Espacio conformado por "la masa de la tierra" (cueva)
	(t)	Realizar una forma + abarcar	Encerrar un espacio con una estructura tramada	Espacio exterior a "la masa de la tierra" (cabaña)
ONTOLÓGICO	(e)		Materialidad	Gravedad trabajando de forma continuada
	(t)		Inmaterialidad	Gravedad trabajando de forma sincopada
REPRESENTACIONAL	(e)		Tierra – oscuridad (opaco)	Búsqueda de la luz
	(t)		Cielo – luz (traslucido)	Protección y control de la luz
MATERIALES	(e)	Mampostería y tectónica de la piedra	Ladrillo, roca, piedra, tierra compactada y hormigón armado	Hormigón armado
	(t)	Madera, bambú y trabajo de cestería	Madera, bambú y trabajo de cestería	Acero
RESISTENCIA	(e)	Compresión	Compresión y tracción en el hormigón armado	Compresión y tracción (EMPOTRAMIENTO)
	(t)	Tracción	Tracción	Tensión (compresión y tracción) (ARTICULACION)

Fig. 1. Cuadro de la dualidad estructural tectónico-estereotómico realizado por el doctorando.

7.2. CONTINUIDAD Y DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL. EL TIPO DE APOYO

En primer lugar partiré de la definición que Jesús Aparicio Guisado realizó de los conceptos de continuidad y discontinuidad sobre el muro en la concepción arquitectónica, en donde establece una clara separación tectónica-estereotómica:

"La idea discontinua conlleva la idea tectónica de arroparse, cubrirse, asentarse, cerrarse, etc. La arquitectura tiene un carácter móvil, nómada, que nace de la necesidad espacial del lugar donde se asienta. El concepto de discontinuum en el muro genera una arquitectura, que resulta de un ensamblaje de piezas indistinguibles del todo, en continuidad con la naturaleza.

(...)

La idea de continuum está conectada con el pensamiento estereotómico, donde la materia es un todo en la idea. En el muro confluyen todas las partes y se integran en su espesor. La arquitectura tiene un carácter inmóvil, estático, que nace de una idea universal. Las piezas no se identifican en el todo, pues no son parte de un mecano. El espacio nace de la idea interior y no de operaciones parciales con componentes ensamblados. El espacio interior es discontinuo con la naturaleza."¹

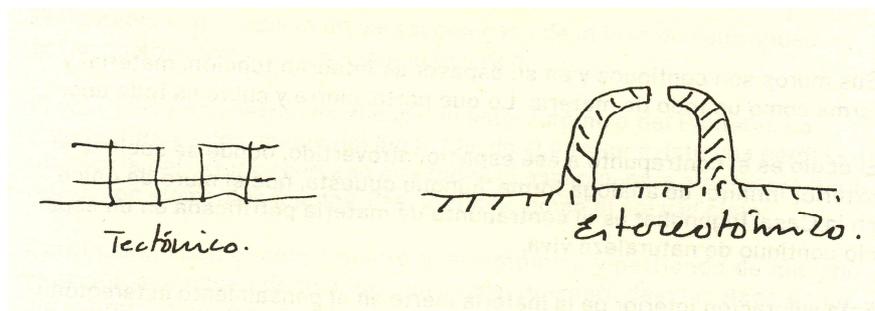


Fig. 2. Dibujo explicativo conceptual de la dualidad tectónico-estereotómica de Jesús Aparicio Guisado.

Esta idea de continuidad-discontinuidad se va a desarrollar hacia el espacio arquitectónico envuelto en donde se estudiará el punto de inflexión entre lo que pertenece a la tierra frente a lo que pertenece al cielo. Esta inflexión se considera como el punto culminante del entendimiento de la continuidad-discontinuidad

¹ Jesús M^a. Aparicio Guisado, *El Muro* (Madrid: Biblioteca Nueva, 2006) p. 194.

sobre cuándo una estructura y su espacio pasan de su estado estereotómico al tectónico.

Me centraré en cómo este punto de discontinuidad aparece representado por el tipo de apoyo en la estructura. Si los soportes de una estructura surgen del suelo de modo continuo, se puede considerar que existe una continuidad material entre la tierra y la estructura, por lo que todas las juntas de unión serán lo más rígidas posible, es decir, empotradas, por lo que estaremos hablando de un espacio estructural estereotómico. En el momento en que esta discontinuidad aparece, mediante la unión-junta articulada o apoyada, la estructura tectónica comienza a desarrollarse. Sabemos que este tipo de estructura última se caracteriza por el ensamblaje de sus partes, por lo que se puede considerar que la junta máxima es el punto de contacto de estos elementos ensamblados con otro material diferente, es decir, el terreno, a donde van a parar las cargas de la construcción. Por lo tanto, el estudio de esta continuidad-discontinuidad en el punto de contacto de la estructura-envolvente del espacio con el terreno-suelo será una parte fundamental para comprender cómo se entiende la poética del cerramiento del espacio. Una envolvente que levitará y que tenderá a la desmaterialización frente a otra envolvente como continuidad de la masa de la tierra la cual será más material y que se caracterizará por la búsqueda de la luz.

Así, la envolvente que encierra el espacio arquitectónico pertenece a la "masa terrestre" o se sustenta sobre el suelo como un objeto tectónico. En la medida en que la envolvente se relaciona con la tierra, tanto apoyada-articulada como empotrada, será diferente la relación con el plano del suelo (discontinuo y continuo respectivamente). Esta lectura de continuidad puede representarse con la imagen que nos deja la obra escultórica titulada "El monumento al Pilar" de Hermann Obrist de 1898, del que se observa como si de la masa pétrea surgiera la columna. La imagen discontinua manifiesta el apoyo articulado mediante rótulas que podemos observar en toda aquella arquitectura industrial de finales del siglo XIX y principios del XX, aunque este concepto de discontinuidad surgiera ya en los antepasados de la arquitectura más efímera basada en la idea de la cabaña que se asentaba siempre sobre la cimentación del terreno tanto apoyada o ligeramente sobre elevada.

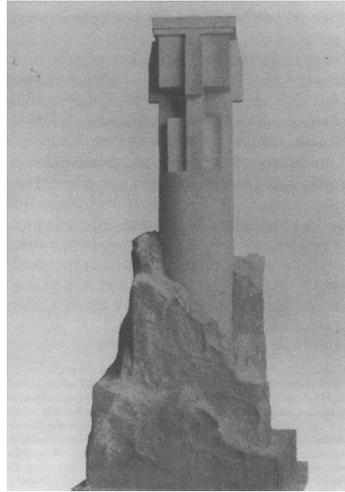


Fig. 3. "El monumento al Pilar" de Hermann Obrist de 1898

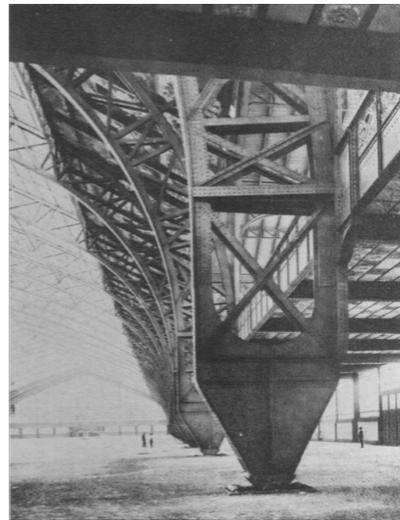
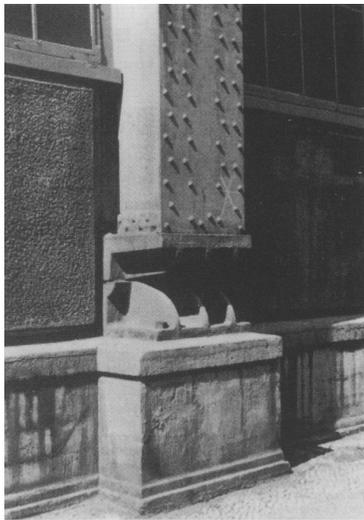


Fig. 4 (izquierda). Detalle del apoyo de la fábrica AEG, Berlin (1909) de P. Behrens.

Fig. 5 (derecha). Apoyo de la Galería de las Máquinas, París (1889), V. Contamin.

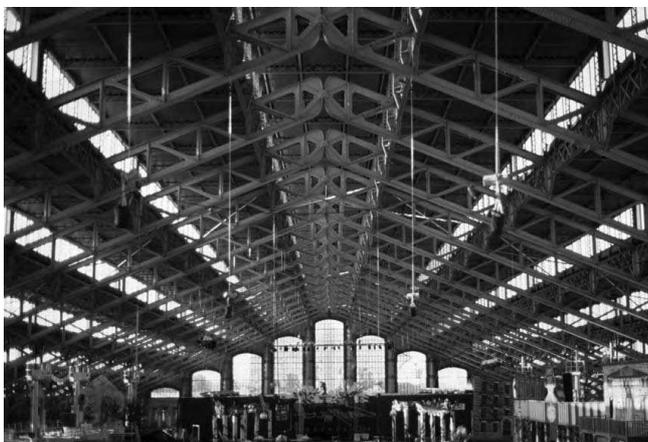


Fig 6 y 7. Vista general y detalle del Slaughter Hall in Lyon (1914), Tony Garnier.

La casa japonesa es otro de los ejemplos de esta discontinuidad entre lo construido de forma tectónica y lo continuo que pertenece a la tierra, ya que mediante el ligero plano elevado del suelo se marca esta sutil pero importante separación. Pero lo realmente interesante es ver en la casa japonesa cómo se ejecutan los apoyos de los soportes de madera que llegan al terreno. Aquí el concepto de discontinuidad se expresa materialmente de un modo claro, al prepararse una base de piedra sobre la que arrancarán los pies derechos de madera.

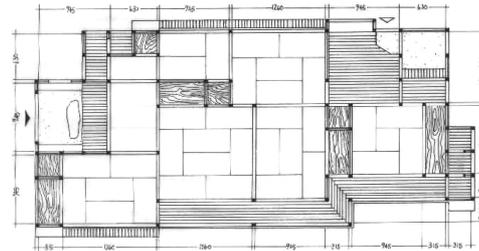
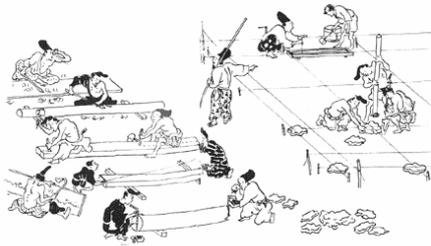


Fig. 8. Dibujos de construcción de los cimientos de la casa japonesa sobre un lecho de piedra.

Fig. 9. Dibujo de la modulación en planta de los soportes de madera en función del tatami.

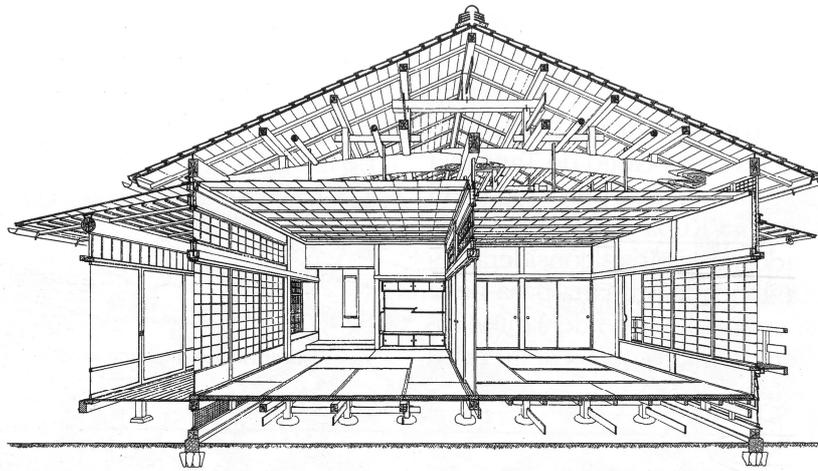


Fig. 10. Sección en perspectiva de la casa tradicional japonesa de una sola planta.

También, existen matices con respecto al punto de contacto de la estructura con el suelo, ya que puede variar en función de la altura de éste o de su prolongación mediante un basamento, basa o pedestal. Se puede analizar cómo en tres proyectos de Mies van der Rohe la relación es distinta. En la casa Farnsworth el apoyo

estructural es sobre el nivel del suelo aunque el plano de la casa se sobre eleve como las casas japonesas; en este caso la discontinuidad material entre la cimentación-masiva los pilares metálicos es clara.

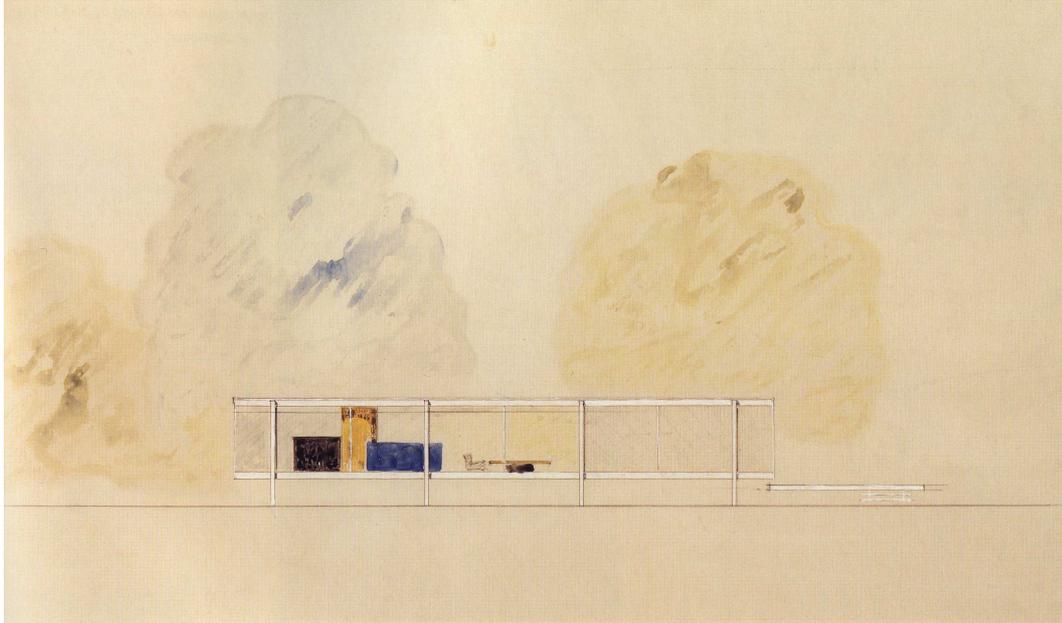


Fig. 11. Alzado de la Casa Farnsworth, Illinois (1946-1951), de Mies van der Rohe.

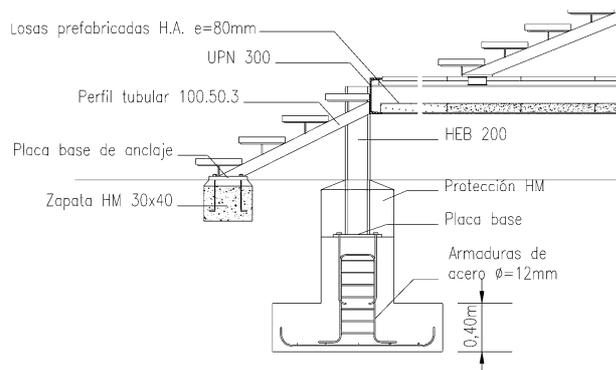
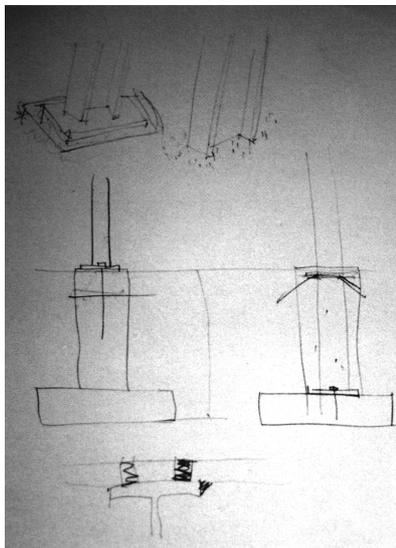


Fig. 12 (izquierda). Croquis de Mies van der Rohe sobre el estudio de la posición de la placa de anclaje de los pilares metálicos sobre la zapata de hormigón.

Fig. 13. (derecha). Solución final constructiva en donde la placa y el arranque del pilar metálico se recubren de hormigón para su protección frente a la tierra.

En el proyecto para el Convention Hall de Chicago una de las dos soluciones planteadas es que el apoyo de la gran cubierta estructural que a modo de cercha megaestructural envuelve el espacio se apoya sobre un pedestal de hormigón que hace las veces

de prolongación de la masividad de la tierra. En este caso la discontinuidad se eleva del plano del suelo al nivel superior de las basas de hormigón armado en donde aparece la placa de anclaje de la estructura metálica. En otra solución para el Convention Hall, Mies opta por que esa discontinuidad se realice justo en el plano del suelo mediante la prolongación de unos pilares metálicos empotrados a los nudos de la cercha superior. En esta segunda solución el apoyo de la estructura del edificio aparece en el contacto con el suelo en donde aparece la placa de anclaje. Está claro que esta discontinuidad estructural-material queda marcada por la altura en la que la placa de cimentación se fija.

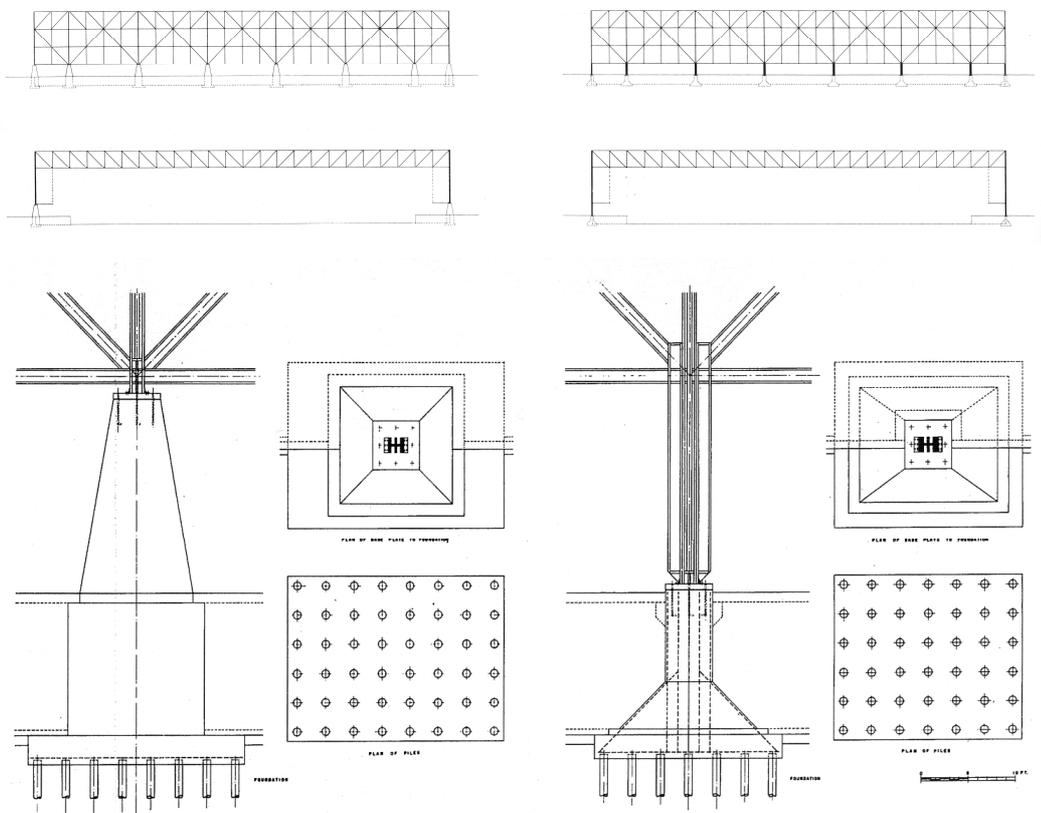


Fig. 14(izq.) y 15(der). Convention Hall, Chicago, 1953-54. Mies van der Rohe.

Dos soluciones del apoyo de la cercha como piel envolvente del espacio. "En la solución usando una columna metálica (figura derecha), la columna superior (contenida en la cercha) se prolonga como una viga en voladizo y se refuerza (de ese modo empleando una sección mayor de columna para resistir la fuerza del viento) y es terminada en la base de la placa de cimentación. La columna de la otra solución (figura izquierda) fue terminada, en línea con la cercha horizontal de arriostramiento, en la parte superior de un plinto de hormigón, 20 pies de alto sobre el suelo."²

En la New National Gallery en Berlín y en el proyecto para la Sede Bacardi en Santiago de Cuba el plano del suelo del edificio se levanta sobre un gran basamento que hace de zócalo respecto al entorno que lo rodea. La discontinuidad material

² Carter, *Mies Van Der Rohe at Work* p. 102.

aparece en este basamento elevado que conforma una gran plataforma sobre la que se sitúan las placas de anclaje de los grandes pilares cruciformes marcando ese plano de discontinuidad. En esta estructura metálica tectónica, que se levanta sobre el podio artificial generado, se manifiesta un mayor grado de sofisticación al desarrollar interesantemente el ensamblaje de los elementos tectónicos. Así esa evolución de la junta se desarrolla en la forma de apoyar la cubierta sobre los pies derechos metálicos. Mies pretende marcar claramente lo que es el plano horizontal de la gran cubierta que apoyará sobre los soportes, así el sistema elegido fue una junta tipo apoyada compuesta por un sistema de rótula que evitaba la transmisión de momentos flectores a los pies derechos metálicos, lo que hacía aún más conceptual la idea de una gran dintel-cubierta y de una gran sombra apoyada sobre unos pilares.

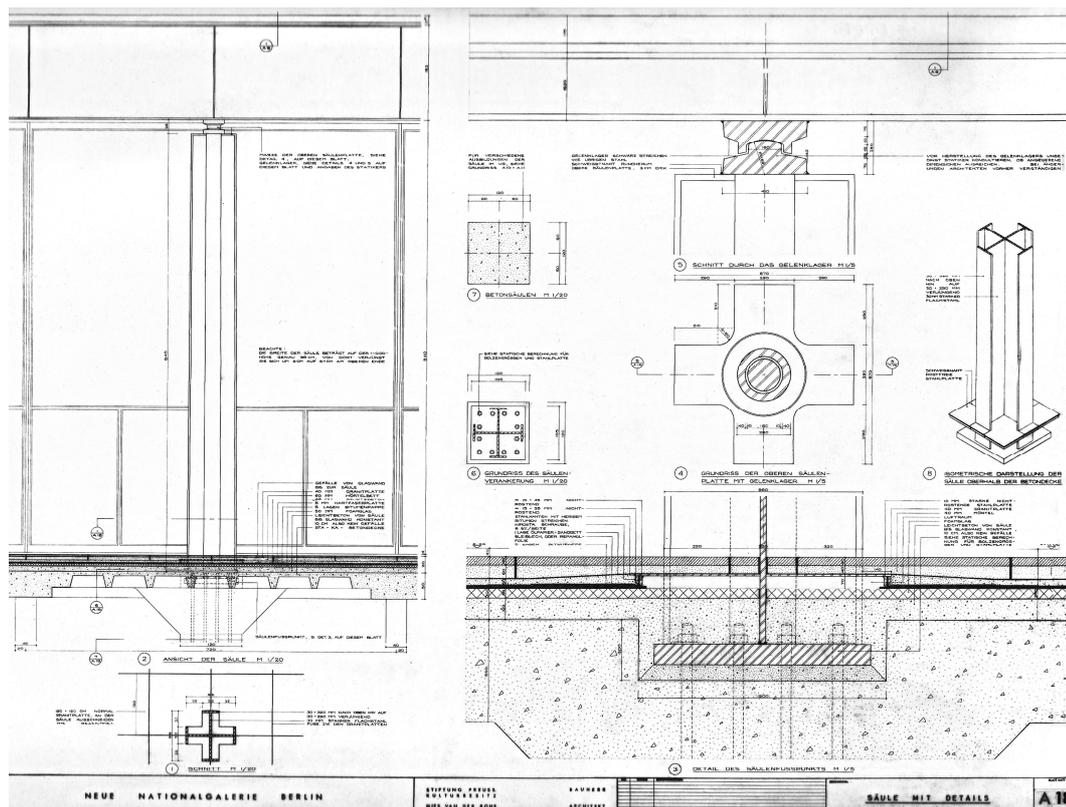


Fig. 16. New National Gallery de Mies van der Rohe, Berlín 1962-68. Detalle de la columna metálica cruciforme y del apoyo de la cubierta.



Fig. 17. Imagen exterior de la New National Gallery de Mies van der Rohe, Berlín 1962-68.

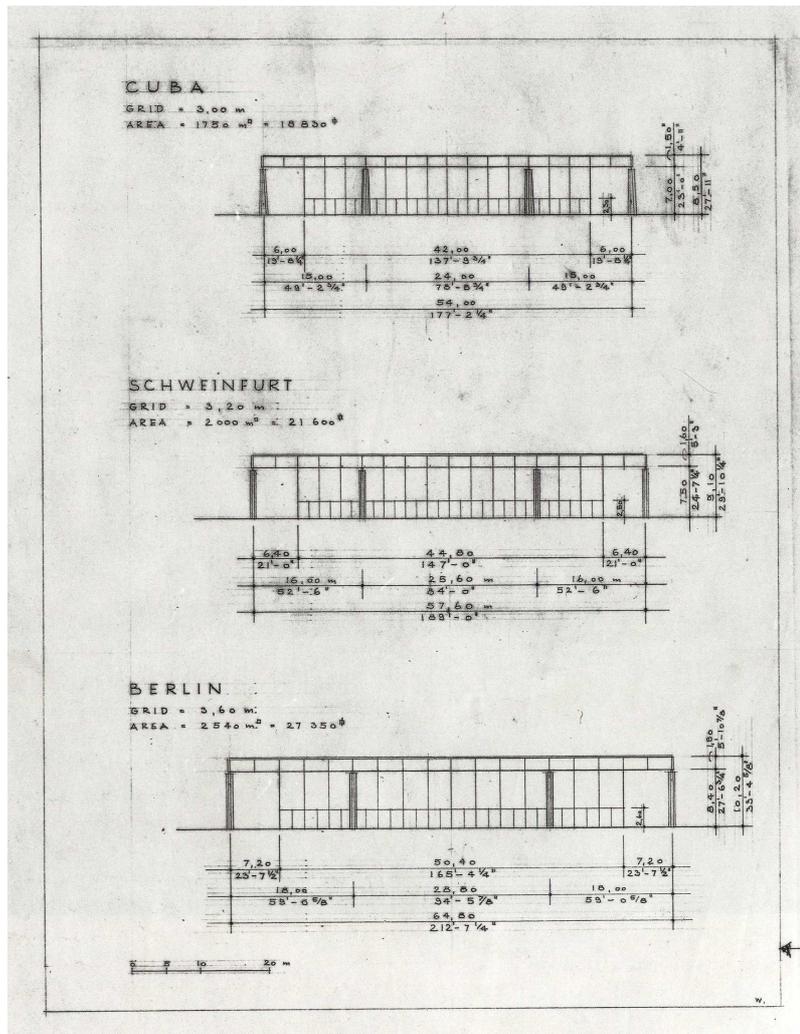


Fig. 18. Alzados acotados del edificio Bacardí en Cuba, el museo Georg Schaefer en Schweinfurt y la New National Gallery en Berlín.

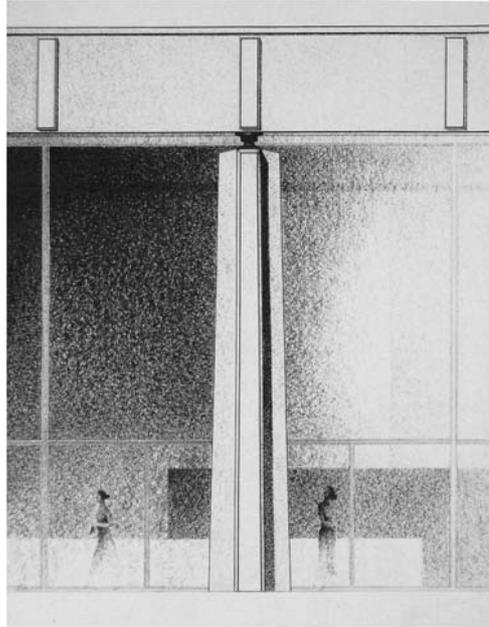


Fig. 19. Alzado de detalle del edificio de oficinas Bacardí en Santiago de Cuba de Mies van der Rohe.

Para Mies, la junta que expresaba la discontinuidad en el apoyo de la cubierta sobre los pilares metálicos cruciformes fue esencial, y muestra de ello son las distintas soluciones que estudió previamente a la solución final. Para él, en este pequeño matiz estaba todo el proceso conceptual resumido.

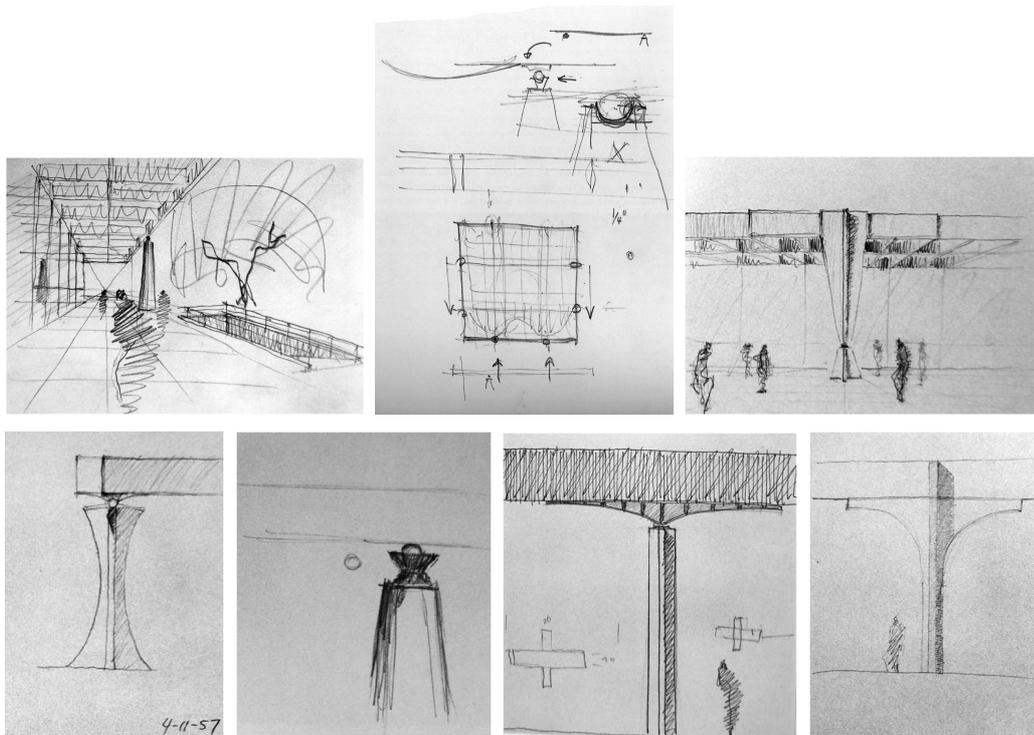


Fig 20,21,22,23,24,25 y 26. Distintos dibujos de las opciones del apoyo de la cubierta sobre la columna. Proyecto de la Sede Bacardí en Santiago de Cuba, Mies van der Rohe, 1957.

Es interesante añadir a este grupo de proyectos, que marcan una discontinuidad entre lo construido sobre el aire y lo que pertenece a lo terrestre, el proyecto de una Capilla para el Camino de Santiago de Francisco Javier Sáenz de Oíza, José Luis Romani Aranda y el escultor Jorge Oteiza, el cual fue Premio Nacional de Arquitectura en 1954. Se puede observar la influencia que tuvo Mies van der Rohe con su proyecto del Convention Hall en Chicago (1953-54) sobre Sáenz de Oíza en este proyecto, tal y como ha estudiado Francisco Javier Sáenz Guerra en su tesis doctoral de 2004 sobre este enigmático diseño conformado por un basamento de frisos escultóricos de Oteiza sobre el que flota una cubierta de malla estructural metálica triangulada del modo más tecnológico (bajo la idea de un condensador de energía sobre los campos de Castilla³) apoyada sobre unas pilonas masivas pertenecientes a la tierra, como Hermann Obrist incidiera con su "monumento al Pilar" de 1898.

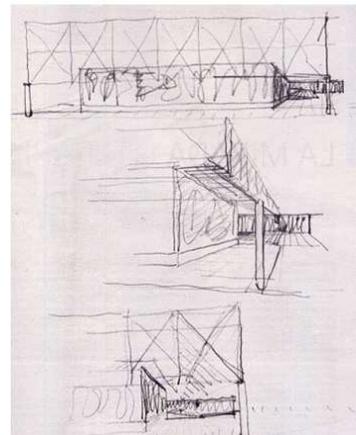
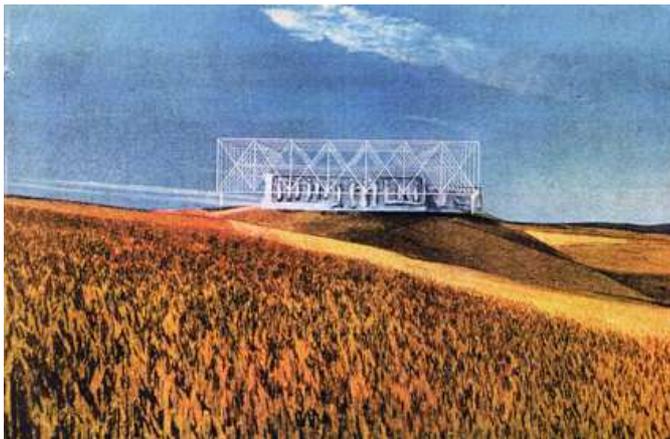


Fig. 27 (izquierda). Fotomontaje del proyecto para una Capilla en el Camino de Santiago de Francisco Javier Sáenz de Oíza, José Luis Romani Aranda y del escultor Jorge Oteiza, 1954.

Fig. 28 (derecha). Croquis sobre el estudio de la relación entre la cubierta y el apoyo de la misma del proyecto para una Capilla en el Camino de Santiago, 1954.

En todos estos proyectos, la poética del aire libre queda presente como el espacio confinado entre lo construido en el cielo y lo sobrepuesto en la tierra.

³ Francisco Javier Sáenz Guerra, *Un Mito Moderno. Una Capilla En El Camino De Santiago. Sáenz De Oíza, Oteiza Y Romani* (Alzuza: Fundación Museo Jorge Oteiza, 2007).

7.3. LA ENVOLVENTE Y SU ENTENDIMIENTO DESCOMPUESTO

A continuación se presenta el esquema conceptual realizado sobre la concepción de la envolvente, que considero debe estar constituida por los siguientes cuatro aspectos fundamentales: el espacio, la concepción-idea, la estructura y la membrana-piel. La intención de esta investigación es que estos cuatro componentes actúen de una forma conjunta:

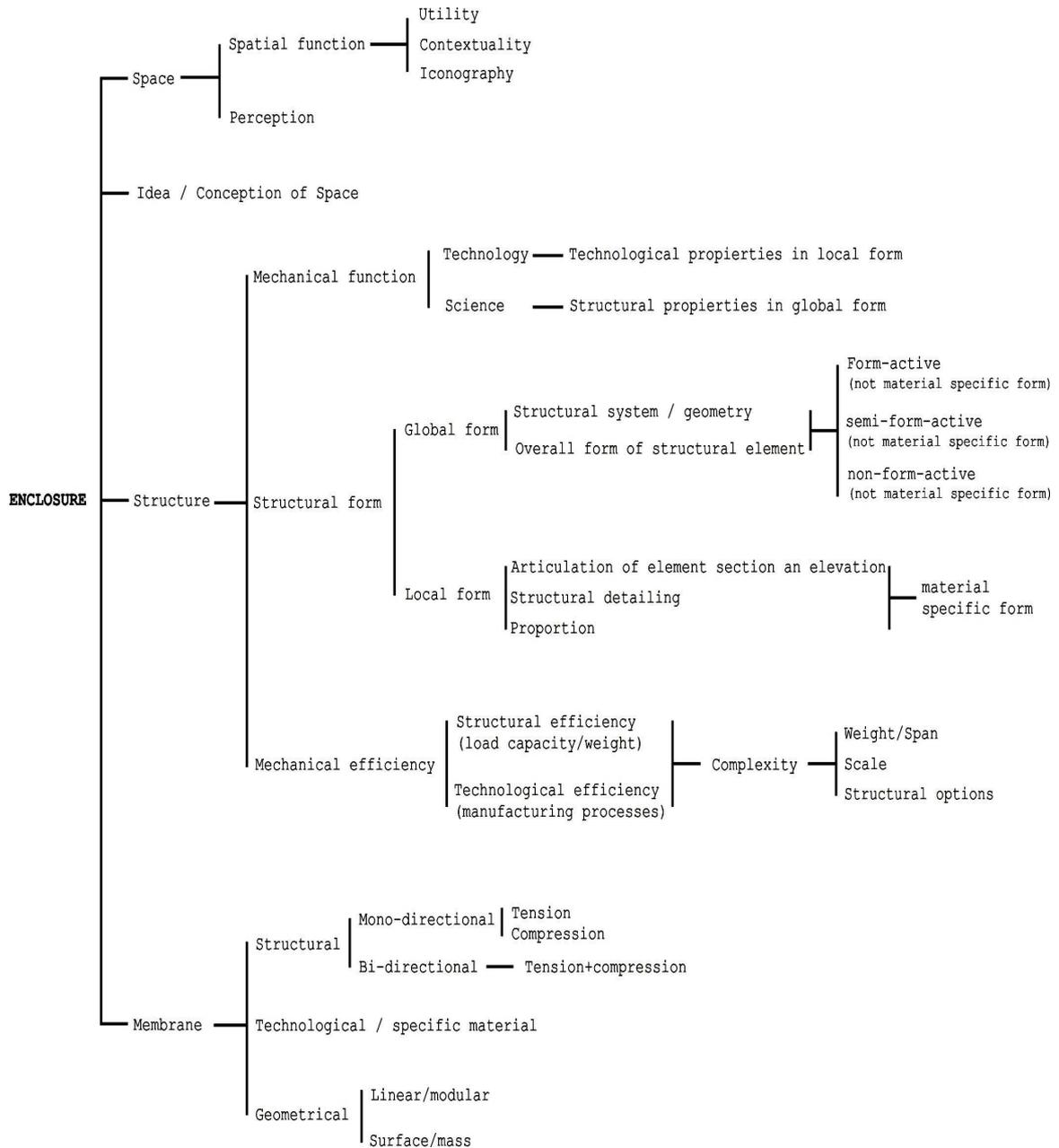


Fig. 29. Esquema conceptual de la envolvente realizado por el doctorando, utilizando de referencia e interpretando el libro de Bjorn Normann Sandaker titulado *Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008.

7.4. LA FORMA ACTIVA. LA EFICIENCIA ESTRUCTURAL Y LA FORMA DEL ESPACIO

Si se parte de una arquitectura adintelada, la cual no es de forma activa, entenderemos mejor las características de ésta última. Sabemos que la arquitectura adintelada se caracteriza porque los elementos horizontales estructurales están sometidos a esfuerzos de flexión que combinan tracción y compresión en el elemento. Así, los esfuerzos en las vigas son distintos si son empotradas o apoyadas:

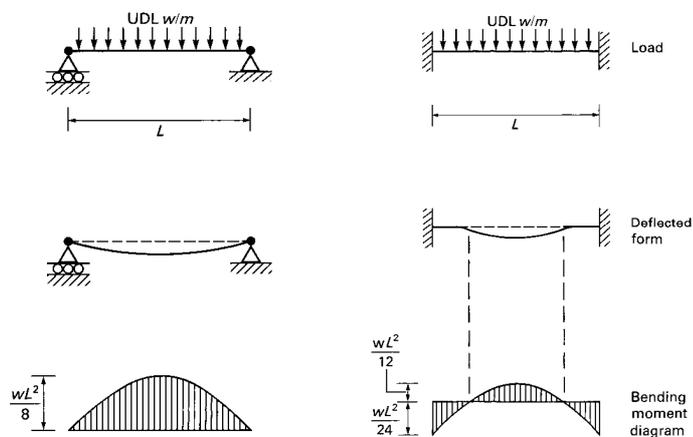


Fig. 30(izquierda): Carga, deformada y diagrama del momento flector para una viga simplemente apoyada estáticamente determinada.

Fig. 31(derecha):Carga, deformada y diagrama del momento flector para una barra empotrada estáticamente indeterminada con la misma carga que la anterior figura.

Lo que pretende la forma activa es que los esfuerzos en los elementos estructurales sean siempre axiales, obteniendo por lo tanto tracción o compresión pura. En estos casos, podríamos hablar de estructuras puras tanto tectónicas como estereotómicas respectivamente. Dada la condición local (solamente compresión o tracción) que tiene que ocurrir en los elementos estructurales, la forma activa estará supeditada a la forma global que permita, mediante su geometría, un comportamiento axial en la transmisión de los esfuerzos. Cuando ocurra todo esto, dentro de la consideración de eficiencia estructural, las estructuras de forma activa serán consecuentemente las más eficientes⁴.

⁴ Normann Sandaker, *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture.* p. 63.

"Las formas activas tales como los cables a tracción y las bóvedas a compresión fueron consideradas potencialmente como las más eficientes, y las vigas de forma no activa como las menos eficientes."⁵

Por ejemplificar, el Pabellón de Portugal de la Exposición Universal de 1998 de Álvaro Siza, es un estupendo espacio construido bajo estos principios. Se proyecta un gran lugar de recepción al visitante bajo una gran lona que a modo de catenaria recorre el espacio de lado a lado.

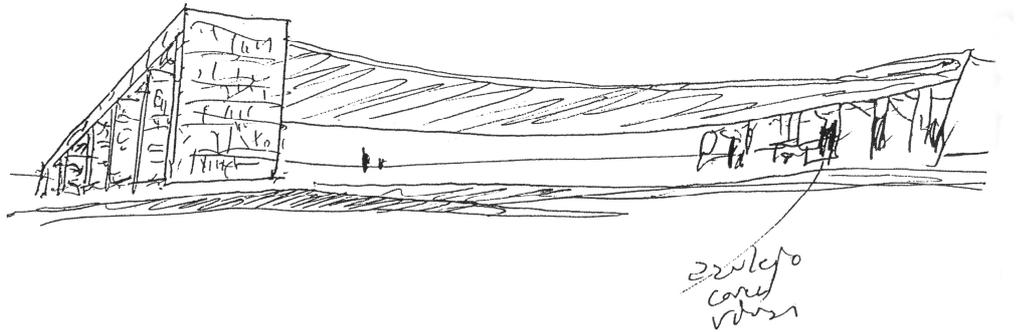


Fig. 32. Croquis del Pabellón de Portugal de la Exposición Universal de 1998 de Álvaro Siza Vieira.



Fig. 33. Imagen del Pabellón de Portugal de la Expo 1998 de Álvaro Siza Vieira.

En este proyecto existe el riesgo de interpretación del arquetipo de la tienda, aunque Siza está más pendiente en sus orígenes conceptuales de buscar la relación entre el paisaje y el edificio aislado, es decir, "en un saber ver atento a las

⁵ Macdonald, *Structure and Architecture* p. 61.

sugerencias del contexto"⁶ como diría Juan Miguel Hernández León, buen conocedor de la obra de Siza.

Con la ayuda del ingeniero Cecil Balmond, la construcción de este simple elemento fue llevado a su máxima expresión. En palabras de Balmond, éste define la idea:

"La catenaria: *El misterio está en el cálculo invisible del equilibrio exacto, de lo de arriba frente a lo de abajo, de la sustancia frente a la inmaterialidad, de la luz frente a la sombra.*"⁷

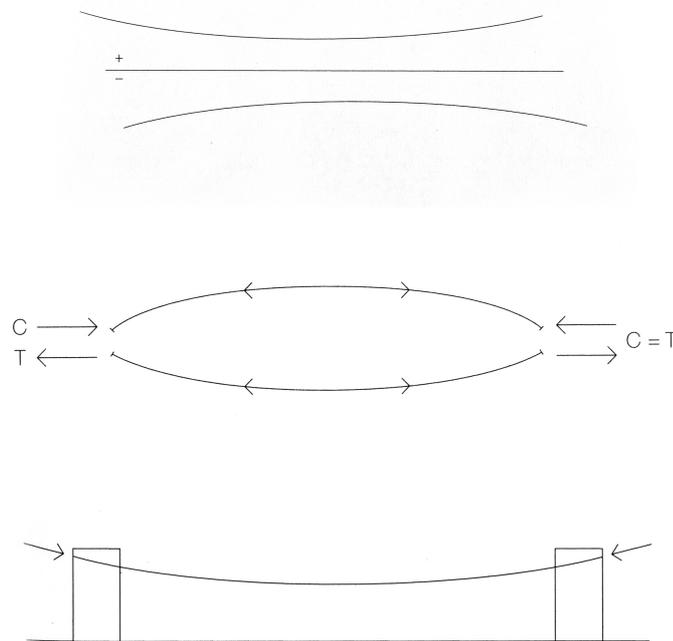


Fig. 34, 35 y 36. Dibujos conceptuales para el cálculo de la estructura del Pabellón de Portugal realizados por Cecil Balmond⁸.

La catenaria, imagen especular opuesta a la bóveda de compresión, como indica Balmond en su esquema conceptual del Pabellón de Portugal, quedará sostenida por dos grandes soportes en los extremos construidos como pantallas de hormigón. La lona de la catenaria se construye con una losa de hormigón de 20 cms. de grosor y 70 metros de luz, con unas vainas con cables de acero que postensan la estructura.

⁶ Hernández León, *Conjugar Los Vacíos* p. 78.

⁷ Cecil Balmond, *Informal* (Munich: Prestel 2002) p. 311.

⁸ *Ibid.* pp. 310-43.

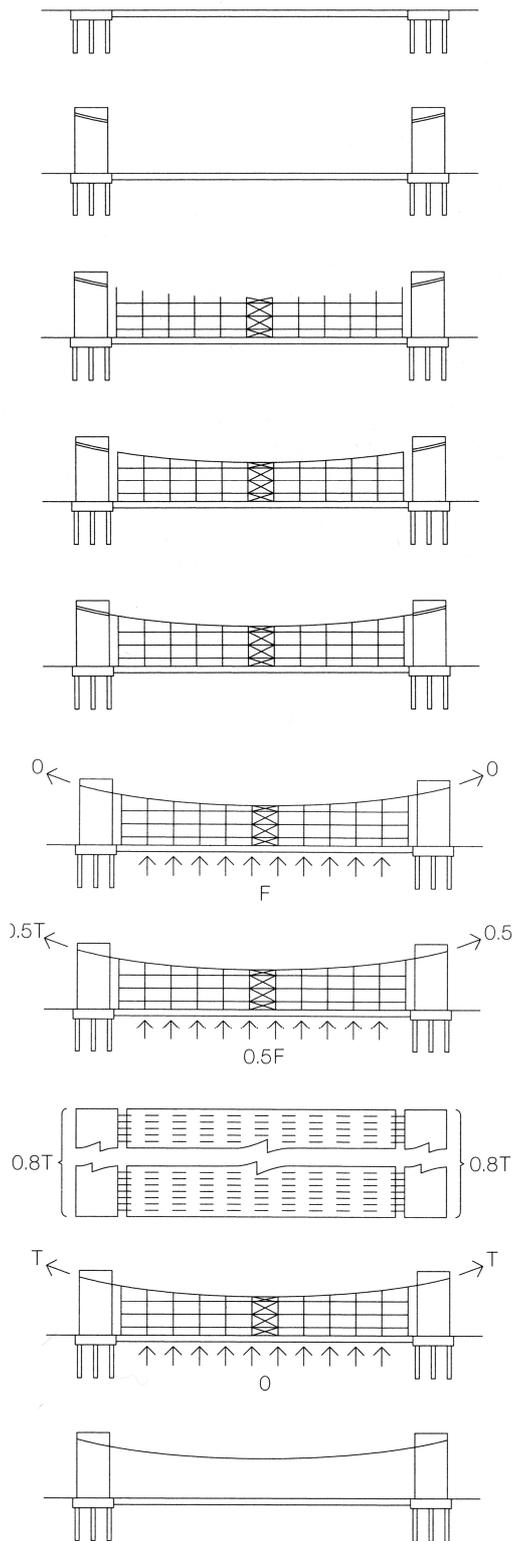


Fig. 37. Secuencia de construcción del Pabellón de Portugal de la Expo 1998⁹. Una losa de hormigón de 20 cms. de grosor y 70 metros de luz, sobre un encofrado a modo de cimbra invertida y con unas vainas con cables de acero que postensan la estructura

⁹ Ibid. pp. 326-27.

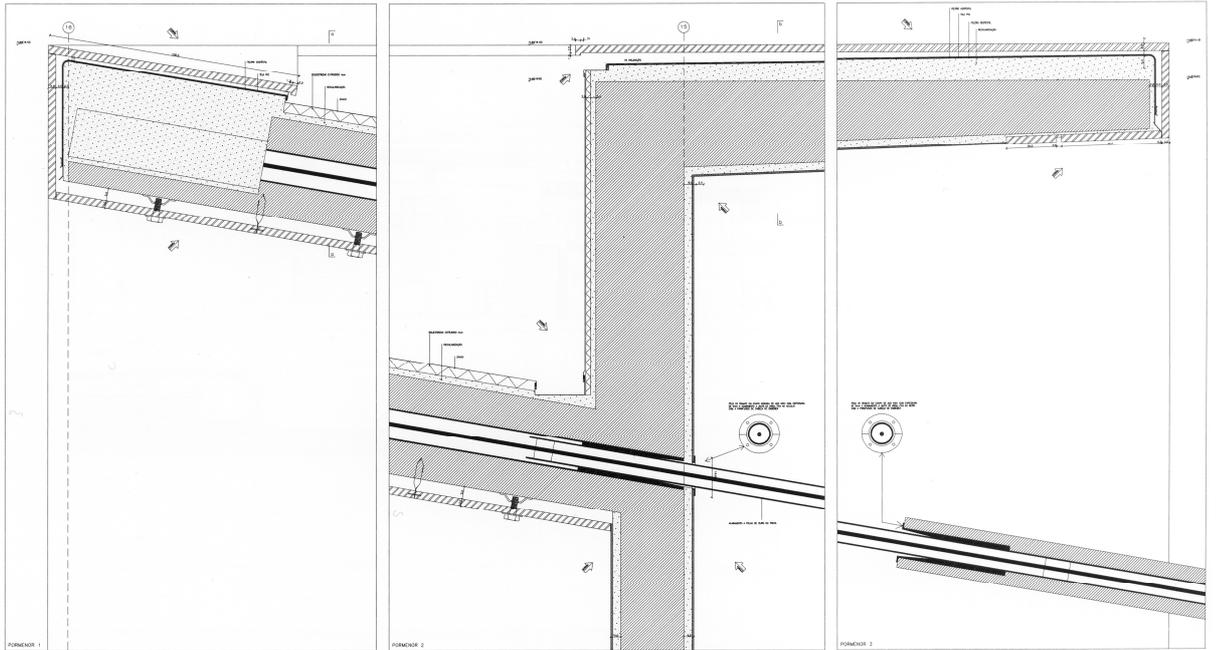


Fig. 38. Detalles de la vainas de acero en el Pabellón de Portugal para la Expo de 1998 (Álvaro Siza, Arquitecto)¹⁰.

El entendimiento de que la forma activa a compresión es en definitiva toda aquella arquitectura clásica abovedada, hace que el concepto de estructura estereotómica esté más próximo al uso cotidiano del mismo. Según los dibujos de Frampton, es como si viera descender la carga de compresión por los espacios abovedados:

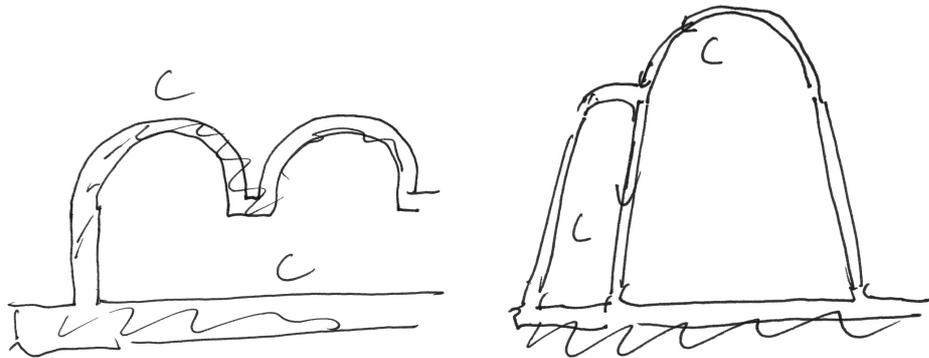


Fig. 39. Croquis conceptuales originales de Kenneth Frampton (2003) (entregados al doctorando en The Graduate School of Architecture, Planning and Preservation de Columbia University).

En términos de eficiencia estructural, dependerá de la forma activa o no de las estructuras que envuelven el espacio. Pero no solamente estas estructuras de forma activa a compresión o

¹⁰ Álvaro Siza Vieira, "Alvaro Siza, 1995-1999. Notas Sobre La Invención," *El Croquis* 1999, p. 134.

tracción son más o menos eficientes en función de su forma geométrica ligada indisolublemente a las fuerzas de la gravedad, sino que localmente, es decir, en los elementos que conforman la globalidad de la forma estructural, éstos miembros con su sección mejorada podrán aumentar la eficiencia global de la estructura (véase Fig. 40).

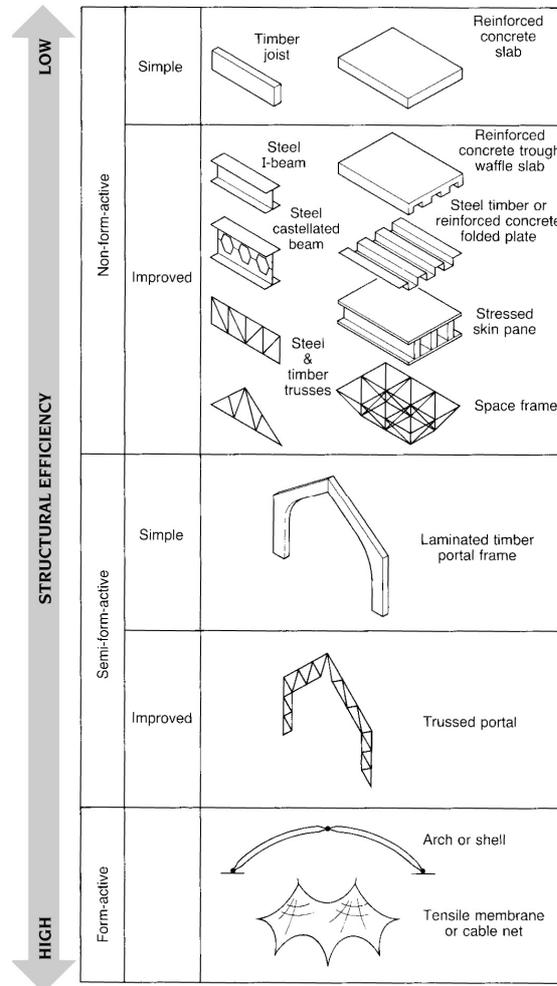


Fig. 40. Cuadro explicativo de la eficiencia estructural en función de la forma activa mayor o menor de la misma junto con la aplicación de secciones localmente mejoradas en Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 46.

Sin embargo, La estructura adintelada de hormigón armado o metálica o cualquier otra forma no activa usando dichos materiales serán el punto de inflexión que separará la representación del espacio funcional ligado al estructural. Dependiendo del proyecto, quizás en algunos el aspecto conceptual-formal vaya por delante del eficiente, pero esto atiende también a otros criterios no solamente estructurales sino de concepto e ideación en busca de una experiencia fenomenológica para el sujeto, pero siempre dentro de una ética tectónica como se apuntará en las conclusiones de esta tesis.

7.5. EL HORMIGÓN ARMADO: UN NUEVO ELEMENTO HÍBRIDO

La evolución del hábitat del ser humano de la cueva a la cabaña ha sido la mayor revolución del espacio, un espacio tecnológico construido totalmente por el hombre. Dependiendo de la técnica en función de la evolución, de la época y de la cultura de cada lugar, las construcciones se han ido resolviendo constructivamente de distintas formas. Así, con la aparición en primer lugar del acero laminado, éste ya consiguió resultados excelentes en la arquitectura de las exposiciones universales a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, obteniendo el máximo esplendor y depuración con Mies van der Rohe. El acero permite la estructura adintelada de mayores luces y de voladizos.

La introducción de barras de acero dentro del hormigón en masa, hace que ante un esfuerzo a tracción, estas barras de acero trabajen en las zonas de sección de hormigón donde sucede. De esta forma, el hormigón armado potencia aún más la arquitectura adintelada y de grandes vuelos.

El nuevo material denominado hormigón armado está constituido por hormigón con la misión de resistir los esfuerzos de compresión y por la armadura de acero con la que resiste los esfuerzos de tracción. Este material resuelve el problema histórico durable-traccionable¹¹ como argumenta Miguel Fisac, es decir, de aquellas construcciones adinteladas en las que los forjados o elementos horizontales están constituidos por elementos de madera que resisten bien la flexión pero que tienen problemas de durabilidad por el envejecimiento del material "leñoso", característica que los elementos pétreos no poseen (de ahí el símil de la arquitectura griega monumental representativa de los templos: una construcción en piedra con la idea de perdurar pero que imitan la construcción tipológica de la madera como indican los esquemas de Auguste Choisy para la composición del orden dórico a partir de la construcción en madera o la utilización de recursos del armado de los sillares de piedra de los frontones para resistir los esfuerzos de tracción que la piedra de por sí no puede soportar).

¹¹ Miguel Fisac Serna, "Concepción Y Construcción De Edificios Desde El Punto De Vista Del Arquitecto," in *Proceedings of the Ninth Congress of the Fédération Internationale de la Précontrainte* (Stockholm: 1982).



Fig. 41. Partenón de Atenas

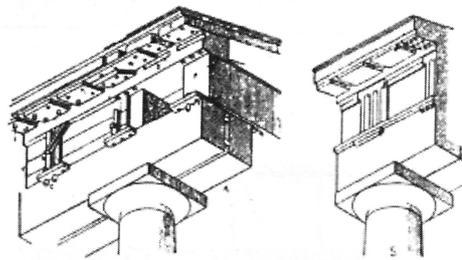


Fig. 42. Auguste Choisy y la interpretación del orden dórico a partir de la construcción en madera (*Histoire de l'architecture*, 1899)

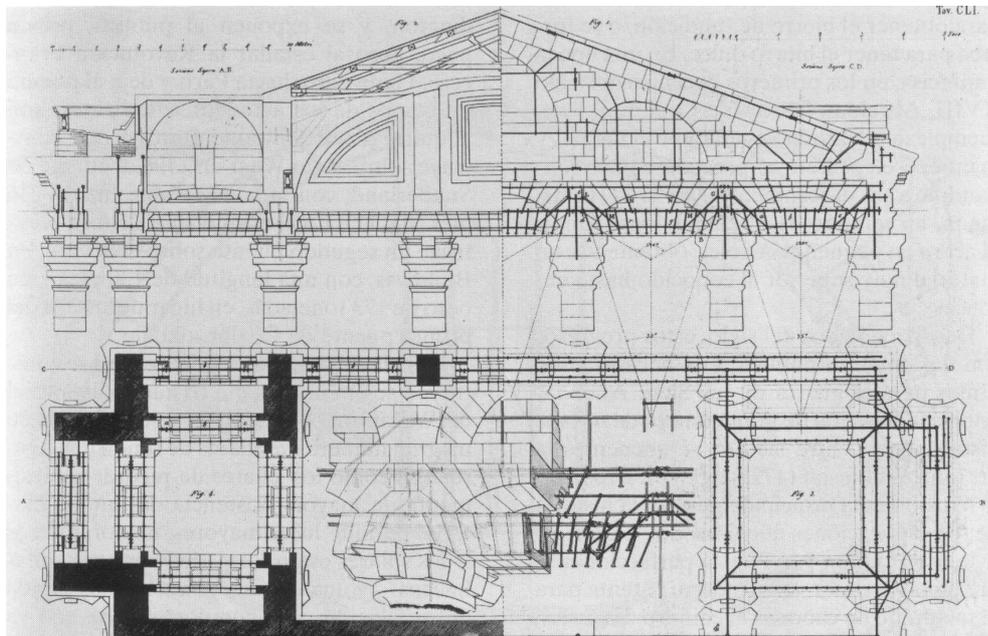


Fig. 43. Pronaos de Ste. Geneviève de Jacques-Germain Soufflot, arquitecto y Jean Rondelet, ingeniero. El alzado y la axonométrica de Rondelet indican el armado de la mampostería del frontón mediante barras y anclajes de hierro forjado.

Otro de los aspectos interesantes de este nuevo material híbrido de la compresión-tracción, es que puede ser pretensado y postensado. Esta cualidad, de que mediante las barras interiores de armado del hormigón puedan ser atirantadas previamente o posteriormente al vertido del hormigón en masa, ha sido desarrollada sobre todo para mejorar la eficiencia estructural para grandes luces y voladizos. En esta línea de interés por el pretensado, Fisac indicaba:

"En otras épocas de la Historia eran las necesidades estructurales de la arquitectura las que exigían invenciones técnicas. Como es el caso de la bóveda de crucería, para cubrir los grandes espacios de las catedrales, en la arquitectura gótica.

*Hoy son los problemas de la ingeniería de grandes puentes principalmente, las que han exigido nuevas soluciones técnicas de las que el Hormigón Pretensado es, sin duda la de mayor interés."*¹²

Como ya se indicó anteriormente el hormigón armado posee las características de resistir la tracción con las barras de acero y la compresión por sí misma. Pero ocurre que cuando se produce la tracción dentro del hormigón armado, aunque la barra de acero es la que soporta en la totalidad la tracción, debido a un pequeño estiramiento en el propio acero, se producen unas microfisuras en el hormigón en masa traccionado. Lo que ocurre con el hormigón pretensado mediante cables o armaduras de acero previamente tensadas e indisolublemente unidas al hormigón por adherencia o anclajes, es que ofrece al hormigón, que iba a estar levemente "traccionado" si no se pretensa, que trabaje a compresión antes de que entre en carga, el cual es su estado natural y que cuando entre en carga siga trabajando a compresión pero con menor intensidad que la inicial¹³. Como consecuencia, el hormigón trabajará siempre en su forma natural que es la de compresión. Este aspecto del pretensado o del postensado hace que con este "truco", como lo define Fisac, se puedan permitir mayores luces y que el hormigón, que pudiera microfisurarse, siga trabajando siempre a compresión.

¹² Ibid.

¹³ Ibid.

En términos de resistencia, con esta idea de mantener pretensados los elementos de una forma local, se consigue que la estructura sea localmente más eficiente¹⁴. Así se pueden reducir grosores y cantos de hormigón innecesarios como ya apuntara Fisac en el capítulo 6.9 de esta tesis relacionado con la estructura ósea.

Por lo tanto, este aspecto híbrido de concepción de que el hormigón sigue siendo una masa que trabaja a compresión, pero que ciertas partes, cuando se introduce las barras de acero, pueden ser traccionadas, se vuelven aún más sofisticado cuando se utiliza el pretensado y el postensado. Por ejemplo, en el museo Kimbell de Louis I. Kahn se utiliza la imagen tradicional de la bóveda como elemento tradicional que transmitiría las cargas a los muros de los que arrancan. Sin embargo, en este caso se entrelaza esta imagen clásica con las vigas de gran canto de hormigón armado ya que la mayoría de los laterales de apoyo de dichas bóvedas están libres, apoyándose dichas bóvedas solamente en sus extremos longitudinales.

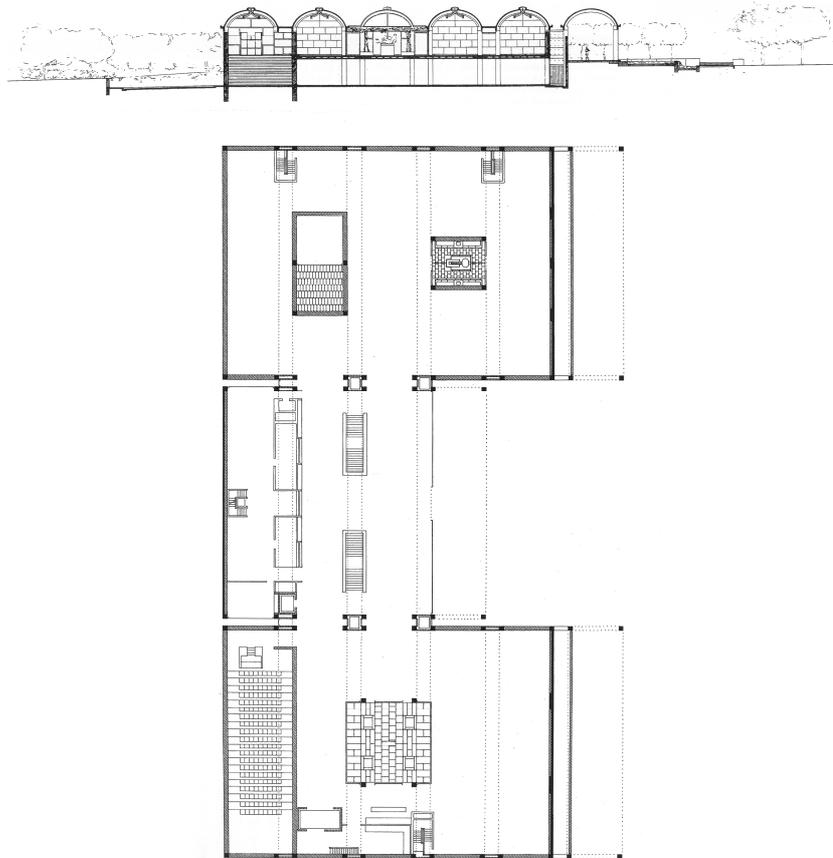


Fig. 44. Planta y sección del Museo Kimbell en Fort Worth(1972) de Louis I. Kahn.

¹⁴ Normann Sandaker, *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture.* p. 72.

Esto hizo a Kahn estudiar un sistema de postensado en el interior de la cáscara de las bóvedas que ayudara a resolver el problema de la gran luz entre los apoyos. Así, la misma bóveda trabaja como tal (imagen tradicional) y a la vez como dos vigas de gran canto curvas de sección variable postensadas (elemento híbrido) que quedan divididas por el lucernario central. Esta imagen de limpieza de los espacios abovedados sin paredes laterales no se hubiera podido conseguir si no fuera por el postensado, consiguiendo hacer levitar a las bóvedas entre los apoyos y ayudando al entendimiento de la cualificación espacial entre espacios sirvientes (comprimidos en los laterales entre las bóvedas) y espacios servidos (descomprimidos bajo los espacios abovedados) de Kahn. El sistema de apoyo de las bóvedas es articulado mediante una junta de neopreno por lo que la bóveda no transmite ningún empuje lateral a los soportes de 60x60 centímetros.

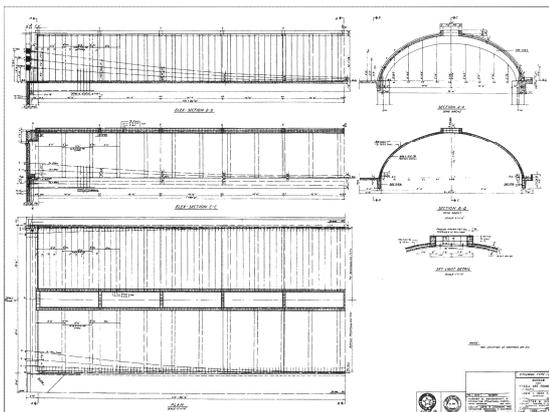


Fig. 45(izq). Secciones constructivas del armado de las bóvedas del Museo Kimbell.

Fig. 46 (der). Imagen de la armadura de postensado de las bóvedas del Museo Kimbell en Fort Worth, Texas (1972), de Louis I. Kahn.

8. LA EXPERIENCIA FENOMENOLÓGICA DEL ESPACIO TECTÓNICO-ESTEREOTÓMICO

8.1. SOBRE LA FENOMENOLOGÍA

No se puede definir la fenomenología como una forma de pensamiento exacto. Con esta tesis lo que se pretende es aplicar el discurso filosófico fenomenológico sobre el entendimiento de la arquitectura desde su aspecto más tectónico, explorando los espacios y analizando la experiencia del ser humano en ellos en función de la posición corporal del sujeto respecto al nivel del suelo.

Es importante, antes de sacar conclusiones sobre esta cuestión, que exista una aproximación desde el punto de vista teórico para poder posteriormente aplicarlo sobre ejemplos concretos. Para poder centrar el estudio sobre la fenomenología tectónica-estereotómica en el espacio arquitectónico deberemos hacer referencias primero a distintos teóricos y arquitectos que ya se han manifestado en este campo.

La fenomenología en su sentido más amplio trata sobre los fenómenos lanzados a la conciencia, estudiando la relación entre los fenómenos y cómo se hace presente esta realidad en la conciencia. En el campo de la arquitectura el espacio está ligado de una manera indisoluble a la forma de percepción por lo que la fenomenología en este caso tendrá en el espacio la manifestación de cómo llega la percepción a la conciencia. La fenomenología en la arquitectura se puede entender como una manera de ver o una forma de comprender más que un conjunto de doctrinas.

Para la fenomenología, los fenómenos son las cosas tal y como se muestran y se ofrecen a la conciencia. En este caso el espacio arquitectónico en su esencia será el fenómeno.

8.2. FENOMENOLOGÍA Y EL PENSAMIENTO FILOSÓFICO

Distintos teóricos han trabajado sobre este asunto. En el siglo XVIII Johann Heinrich Lambert (1728-1777) acuña el término como tal ("*la teoría de la ilusión y de sus variedades*"¹) y otros

¹ Herbert Spiegelberg, *The Phenomenological Movement: A Historical Introduction* (Boston, London: Martinus Nijhoff, 1982) p. 11.

filósofos como Immanuel Kant (1724-1804), Johann Gottfried Herder (1744-1803), Johann Gottlieb Fichte (1762-1814) o Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) lo incluyen en sus textos. Posteriormente Edmund Husserl (1859-1938) influiría sobre Martin Heidegger (1889-1976), Jean-Paul Sartre (1905-1980), Maurice Merleau-Ponty (1908-1961), Paul Ricoeur (1913-2005) y José Ortega y Gasset (1883-1955).

Spiegelberg, en su libro editado en 1960, describe a la fenomenología como un "movimiento": *"(1) La fenomenología es un movimiento, en contraste con algo estacionario, filosofía con un momento dinámico, cuyo desarrollo es determinado por sus principios intrínsecos así como por las "cosas", la estructura de un territorio con el que se encuentra. (2) Al igual que una corriente que abarca distintas corrientes paralelas que están relacionadas pero de ninguna manera homogénea, y puede moverse a distintas velocidades. (3) Ellos tienen un punto en común de partida, pero no necesitan tener un destino diferente y unión predecible; es compatible con el carácter de un movimiento en el que sus componentes se ramifican en diferentes direcciones"*.

Además del entendimiento de Husserl de la fenomenología como una vuelta a las cosas en sí mismas, Heidegger definirá la fenomenología como *"una manera de ver"* y Merleau-Ponty como *"la esencia de la percepción"*. Este enfoque cada vez más cercano de Merleau-Ponty hacia una visión más corpórea en relación al ser humano con el espacio es una aproximación interesante para poder ser aplicada en el mundo de la arquitectura.

8.3. FENOMENOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA Y EN LOS ARQUITECTOS

Algunos arquitectos han comenzado a incluir estos conceptos en sus trabajos y teorías arquitectónicas. Comenzando por Norberg-Schulz, influenciado por las teorías de Heidegger y sus estudios de la teoría de la Gestalt, para él la fenomenología es *"un buen método apropiado para penetrar en el mundo de la vida cotidiana"*². De esta manera entiende la fenomenología como Heidegger, es decir como un *"método"*.

² Cristian Norberg-Schulz, *Architecture: Presence, Language, Place* (Milan: Akira, 2000) p. 15.

"La fenomenología se me apareció como un método adecuado para penetrar en el mundo de la vida cotidiana, ya que la arquitectura está, de hecho, al servicio de la totalidad, que el término 'mundo de la vida' implica, una totalidad que escapa al procedimiento científico."³

Para él es muy importante el "genius loci" entendido como espíritu de un lugar, que definirá en su importante libro *Genius Loci, towards a phenomenology of architecture*⁴. El "genius loci" se manifiesta como una localización, una configuración espacial y una articulación característica.

Juhani Pallasmaa también está influenciado por Merleau-Ponty al entender la fenomenología como "una mirada pura hacia un fenómeno" o "la visión de su esencia"⁵. Pallasmaa explica la fenomenología de la arquitectura como "la mirada" de la arquitectura desde dentro de la conciencia experimentándola, y lo pone en contraste para analizar los rasgos formales y las características de los edificios y sus propiedades estilísticas. En sus palabras, "La fenomenología de la arquitectura busca el lenguaje interno de la construcción"⁶. Además, Pallasmaa explica la aproximación fenomenológica como "una mirada pura a la esencia de las cosas sin convencionalismos o explicaciones intelectualizadas"⁷ y expresa que todos los artistas son fenomenólogos y tratan de presentar las cosas como si fueran objetos que se observan por el hombre por primera vez.

Alberto Pérez Gómez en su libro *Architecture and the crisis of the modern science* comenta que la arquitectura contemporánea está desilusionada por las utopías racionales, indicando que la teoría tecnológica, según él, no puede llegar a un acuerdo con los problemas fundamentales de la arquitectura. De esta forma la arquitectura debe abandonar el racionalismo o los prejuicios positivistas para encontrar en el campo de la percepción una nueva

³ Ibid.

⁴ Cristian Norberg-Schulz, *Genius Loci, Towards a Phenomenology of Architecture* (New York: Rizzoli, 1980).

⁵ Juhani Pallasmaa, *The Architecture of Image, Existential Space in Cinema* (Helsinki: Building Information Ltd., 2001) p. 450.

⁶ Juhani Pallasmaa, "The Geometry of Feeling, a Look at the Phenomenology of Architecture," in *Theorizing a New Agenda for Architecture: An Anthology of Architectural Theory 1965 - 1995*, ed. K. Nesbitt (New York: Princeton Architectural Press, 1996), p. 450.

⁷ Pallasmaa, *The Architecture of Image, Existential Space in Cinema* p. 21.

justificación metafísica que le devuelva el sentido más existencial al ser humano.⁸

Otro arquitecto que ha escrito y trabajado sobre este asunto es Steven Holl. Para él, también muy influenciado por la teoría de Merleau-Ponty, la fenomenología ha supuesto un gran campo de inspiración para la realización del espacio arquitectónico, utilizando el espacio arquitectónico como medio en el que se manifiestan las esencias en la existencia de un espacio o lugar. Holl piensa que puede hacer de los espacios de la vida cotidiana una experiencia fenomenológica a través de un específico programa, lugar, o arquitectura. Holl diferencia en dos procesos separados para la creación de una arquitectura fenomenológica, por un lado la fuerza de una idea y por otra la forma, la estructura, el material, el color, la luz y la sombra⁹. Además, cree que la percepción en la arquitectura debe fundamentarse en lo háptico, es decir, en todo aquello referido al contacto, que también deriva hacia el conjunto de sensaciones no visuales y no auditivas que experimenta un sujeto. Así, Holl escribe:

*"El mundo háptico de la arquitectura se define por el sentido del tacto. Cuando la materialidad de los detalles que forman un espacio arquitectónico se vuelve evidente, el mundo háptico se manifiesta. La experiencia sensorial se intensifica; las dimensiones psicológicas se involucran."*¹⁰

Por último, Kenneth Frampton, altamente influenciado por la teoría crítica de la Escuela de Frankfurt y también por Heidegger, es el líder activo en este tema y sus ideas como el Regionalismo Crítico y la Tectónica tiene claramente implicaciones fenomenológicas como se verá en esta tesis.

8.4. FENOMENOLOGÍA Y ENTORNO

Para Heidegger en "Being and Time" la fenomenología tiene dos componentes: phenomenon y logos, los cuales derivan de los términos griegos 'phainomenon' y 'logos'. El primero deriva del

⁸ Alberto Pérez-Gómez, *Architecture and the Crisis of the Modern Science* (Cambridge: The MIT Press, 1983) p. 325.

⁹ Steven Holl, *Intertwining* (New York: Princeton Architectural Press, 1996) p. 11.

¹⁰ Steven Holl, *Questions of Perception, Phenomenology of Architecture*, ed. S. Holl, Pallasmaa, J. & Perez-Gomez, A., *Questions of Perception, Phenomenology of Architecture* (Tokyo: A+U Publ. Co., 1994) p. 91.

verbo 'phainesthai' que significa manifestarse. De esta forma 'phainomenon' significa lo que se muestra, es decir, la automuestra o el manifiesto. Además 'phainesthai' está formada por 'phaino' que significa traer la luz del día o colocar en la claridad y pertenece a la raíz 'Pha-', que como 'phos' significa luz o claridad, es decir, que dentro de lo cual algo puede llegar a manifestarse, ser visible por sí mismo. De esta forma, el significado de la expresión 'phenomenon' se establece como lo que se muestra por sí mismo o lo que es manifestado. A través de este estudio etimológico de Heidegger, encuentra que un fenómeno es en realidad una automanifestación. Por otro lado 'logos', comenta Heidegger que significa 'discurso' y poner de manifiesto "lo que se está hablando" en el discurso. El 'logos' permite que algo sea visto ('phainesthai'), es decir, lo que se está hablando. Logos como discurso nos trae el asunto a la luz, se manifiesta, y permite que se vea. Por lo tanto, el logos es dejar ser visto, permitir manifestarse¹¹. En consecuencia la fenomenología para Heidegger es la conjunción de dos términos (phenomenon y logos) que tiene la intención de poner de manifiesto aquellos asuntos que se manifiestan por sí solos.

Por lo tanto, la percepción para Merleau-Ponty significa percibir las cosas en su contexto, en su relación con el entorno y con la manera que existe en el mundo. Así, la fenomenología de la percepción de Merleau-Ponty tiene la intención de demostrar que *"la percepción no es imposición, ya sea de un dato objetivo sobre un sujeto pasivo o una estructura subjetiva sobre un objeto externo -sino más bien, una comunicación pre-reflexiva ("diálogo") entre el mundo percibido y el percibir del cuerpo-sujeto"*¹².

Para Norberg-Shulz, como se ha comentado anteriormente, el entorno queda manifestado por el "genius loci" como espíritu de un lugar, manifestándose como una localización, una configuración espacial o una articulación característica.

Hay que tener en cuenta la consideración del "horizonte" dentro del entorno. Para Husserl, esto juega un papel muy importante para entender su teoría fenomenológica. Para él, en todos los procesos mentales existe un juego de posibilidades único esencial que construye el horizonte de la experiencia. Además, no percibimos un objeto de forma aislada, sino que dentro de un "contexto" y de un mundo que nos rodea en el que todo se relaciona

¹¹ Martin Heidegger, *Being and Time* (New York: State University of New York Press, 1996) p. 29.

¹² Monika M. Langer, *Merleau-Ponty's Phenomenology of Perception: A Guide and Commentary* (Tallahassee: The Florida State University Press, 1989) p. 158.

entre sí. Este mundo es en realidad "el horizonte de los horizontes"¹³.

El arquitecto Jörn Utzon, en su artículo titulado *Plataformas y Mesetas* describe la importancia que la posición del sujeto tiene en relación con la visión del horizonte. La configuración de la visión de este horizonte, establece una nueva percepción de su entorno para distintas posiciones en relación a la posición del plano del suelo del sujeto. La sensación de proximidad de la jungla en una posición junto al nivel de la rasante del terreno frente a la posición elevada sobre la plataforma de las construcciones piramidales de Monte Albán en donde el horizonte y la visión de infinito ofrecen una nueva dimensión de la vida cercana a una experiencia fenomenológica próxima a la de los dioses:

"Al construir la plataforma al mismo nivel de la copa de la jungla, estos pueblos obtuvieron repentinamente una nueva dimensión de la vida, digna de la devoción a sus dioses. En estas enormes plataformas -muchas de ellas de más de 100 metros- construyeron sus pueblos. Desde allí contemplaban el cielo, las nubes y la brisa, de pronto, el techo de la jungla se había convertido en una gran planicie abierta. Mediante este truco arquitectónico transformaron el paisaje por completo y concedieron a su vida visual una grandeza que se correspondía con la grandeza de sus dioses.

*Hoy todavía podemos experimentar esa maravillosa variación de sentimientos que se suceden desde la proximidad de la jungla a la enorme superficie abierta de la plataforma. Es un sentimiento paralelo al alivio que se siente en Escandinavia cuando, tras semanas de lluvia, nubes y oscuridad, sale el sol de nuevo."*¹⁴



Fig. 1. Croquis de la plataforma maya de Yucatán, Jörn Utzon, 1949.

¹³ Dermot Moran, *Edmund Husserl: Founder of Phenomenology* (Cambridge Malden: Polity Press, 2005).

¹⁴ Jörn Utzon, "Plattformen und Plateaus," *Zodiac* 1962.

8.5. FENOMENOLOGÍA Y ESPACIO

Si comenzamos por Heidegger, éste distingue entre dos conceptos para el espacio: uno como "*spatium*" y otro como "*extensio*". El primero consiste en posiciones entre las cuales hay una distancia medible. Así el espacio es reducido a unos intervalos abstraídos. El espacio como "*extensio*" es una abstracción tridimensional¹⁵.

Para Merleau-Ponty nuestra percepción está esencialmente basada sobre las direcciones existenciales dentro del espacio, así "*hay una determinación de arriba o abajo, y en general de un lugar, que precede a la 'percepción'*"¹⁶. Este aspecto tiene especial relación con el movimiento corporal del sujeto como se verá más adelante cuando se analice la fenomenología en relación con la posición del plano del suelo.

Con lo anterior, se denota el hecho de que existe un "espacio existencial" para el sujeto protagonista del espacio arquitectónico, por lo que "*...hemos dicho que el espacio es existencial; podríamos haber dicho también que la existencia es espacialidad*"¹⁷ cita Merleau-Ponty.

Por todo lo anterior, se puede afirmar que debido a la existencialidad del espacio, nuestro cuerpo es el punto de partida de nuestro encuentro con el mundo.

Mientras, Norberg-Schulz afirma que el espacio arquitectónico se puede dividir en tres componentes estructurales básicos: topología, la morfología y tipología:

1) La topología es el orden espacial de una obra, y "*está en la obra de arquitectura concretada como 'organización espacial'*"¹⁸. El término "topología" indica que "el espacio arquitectónico deriva de un lugar (del griego: *topos*) en lugar de espacio matemático abstracto"¹⁹. El "*centro*", el "*camino*", y el "*dominio*" son sus componentes estructurales básicos.

¹⁵ Heidegger, *Being and Time*.

¹⁶ Maurice Merleau-Ponty, *Phenomenology of Perception* (London New York: Routledge, 1962) p. 285.

¹⁷ *Ibid.* p. 293.

¹⁸ Cristian Norberg-Schulz, "Kahn, Heidegger and the Language of Architecture," *Oppositions* 1979, p. 42.

¹⁹ Cristian Norberg-Schulz, *The Concept of Dwelling, on the Way to Figurative Architecture* (New York: Rizzoli, 1985) p. 27.

2) La morfología está relacionada con el "cómo" de las formas arquitectónicas y en la obra de arquitectura se concreta como "articulación formal"²⁰. Por lo tanto, la morfología se refiere a los límites espaciales y se pregunta "cómo" se sitúan, se elevan y se abren los edificios. "*La palabra 'situar' denota relación con la tierra, 'elevar' relación con el cielo, y 'abrir' se refiere a la interacción espacial con el entorno, es decir, la relación entre exterior e interior*"²¹.

3) La tipología pone de relieve las estructuras básicas del "Being-with". En otras palabras, trata de la agrupación de seres humanos. Tipología "*se refiere a las manifestaciones de los modos de habitar*"²². Las categorías de asentamiento, de espacio urbano, de la institución y la casa pueden considerarse como diferencias tipológicas. Tipología, contraria a la topología y a la morfología, analiza lo comprensivo, las totalidades espaciales.

En estas tres definiciones categóricas de Norberg-Shulz en torno a la definición de características estructurales que conforman las características del espacio, entiendo que la morfología puede ser la que aglutine una mayor implicación con lo tectónico-estereotómico. En primer lugar la morfología implica la relación en cómo se sitúa el edificio en el lugar ("*situar*"), por lo que el "topos" está presente en la idea de cómo el espacio se puede conformar en relación con su entorno más próximo o en cómo es su implantación en el lugar, es decir, el "earthwork" semperiano. La morfología implica también cómo se elevan los edificios ("*elevar*"), por lo que la relación con el plano del suelo y la posición del sujeto es fundamental en el entendimiento de la ascensión de la tierra al cielo (es el aspecto morfológico en sí mismo), vinculándose al proceso de liberación de lo estereotómico a lo tectónico (véase el apartado 8.9.1.) de la envolvente del espacio arquitectónico. Y por último, el concepto de "*abrir*" en relación a la interacción espacial con el entorno entiendo que implica una radical vinculación en cómo se manifestará la envolvente del espacio arquitectónico convertida en

²⁰ Norberg-Schulz, "Kahn, Heidegger and the Language of Architecture," p. 42.

²¹ Ibid., p. 43.

²² Ibid., p. 29.

la membrana del mismo y por lo tanto la influencia tectónica-estereotómica estructural-material de la membrana-envolvente-estructura (véase el apartado 7.3. La envolvente y su entendimiento descompuesto).

8.6. FENOMENOLOGÍA Y LA EXPERIENCIA MULTISENSORIAL

*"la eterna cuestión de la arquitectura es crear una metamorfosis existencial encarnada que concretice y estructure al ser humano en el mundo. Las imágenes de la arquitectura reflejan y exteriorizan ideas e imágenes de la vida; la arquitectura materializa nuestras imágenes del ideal de vida. Los edificios y las ciudades nos permiten estructurar, comprender y recordar el informe fluir de la realidad y en última instancia, reconocer y recordar quienes somos."*²³

La invención de la perspectiva reafirmó la importancia de la visión, sobre todo en la concepción espacial en el Renacimiento, ya que ésta se basaba en el ojo del observador. Así, la cultura occidental ha sido dominada por un paradigma ocular-centrista, una interpretación de la visión centrada en el conocimiento, la verdad y la realidad.

Pallasmaa critica que la cultura occidental tradicional se ha formado con una supremacía de la visión sobre los otros sentidos. Según lo anterior, el pensamiento griego clásico se basó en la visión y en la visibilidad, y de acuerdo con Heráclito, los ojos eran testigos más exactos que los oídos. También Platón consideraba la visión como el mejor regalo para la humanidad, y Aristóteles creía que la visión era el más noble de los sentidos. Así, desde los griegos, el conocimiento se convirtió en analogía hacia la visión clara, y la luz se convirtió en la metáfora de la verdad²⁴. Este hecho volvió en el Renacimiento, en donde los cinco sentidos se entienden según la imagen del cuerpo cósmico en un sistema jerárquico: la visión se correlacionó con el fuego y la

²³ Juhani Pallasmaa, Steven Holl, and Alberto Pérez Gómez, "Questions of Perception: Phenomenology of Architecture," *A+U* 1994.

²⁴ Juhani Pallasmaa, *The Eyes of the Skin, Architecture and the Senses* (London: Academy Editions, 1996) p. 6.

luz, el oído al aire, el olor al vapor, el sabor al agua, y el tacto para tierra. Así lo tectónico-estereotómico sigue instaurado en el tacto inicial en su relación intrínseca con la tierra (lo estereotómico) y su desvinculación hacia lo etéreo o lo aéreo (lo tectónico).

Es evidente que la fenomenología puede ser aplicable a cualquier tipo de experiencia. En este caso concreto, la intención está en definir aspectos fenomenológicos en relación a los conceptos arquitectónicos de lo tectónico y estereotómico. La experiencia personal del observador se convierte en una experiencia multisensorial del cuerpo dentro del espacio arquitectónico. Frampton afirma que *"uno tiene en la mente toda una serie de percepciones sensoriales complementarias que son registradas por el organismo sensible: la intensidad de la luz, la oscuridad, el calor y el frío; la sensación de humedad; el aroma de los materiales; la presencia casi palpable de mampostería como si el cuerpo sintiera su propio confinamiento; el momento de una marcha inducida y la inercia relativa del cuerpo a medida que atraviesa el suelo; La resonancia del eco de nuestras propias pisadas"*²⁵. Así, tanto el movimiento del aire, lo acústico, la temperatura ambiente o el olor pueden ser factores que afectan a nuestra percepción.

Pallasmaa expresa que la experiencia de la arquitectura es también multisensorial y que las cualidades de la materia, del espacio, y de la escala se miden no sólo por el ojo, sino también por el oído, la nariz, la piel, la lengua, el esqueleto y los músculos. De hecho, experimentamos la arquitectura a través de todos los sentidos. Pallasmaa revisa la existencia e importancia de los sentidos por separado para expresar su forma de presencia en la arquitectura y su percepción. El ojo es el órgano de la separación y de la distancia, mientras que el tacto es el sentido de la cercanía, de la intimidad y del afecto. El ojo toca la distancia, mientras que el tacto mira lo cercano. Las sombras profundas y la oscuridad atenúan la claridad de la visión, hacen la distancia ambigua, y provocan fantasía. La imaginación y la ensoñación se estimulan más por la sombra que la luz. Pallasmaa cree más profundamente en la oscuridad y en la sombra que en la claridad. Como ejemplo, Pallasmaa se refiere al útero oscuro de la

²⁵ Frampton, *Labour, Work and Architecture* p. 88.

sala del consejo del Ayuntamiento de Säynätsalo de Alvar Aalto, en donde la oscuridad enriquece el poder de la palabra hablada y tiene un sentido místico y mitológico de la comunidad.

Frampton propone destacar el tacto frente a la vista como una dimensión importante en la percepción de la forma construida, para recordar la capacidad del cuerpo en la lectura del entorno, y para condenar la prioridad de la visión sobre otros sentidos como características de la tecnología universal. Por lo tanto, él pone lo "cercano" de lo táctil en contra de lo "distante" de la vista. *"Lo táctil favorece la experiencia concreta y es la antítesis a la simulación y la postergación"*²⁶. Por lo tanto, se muestra una importancia táctil en relación con la experiencia más directa, la cual no puede reducirse a la mera información. Así Frampton, argumenta esta sensibilidad táctil con la experiencia del acabado en la circulación del Ayuntamiento de Säynätsalo de Alvar Aalto en 1952. En él explica que aquí no sólo la escalera está revestida de ladrillo visto, sino también las huellas y contrahuellas. Esto genera una mayor sensación cuando uno sube las escaleras y se da cuenta de la diferencia anterior después de experimentar el suelo de madera de la sala de plenos. Incluso esta percepción táctil tiene su influencia sobre la percepción fenomenología vinculada a la tectónica-estereotómica que se propone esta tesis:

*"Partiendo de la masa estereotómica y la respectiva oscuridad de la escalera de entrada, donde el sentimiento de claustrofobia aumenta ante la tactilidad de las pisadas sobre el ladrillo, entramos en la luminosidad de la sala de juntas, cuya cubierta de madera se distribuye en forma de abanico, con puntales de madera que van ascendiendo con el fin de servir de soporte a unos techos ocultos por encima del entablado. La sensación de llegada que produce esa interacción tectónica queda reforzada gracias a varias sensaciones no retinianas, desde el olor de la madera encerada hasta la flexibilidad del suelo bajo nuestro peso y la desestabilización general del cuerpo a medida que entramos en una superficie muy pulida"*²⁷.

²⁶ Kenneth Frampton, "Intimations of Tactility: Excerpts from a Fragmentary Polemic," in *Architecture and Body* (New York: Rizzoli, 1988).

²⁷ Frampton, Cava, and Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts., *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture* p. 22.

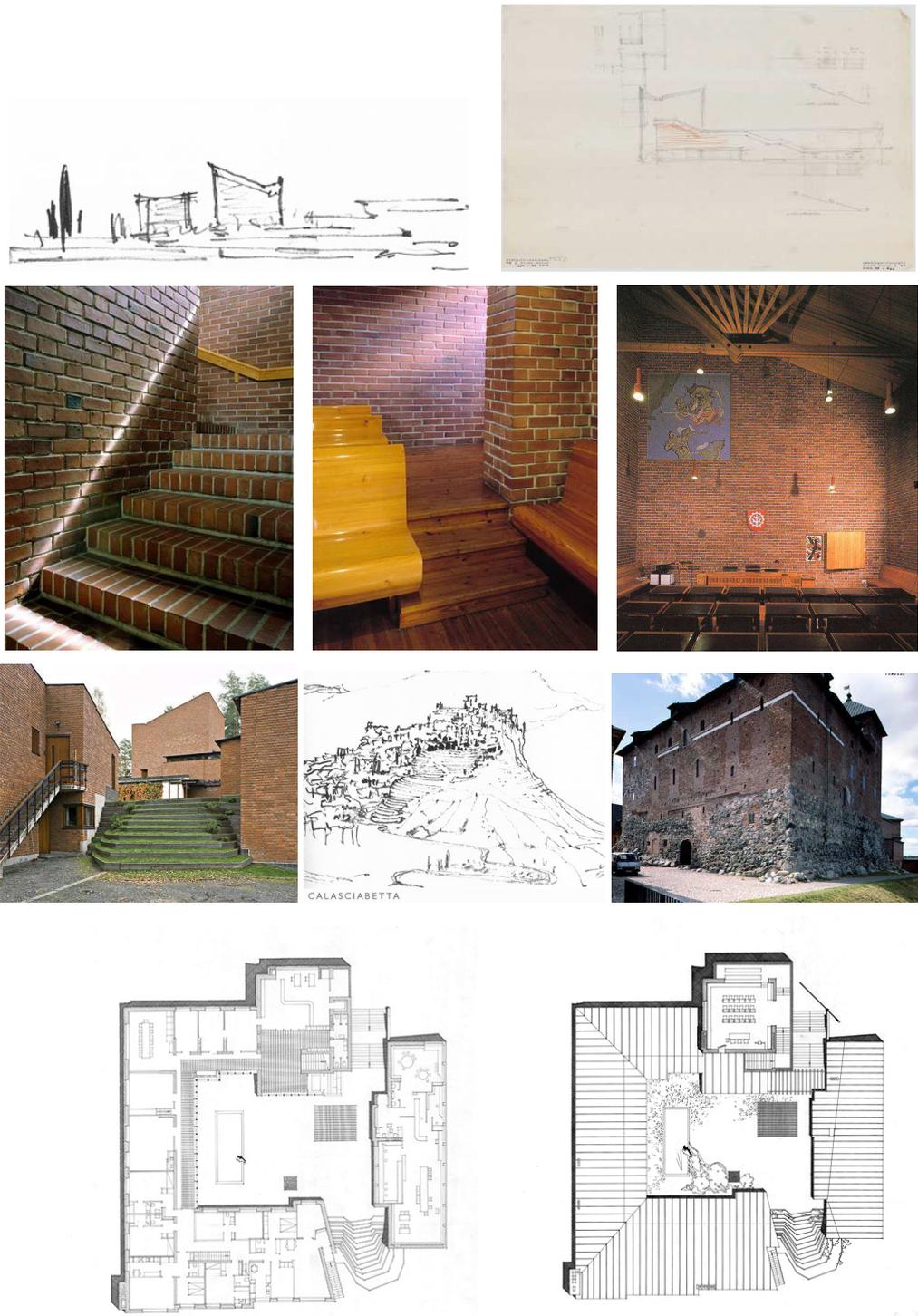


Fig. 2-11. Relación del Ayuntamiento de Särnätsalo de la distribución en torno a un patio por el que se accede mediante una escalinata como la de los pueblos italianos sobre las colinas, en donde se sitúa en la parte más alta y representativa la iglesia y los edificios administrativos. En este caso la sala de juntas ejerce la máxima representatividad de democracia. Además, con respecto al material utilizado, el uso del ladrillo visto es una referencia a la construcción tradicional finlandesa próxima a la del castillo medieval de Hämeenlinna, en donde se puede apreciar el comienzo de la utilización del ladrillo una vez que se ha salido de la cota de colocación de los sillares de piedra irregulares en su arranque de la base estereotómica.

Por lo tanto en el ayuntamiento de Aalto, se puede encontrar un carácter intrínseco de lo tectónico-estereotómico entrelazado con una percepción fenomenológica del espacio, por lo que el cuerpo y todos los sentidos participan de la percepción del espacio. Lo táctil en este caso, entendido desde lo cercano, es otro aspecto del regionalismo crítico de Frampton en el esfuerzo para equilibrar la prioridad concedida a la imagen y para contrarrestar la tendencia del mundo occidental a la interpretación del entorno en términos de perspectiva exclusivamente²⁸ entendido como lo distante. Así, como Heidegger lo ha denominado y de acuerdo con la etimología de la palabra "perspectiva" (vista racionalizada o visión clara), esta "pérdida de la cercanía" tendente en el mundo occidental implica una supresión consciente de los otros sentidos y una supresión de la experiencia directa del entorno. Por otra parte, Frampton entiende la distinción heideggeriana de "*spatium in extension*" y "*raum*" en su relación diferente con tacto, entendiendo que "*spatium in extension*" forma parte de la privacidad hacia la experiencia visual (en relación con la perspectiva entendida como la vista racional), mientras que "*raum*" tiene una relación con la experiencia táctil, es decir, lo más cercano.

Esta aproximación cercano-táctil tendente a la percepción tectónica y a la puesta en valor del regionalismo crítico, se aleja de lo distante-visión racional que podemos relacionar también con lo escenográfico. Por lo tanto, lo tectónico se opone a lo escenográfico, y por lo tanto lo táctil (percepción tectónica) tiene la capacidad para despertar el impulso de tocar por parte del arquitecto, volviendo a la "poética de la construcción", en donde el valor de la tectónica de cada elemento depende de la densidad que cubre cada objeto. De esta manera, lo táctil y lo tectónico conjuntamente tienen la capacidad de trascender de la mera apariencia de la técnica de la misma forma que la forma del lugar tiene el potencial de resistir el ataque implacable de la modernización global²⁹. Ese realmente será el vínculo entre lo tectónico-estereotómico, lo táctil y el regionalismo en lucha con la universalización como se verá en el próximo apartado.

²⁸ Frampton, *Labour, Work and Architecture* p. 89.

²⁹ *Ibid.*

8.7. EL REGIONALISMO Y SUS IMPLICACIONES FENOMENOLÓGICAS

Para comenzar, se deberá ver qué se entiende por regionalismo ya que no se debe confundir con lo vernacular desde un punto de vista genérico. Frampton insiste en la separación entre el regionalismo y lo vernáculo, entendiéndolo éste último como la actitud sentimental que ha sido declarada "*como la encarnación atrasada de la cultura popular post-modernista*". Así, lo populista (sin connotaciones culturales) potenciará el uso no ético de la realidad mediante la simulación, quedándose solamente en lo meramente comunicativo y sensacionalista. De esta manera, estos excesos vulgares del populismo se separan del regionalismo que tratará de poner en énfasis la atención a la cultura local, es decir, a lo artesano característico de cada lugar. El regionalismo, por lo tanto no es un esfuerzo colectivo, sino que es una actitud basada en los individuos.

Esta tendencia regionalista está en contra del culto a los arquitectos estrella y a la internacionalización de la arquitectura. Así, la mayoría de los arquitectos que han tenido opiniones regionalistas como Jörn Utzon, Alvaro Siza, Luis Barragán, Richard Neutra, Carlo Scarpa, Louis Kahn, Mario Botta y más recientemente Peter Zumthor son reconocidos, pero no han alcanzado la calificación "estrella" desde el punto de vista de la internacionalización de la arquitectura.

Otro de los aspectos que se debe aclarar cuando se habla de regionalismo es que, una vez diferenciado de lo vernacular, se debe acercarse a la cultura local y alejarse de la civilización universal. Según Frampton, la civilización universal, no sólo emplea una burda actitud estándar hacia la topografía del lugar, sino que también hacia el clima y la luz, hacia las formas comunes y uniformes de utilización de luz natural en el edificio, y hacia el omnipresente aire acondicionado aplicado en todo momento y en todos lugares. De esta manera, las formas comunes, son todos los resultados de la civilización universal, que no prestan atención a las condiciones específicas del clima en los diferentes lugares.

Frente a esta posición extrema en contra de la civilización universal, el filósofo Paul Ricoeur aporta una situación intermedia, distinguiendo entre cultura y civilización. Él entiende que un híbrido de la "cultura del mundo" será el

resultado de un fecundo intercambio entre la cultura y la civilización universal. Según Frampton, la intención básica del regionalismo es la reinterpretación de la cultura universal en términos de su propia base intrínseca.

Una posible síntesis consciente entre la civilización universal y la cultura del mundo está bien ilustrada por Jörn Utzon en la iglesia de Bagsvaerd construida cerca de Copenhague en 1976, de la que podemos leer lo siguiente:

*"...una conjunción revelada entre la racionalidad de la técnica normalizada y la irracionalidad de la forma idiosincrásica. Este edificio se organiza alrededor de una malla regular de repetición en módulos -bloques de hormigón y elementos prefabricados de hormigón- que podía considerarse como el resultado de la civilización universal. En otras palabras, este edificio utiliza la tecnología de la civilización moderna. Sin embargo, al pasar de la óptima piel del exterior a la mucho menos óptima de la cáscara interior de la bóveda de hormigón armado que abarca la nave, nos enfrentamos a un aspecto completamente diferente. Este modo, evidentemente, antieconómico de construcción no está relacionado con la racionalidad de la civilización universal, sino con la cultura mundial: La bóveda representa el espacio sagrado, y tiene múltiples referencias culturales cruzadas. Mientras, el cascarón de la bóveda de hormigón armado se basa en el canon tectónico de la arquitectura moderna occidental, la sección altamente configurada adoptada en este caso no es familiar, y el único precedente de tal forma, en un contexto sagrado, es en el Oriente más que en Occidente - es decir, el techo de pagoda china, citado por Utzon en su ensayo de 1963, 'Platforms and Plateaus'."*³⁰

Por lo tanto, este edificio es una combinación de la tecnología desarrollada por la civilización universal en el exterior, y por la cultura mundial en el interior (conceptual-formal), mediante la bóveda de cascarón de hormigón. Aquí, realmente lo regional está implícito en el pensamiento de desacralizar la iglesia mediante una forma de reafirmación de una

³⁰ Ibid. pp. 83-84.

espiritualidad colectiva apoyada en una reinterpretación de la forma sagrada (cultura del mundo) para una iglesia que se plantea en la segunda mitad del siglo XX en Finlandia.

Frente al concepto de regionalismo, anteriormente explicado, el arquitecto Pallasmaa prefiere denominarlo como "*arquitectura situacionalista*". Pallasmaa dice que él no está satisfecho con la noción de "*regionalismo*" en arquitectura, por sus connotaciones geográficas y etnológicas y que prefiere hablar de "*arquitectura de una cultura específica o de un emplazamiento*". Para él, el sentido de la localidad específica está enraizado en la naturaleza, la geografía, el paisaje, los materiales locales, las habilidades y patrones culturales específicos a ese lugar. Además, éstos están fuertemente relacionados e integrados con la tradición y la cultura. "*La cultura tiene que ser vivida. Las culturas maduran y sedimentan lentamente a medida que se funden en el contenido y la continuidad de la tradición... la cultura avanza inconscientemente y no puede ser manipulada desde el exterior*"³¹. Por lo tanto, la "*arquitectura situacionalista*" está profundamente relacionada con la dimensión existencial y es vivida por los seres humanos. Pallasmaa recuerda la obra de Luis Barragán como un buen ejemplo de este tipo de arquitectura que se hace eco de las distintas características profundas de la estructura de la cultura mexicana y de la vida, y la arquitectura las convierte en un arte metafísico y surrealista único.

Pallasmaa confiesa que el problema de la arquitectura no puede resolverse solamente mediante el uso de métodos técnicos, porque "*la arquitectura es una forma super-técnica de creación en donde esta armonización de diversas formas de función desempeña un papel fundamental... Un edificio no es un problema técnico en general - sino que es un problema de archi-técnico*"³².

Según Frampton, lo mismo ocurre con la tectónica, la cual se refiere a la forma en que el trabajo revela sus uniones de la construcción y la forma sintética de la estructura que resiste a la acción de la gravedad. Esto se muestra cuando la estructura del edificio no se oculta o se enmascara. Sin embargo, "*la tectónica*

³¹ Juhani Pallasmaa, *Encounters. Architectural Essays* (Helsinki: Edited by Peter MacKeith. Rakennustieto, 2005) p. 265.

³² Juhani Pallasmaa, "Alvar Aalto: Toward a Synthetic Functionalism," in *Alvar Aalto, between Humanism and Materialism* (New York: The Museum of Modern Art, 1998), p. 22.

no debe ser confundida con lo puramente técnico, ya que es más que la simple revelación de la estereotomía o la expresión del esqueleto de una estructura"³³.

De estas dos visiones idénticas de lo local, una denominada como arquitectura regionalista y otra como arquitectura situacionalista, tienen un fin común, el cual es la lucha de la cultura local frente a la universalización. En definitiva, del lugar frente a la forma. Por ejemplo, todo esto puede concentrarse en el caso concreto de la ventana³⁴ como forma de apertura en el cerramiento que nos indicará si existe una atención prestada a la forma de iluminar o de climatizar un lugar concreto dentro de una región particular y característica (no de una forma universal) donde se sitúa la arquitectura. De esta forma, el regionalismo no puede entrar a resolver los problemas de una forma general sin atender a la particularidad de un lugar, por lo que no se debe pensar en generar ningún tipo de estilo arquitectónico que el sufijo -ismo puede hacer creer. En este caso, el regionalismo debe huir de cualquier estilo³⁵.

El regionalismo crítico, como ya se ha comentado anteriormente, no es un estilo, sino una categoría crítica. El regionalismo es una práctica marginal que, a pesar de la crítica de la modernización, no abandona nunca a los aspectos progresistas del legado de la arquitectura moderna. Por otra parte, se resiste a la optimización de normativas y utopismo ingenuo de los primeros del Movimiento Moderno. Por lo tanto, favorece a lo pequeño más que al gran planeamiento. Aunque favorezca a lo más pequeño en el sentido localista, es una arquitectura consciente limitada que no considera al edificio como un objeto independiente, sino que hace hincapié en el territorio establecido por la estructura erigida en el sitio. De esta manera, la influencia de la topografía local y su luz del lugar concreto se opone a la tendencia de la climatización de la "civilización universal", y tiende a tratar a las aberturas como zonas de transición delicadas respondiendo a las condiciones específicas del sitio dado, el clima y la luz. Así, en la idea del tratamiento del hueco-ventana se pueden

³³ Frampton, *Labour, Work and Architecture* p. 88.

³⁴ *Ibid.* p. 87.

³⁵ Kenneth Frampton, "Ten Points on an Architecture of Regionalism: A Provisional Polemic," in *Architectural Regionalism, Collected Writings on Place, Identity, Modernity and Tradition*, ed. Vincent B. Canizaro (New York: Princeton Architectural Press, 2007), p. 378.

concentrar muchos aspectos característicos de cómo intervenir con una arquitectura regionalista.

Por todo lo anterior, el regionalismo es un factor importante para una arquitectura que trabaje en la línea fenomenológica. Será una arquitectura que sea capaz de intentar reinterpretar la cultura local frente a la idea de simularla (como podía caer el populismo vernacular). Una arquitectura basada en lo táctil más que en lo visual, intentando poner de relieve otros sentidos adicionales, por lo que se daría una mayor importancia a la experiencia física directa del sujeto frente a la idea de suprimirla con la información visual. De esta forma, el regionalismo crítico tiende a florecer en aquellos intersticios culturales locales capaces de escapar de la optimización del empuje de la civilización universal³⁶.

Por lo tanto, entiendo que el regionalismo y su experiencia fenomenológica pueden verse de dos maneras. Una material-local, en la que el regionalismo posee una implicación fenomenológica sobre la experiencia del sujeto de una manera multisensorial. El ejemplo del Ayuntamiento de Säynätsalo es claro, en donde el cuerpo y todos los sentidos participan de la percepción del espacio y, por lo tanto, el carácter intrínseco de lo tectónico-estereotómico (el uso tradicional del ladrillo y de la madera) se entrelaza con una percepción fenomenológica del espacio. Esta percepción material, tiene, evidentemente relación con lo táctil y lo cercano. La otra manera que el regionalismo influye fenomenológicamente es mediante una manera espacial e implícita en el subconsciente de la cultura local. No me refiero a la idea entrelazada de utilizar elementos locales materiales que pueden hacer recordar de una forma táctil a una característica de un lugar específico, sino me refiero a aquellos conocimientos, cultura o articulaciones espaciales que pueden ser heredados en el subconsciente de las personas y que la nueva arquitectura regionalista introduce en la articulación espacial de la idea. Si continuamos con el ayuntamiento de Aalto, este factor de subconsciente fenomenológico con implicaciones regionalistas aparece en la articulación en torno al patio central sobreelevado que puede hacer referencia implícita a aquellos pueblos sobre colinas en donde en la cima aparece la plaza que articula los edificios más importantes y representativos en su

³⁶ Ibid., p. 327.

uso. En este caso, la referencia que utiliza Aalto es de un esquema que no es finlandés, sino mediterráneo por lo que puede resultar meramente simbólico pero poco local-regionalista con la cultura de Säynätsalo. Sin embargo, si analizamos este aspecto en concreto en dos edificios en Granada realizados por el mismo arquitecto, Alberto Campo Baeza, obtenemos en ellos una implicación regionalista sobre la percepción fenomenológica del subconsciente, por lo que estos dos edificios están enraizados en la cultura local de la ciudad de Granada mediante la utilización de articulaciones espaciales existentes en otros espacios de edificios representativos de la misma ciudad. De esta manera, el regionalismo está presente de una manera intrínseca en el subconsciente perceptivo del espacio. El edificio de CajaGranada se hermana interiormente con el espacio inter-columnas de la Catedral, mientras que el Museo Memoria de Andalucía posee unas implicaciones fenomenológicas en el subconsciente vinculadas al Palacio de Carlos V en su patio circular.

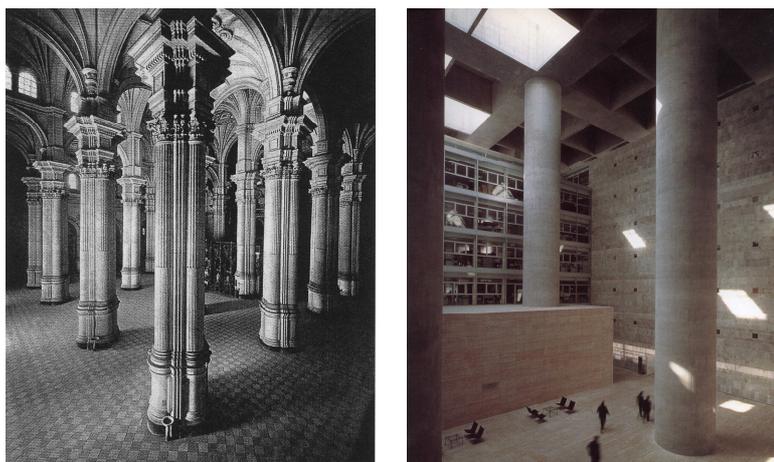


Fig. 12 y 13. Interior de la Catedral de Granada (S. XVI) y de CajaGranada (2001)

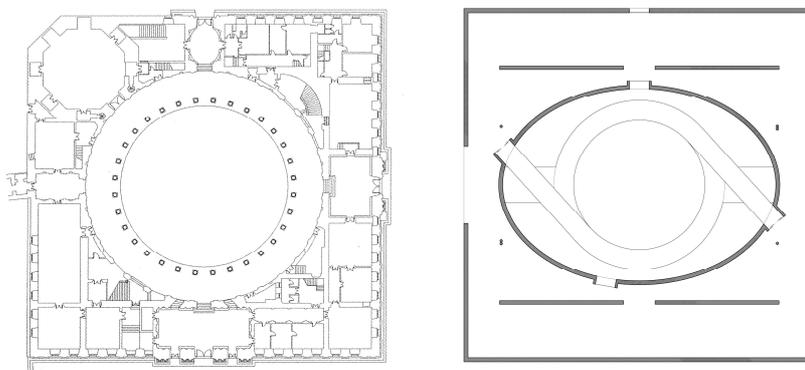


Fig. 14 y 15. Planta del Palacio de Carlos V (S. XV) y del patio del Museo Memoria de Andalucía (2009)

*"En memorables experiencias de la arquitectura, la materia del espacio y el tiempo se funden en una sola dimensión, en la sustancia base del ser, que penetra al subconsciente. Nosotros mismos lo identificamos con este espacio, este lugar, este momento y estas dimensiones como si se volvieran ingredientes de nuestra existencia. La arquitectura es el arte de la mediación y de la reconciliación."*³⁷

Así, se puede definir que el regionalismo puede poseer dos implicaciones fenomenológicas sobre el sujeto ambos de procedencia local: una procedente de un origen material y otra de origen más inmaterial y atemporal, es decir de la cultura y del conocimiento o de la articulación espacial existente localmente. La primera actúa de una manera física mediante lo táctil y la segunda actúa a través del subconsciente del sujeto cuando percibe el espacio arquitectónico. Las dos se funden en nuevo espacio vivido.

³⁷ Pallasmaa, Holl, and Pérez Gómez, "Questions of Perception: Phenomenology of Architecture."

8.8. FENOMENOLOGÍA Y EXPERIENCIA CORPORAL: POSICIÓN Y MOVIMIENTO

8.8.1. Introducción

Antes de comenzar con este apartado, se debe prestar especial atención a los conceptos utilizados por Husserl, el cual usa dos términos distintos en su teoría fenomenológica en relación al cuerpo del sujeto. Uno es "Körper" (cuerpo físico) que es el sistema físico de cuerpos y órganos. El otro es "Leib" (cuerpo vivo) que es lo que usamos en la vida cotidiana. Comenta Husserl que nuestro compromiso con el entorno no es solamente de una manera física con las cosas, sino que también debe existir un sentimiento vivido con el mundo. La gravedad actúa sobre nuestro "cuerpo físico" y la percibimos cuando subimos o bajamos unas escaleras por ejemplo, y ese movimiento o desplazamiento actúa sobre el "cuerpo vivo". En definitiva, nuestro cuerpo tiene un tipo especial de corporeidad que nos convierte en un actor en el mundo y, por lo tanto, nuestra percepción es vivida y experimentada. En este sentido, experimentamos las cosas alrededor nuestra en relación a nuestro cuerpo, en un espacio, es decir, un espacio-temporal en relación con nuestro cuerpo vivo.³⁸

Merleau-Ponty desarrolló la fenomenología de Husserl que se basaba en la experiencia primaria de la existencia humana encarnada. Él encuentra a la fenomenología como un estudio de las esencias, la esencia de la percepción, la esencia de la conciencia. La fenomenología intenta poner de nuevo las esencias sobre la existencia y trata de comprender al hombre y al mundo con sus hechos³⁹.

Para la fenomenología *"el mundo está siempre 'ya allí' antes de que las reflexiones comiencen -como una inalienable presencia; y todos sus esfuerzos se concentran en volver a lograr un contacto directo y primitivo con el mundo"*⁴⁰. Así, la fenomenología trata de atrapar la esencia en una condición pre-reflexiva, y prepara un contacto directo con el mundo. Por otra parte, nos ofrece los medios para percibir el espacio y el tiempo en el mundo como los *"vivimos"*, *"se trata de dar una descripción directa de nuestra existencia como es, sin tener en cuenta su origen psicológico y la*

³⁸ David Woodruff Smith, *Husserl* (London, New York: Routledge, 2007).

³⁹ Merleau-Ponty, *Phenomenology of Perception*.

⁴⁰ *Ibid.* p. vii.

explicación causal que el científico, el historiador o el sociólogo puede ser capaz de proporcionar"⁴¹.

Así, el cuerpo se entiende como el centro del mundo, es decir, como el corazón que da vida al organismo, el cuerpo da vida el mundo: *"Nuestro cuerpo está en el mundo como el corazón está en el organismo; él mantiene el espectáculo visible siempre vivo, respira la vida en él y lo sostiene por dentro, y con él forma un sistema"*⁴².

Merleau-Ponty, como Husserl, distingue entre el cuerpo inanimado físico (Körper) y el cuerpo vivo animado (Leib) y, por lo tanto, indica *"que los humanos están de hecho insertados en el mundo de una manera muy específica y orgánica, determinada por la naturaleza de nuestras capacidades sensoriales y motoras de percibir el mundo de una manera específica"*⁴³. Es mi cuerpo y su movimiento lo que proporciona la percepción del mundo, y es lo que une el mundo a mi experiencia corporal del mismo. Merleau-Ponty sostiene que cuando el hombre se mueve en torno a un cubo, es debido a que una de las etapas sucesivas de esa experiencia es que el hombre concibe el cubo con sus seis caras iguales. Por lo tanto, *"al concebir mi cuerpo en sí mismo como un objeto móvil, soy capaz de interpretar el aspecto perceptivo y construir el cubo que realmente es"*⁴⁴.

Otra corriente que fija al cuerpo del ser humano como centro es la denominada Shintai, tan utilizada por Tadao Ando. El Shintai consiste en la unión del espíritu y lo corporal. Al mismo tiempo, reconoce al mundo y a lo corporal.

8.8.2. Movimiento y Posición

Norberg-Shulz distingue entre cuatro formas de relación de lo construido entre la tierra y el cielo que afectan al sujeto⁴⁵. La primera manera es según la solución clásica, y consiste en que un edificio tiene definido con claridad los elementos para

⁴¹ Ibid.

⁴² Ibid. p. 203.

⁴³ Moran, *Edmund Husserl: Founder of Phenomenology*.

⁴⁴ Merleau-Ponty, *Phenomenology of Perception* p. 203.

⁴⁵ Norberg-Schulz, *The Concept of Dwelling, on the Way to Figurative Architecture* p. 122.

conectar la tierra y el cielo. La segunda manera es que la forma tiene una terminación libre tanto por debajo como por encima, como las soluciones románticas y la de los modernos edificios ecológicos. La tercera forma es que el edificio cuenta con una base clara, pero una terminación libre, como la arquitectura de las "plataformas y mesetas" que cita Utzon. En cuarto lugar, la forma crece libremente desde la tierra, pero tiene una terminación superior clara y recta, como los edificios modernos de Le Corbusier. Desde el punto de vista fenomenológico, me llama especialmente la atención la tercera forma en donde existe una mayor intensidad de entender un espacio que queda envuelto por una estructura-membrana-cubierta y que su suelo será una plataforma o una meseta.

No solamente Norberg-Schulz realiza esta clasificación de la arquitectura en función de su relación con lo que tiene abajo (la tierra) o lo que tiene encima (el cielo) sino que se atreve a estudiar también las posiciones sobre la tierra, o lo que es lo mismo, en relación al nivel del suelo: dentro (under), sobre (on) y encima (above): "*En general un edificio puede colocarse 'dentro' del terreno, 'sobre' el suelo, o 'encima' de la tierra*" ⁴⁶. Dentro del suelo o bajo el nivel del terreno, implica una relación estrecha, romántica con las fuerzas de la tierra. Así, el edificio parece crecer desde la tierra sin una base distinta. Sobre el terreno, implica una base sobre la que se levanta, como un espacio entre la tierra y el cielo. Encima del suelo, implica una relación libre con la tierra a través de los pilotis desmaterializados. Según esta definición más fenomenológica, se puede establecer una relación en paralelo con lo tectónico-estereotómico ya que lo estereotómico atendería a aquello que pertenece a la tierra "dentro" y parte de lo "sobre", mientras que lo tectónico sería aquella que figura "encima", sin tener que entrar a hacer ninguna consideración estructural-material.

En este sentido, estos tres estados de Norberg-Schulz se manifiestan en la Villa Savoia según la descripción siguiente suya:

"las tres plantas, evidentemente, representan la tierra (la cual continúa bajo la casa entre los pilotes), el cielo (que es 'recibido' por el solarium en la azotea), y el

⁴⁶ Norberg-Schulz, *Genius Loci, Towards a Phenomenology of Architecture* p. 177.

complejo mundo del hombre en el medio. Los niveles están interconectados por medio de una rampa colocada en una posición central, lo que hace que la experiencia de la casa se convierta en una 'promenade architecturale' para citar a Le Corbusier con sus propias palabras."⁴⁷



Fig. 16. Villa Savoia, 1929. Le Corbusier.

En la Villa Savoia esta separación de posiciones entre el cielo y la tierra, queda finalmente marcada por el movimiento corporal que es el que establece las mayores sensaciones fenomenológicas desde el punto de vista del cuerpo vivo. Así, la idea del movimiento corporal toma fuerza como parte de la experiencia corporal, y que en el caso de Le Corbusier lo utilizará con frecuencia en sus *promenade architecturale*. Pero no solamente fue Le Corbusier quien recurriera a este concepto del movimiento corporal sino también otros como, por ejemplo, Alejandro de la Sota, el cual, en su Casa Domínguez, trabaja con la idea de entender al espacio arquitectónico entre el cielo y la tierra desde el punto de vista de posición y también como movimiento corporal del sujeto en vertical, atendiendo el resultado final a aspectos funcionales y lógicamente fenomenológicos para cada espacio encima, sobre o bajo el nivel del terreno. Así, de la Sota, partiendo de un desarrollo de Saarinen en el que entiende que el espacio básico del hombre o su habitáculo aparece cortado ecuatorialmente por una esfera, se liberará y desarrollará su idea propia de la forma en que dos cuerpos se separan, uno pertenecerá a la tierra y el otro quedará suspendido del cielo, perteneciendo a éste último.

⁴⁷ Cristian Norberg-Schulz, *Roots of Modern Architecture* (Tokyo: A.D.A. Edita Tokyo, 1988) p. 35.

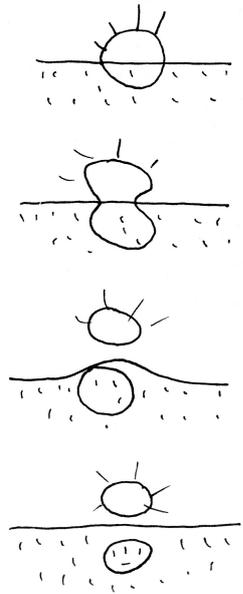


Fig. 17. Interpretación gráfica a un texto de Saarinen de Alejandro de la Sota.

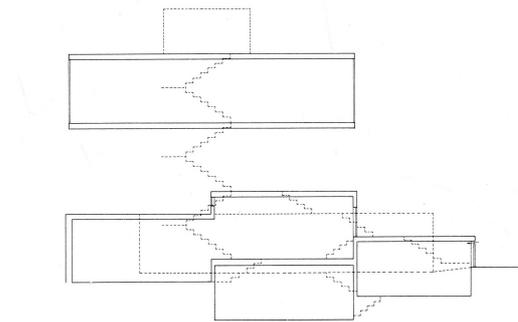


Fig. 18. Sección de la Casa Domínguez, Pontevedra, 1976, Alejandro de la Sota.

*"Al decir de Saarinen el habitáculo del hombre puede ser representado por una esfera cortada ecuatorialmente por el plano de la tierra. La semiesfera enterrada se usará para el descanso, inactividad, reposición de fuerzas y del pensamiento; la semiesfera por encima del plano 0 será donde el hombre desarrolla su actividad, donde se desarrolla lo pensado. De materiales pétreos, terrosos, la primera; transparente, de cristal, la segunda. Cuanto más libere el hombre su pensamiento, más se separará de la tierra la cristalina semiesfera que, liberada, se convierte en nueva esfera volante, inalcanzable. Cuanto más grande es la necesidad de reposo, del descanso, más profunda se enterrará la enterrada semiesfera."*⁴⁸

⁴⁸ de la Sota, "Alejandro De La Sota, Arquitecto," p. 164.

En este esquema de distribución de la casa y en la descripción del movimiento corporal de la misma existe ya una relación implícita tectónica-estereotómica de cada parte. Pero no solamente, se queda en lo material, sino que cada posición y su definición posee unas connotaciones fenomenológicas vinculadas a cada lugar: en el aire (la tectónica) y en la tierra (estereotómica). Parece incluso como si de la Sota hubiese leído el texto de Frampton más clarificador en la definición tectónica-estereotómica que podemos encontrar:

*"Framework tends towards the aerial and the dematerialization of mass, whereas the mass form is telluric, embedding itself ever deeper into the earth. The one tends towards light and the other towards dark. These gravitational opposites, the immateriality of the frame and the materiality of the mass, may be said to symbolize the two cosmological opposites to which they aspire: the sky and the earth. Despite our highly secularized techno-scientific age, these polarities still largely constitute the experiential limits of our lives."*⁴⁹

Siguiendo esta idea del movimiento corporal como experiencia fenomenológica que entrelaza al espacio con la arquitectura tectónica-estereotómica, se encuentra Jörn Utzon en la descripción de los movimientos corporales diferentes del sujeto sobre una casa japonesa o una plataforma:

"En la casa tradicional japonesa el suelo es una delicada plataforma a modo de puente. Esta plataforma japonesa es como el tablero de una mesa. Una pieza del mobiliario. El suelo resulta tan atractivo como el muro de la casa europea. Si en una casa europea queremos sentarnos junto a una pared, en Japón queremos sentarnos en el suelo, en vez de caminar sobre él. En las casas japonesas la vida se expresa en determinados movimientos como el acto de sentarse, tumbarse o arrastrarse. Al contrario que el pétreo sentimiento mexicano de la meseta, el sentimiento que se produce en Japón es similar al de estar de pie sobre un pequeño puente de madera cuyas dimensiones sólo soportan nuestro peso, y nada más. En la casa japonesa se ha añadido

⁴⁹ Frampton, "Rappel a L'ordre: The Case for the Tectonic," p. 95.

un detalle elegante a la expresión de la plataforma, el énfasis horizontal en los movimientos de puertas y pantallas corredizas, así como el juego de negros que se produce en los remates de las esteras que cubren el suelo, que acentúan la superficie.”⁵⁰

En este caso concreto, el movimiento corporal ejerce una intensidad sobre la forma de percibir el espacio arquitectónico. Frente a una construcción totalmente tectónica de la casa tradicional japonesa, apoyada y levemente suspendida sobre el plano del suelo, la percepción de la flexión del suelo de madera, pensado solamente para el peso del sujeto, contrasta fuertemente con la inercia del suelo de la construcción estereotómica de las mesetas artificiales construidas por las pirámides precolombinas (Utzon visitó Chichén Itzá, Monte Albán y Uxmal) en donde la masividad tiende a pegar inconscientemente los pies del sujeto al suelo.

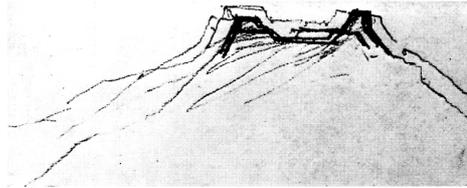


Fig. 19. Croquis de Monte Albán de Jörn Utzon, 1949.



Fig. 20(sup. izq.) Pirámide de Chichen Itzá; Fig. 21(sup. der.) Pirámide de Uxmal;
Fig. 22 y 23 (abajo). Monte Albán.

⁵⁰ Utzon, "Platforms and Plateaus," p. 116.



Fig. 24 y 25. La casa japonesa y el suelo de tatami.

Estas implicaciones de percepciones táctiles ayudan a entender mejor fenomenológicamente el aspecto tectónico-estereotómico de la construcción espacial y su impacto corpóreo sobre el sujeto.

Un caso híbrido entre la plataforma de la casa japonesa y la meseta de las pirámides mexicanas es la pagoda china, en la cual encontramos la oposición entre el podio de fábrica pesada o estereotómica y el tejado ligero de madera tectónico que flota sobre el basamento del suelo.

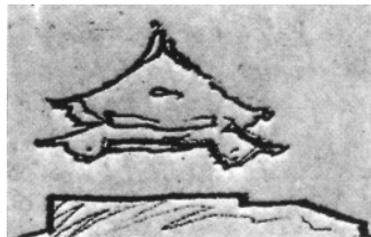


Fig. 26. Croquis de Utzon de la pagoda china: cubierta y podio.

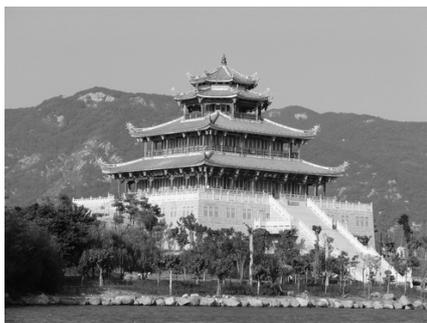


Fig. 27. Imagen de la pagoda china en Quanzhou.

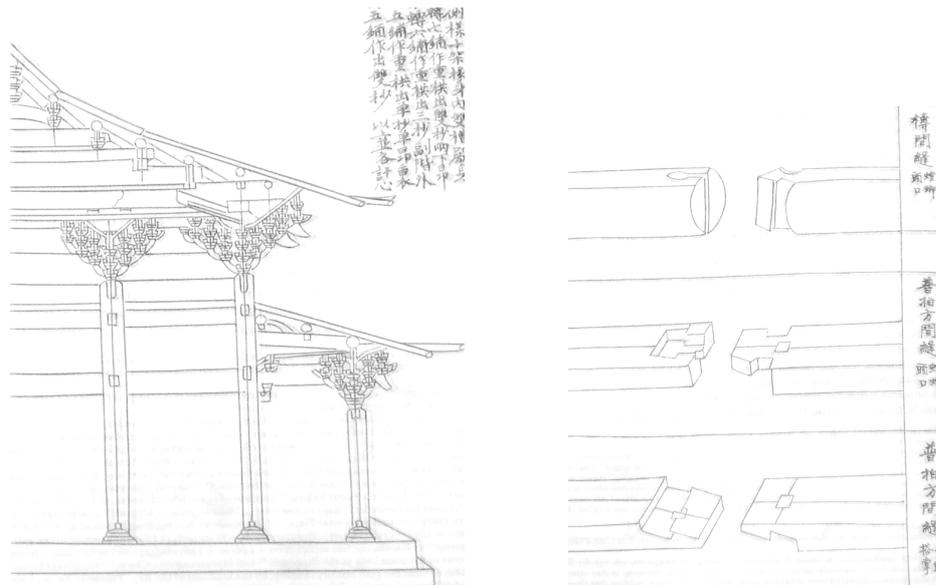


Fig. 28 y 29. Manual de construcción *Yingzao Fashi* publicado por el arquitecto Li Jie en el año 1103, durante la Dinastía Song.

Este esquema⁵¹ claro de dualidad estereotómica-TECTÓNICA también posee connotaciones corporales, ya que desde el punto de vista del movimiento corpóreo, éste puede quedar culturalmente condicionado como indicó Utzon en su ensayo de la revista *Zodiac* de 1962: "En Occidente uno gravita hacia el muro, en Oriente se gravita hacia el suelo"⁵².

8.8.3. El caso concreto de Utzon: entre el cielo y la tierra

Si se analiza la arquitectura de Utzon, en ésta hay es una continua obsesión por desarrollar el momento congelado en el que una cubierta o una estructura queda suspendida sobre un basamento aterrado generando un espacio entre ambos (basamento y cubierta) y una posición para el sujeto entre el cielo y la tierra.

Tanta influencia tuvo su experiencia fenomenológica en sus viajes a Oriente y a Sudamérica que la dualidad tectónica-estereotómica era para él la forma de entender de una forma más clara la arquitectura. Así, Utzon siempre persiguió en sus proyectos y bocetos los grandes espacios libres de columnas con

⁵¹ Frampton, Cava, and Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts., *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture* p. 238.

⁵² Utzon, "Platforms and Plateaus," pp. 116.

cubiertas de planchas plegadas o cubiertas envolventes en las cuales la articulación estructural formaba una parte esencial de la sección⁵³. La única forma de representar dichos espacios buscados era únicamente mediante la representación en sección. En estos espacios, existen distintas relaciones de cómo son las paredes y muros que unen el plano de la cubierta con el plano del suelo.

Esta forma de entender la arquitectura y de tener especial atención a cómo el habitante queda expuesto y envuelto ante el espacio arquitectónico creado por el hombre es vital para el entendimiento de la arquitectura, según mi opinión, al igual que en la arquitectura de Utzon.

Si tomamos como referencias algunos de los dibujos de Utzon, la relación tierra-cielo siempre queda expresada por el vacío espacial sobre el que gravita la envolvente, haciendo referencia constantemente en su arquitectura al concepto de Semper de basamento frente a cubierta (véase el apartado 4.2. Materiales y Técnica). Esta referencia es clara al concepto podio/pagoda que observamos en su dibujo de la pagoda china, en el que la envolvente de la cubierta gravita sobre el basamento en el que se desarrolla la actividad del templo.

*"... la arquitectura de Utzon puede interpretarse según la fórmula semperiana de basamento versus cubierta. En su obra, la oposición compensatoria pero complementaria suele presentarse en tres formas tipo que varían en complejidad y jerárquica incremental, y cada tipo está determinado finalmente por la variación de su cubierta. Así, del tejado de una sola agua del atrio doméstico de Utzon pasamos al tejado de planchas plegadas de su típico espacio para grandes masas y al uso de la forma envolvente de pagoda para un espacio mayor. En cada ejemplo vemos diferencias significativas en la naturaleza del muro que separa el basamento de la cubierta."*⁵⁴

⁵³ Kenneth Frampton, "Jorn Utzon: Forma Transcultural Y Metáfora Tectónica," in *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos Xix Y Xx*, ed. Kenneth Frampton (Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999), p. 239.

⁵⁴ *Ibid.*, p. 250.

Así, el concepto semperiano se materializa aquí en el basamento estereotómico, frente a la cubierta que actúan de envolvente tectónica. En este esquema lo que pertenece al cielo es lo tectónico y lo que pertenece al suelo es lo estereotómico, quedando el espacio corporal del sujeto en medio y en tensión de esta experiencia fenomenológica de querer hacer levitar el plano envolvente que da sombra al espacio vacío.

Desde el punto de vista material, Utzon comprendió que la cubierta-envolvente debía ser una construcción ligera, realizada por elementos que fundamentalmente trabajaran a tracción y en donde el proceso de montaje fuera mediante el ensamblado. De esta manera, la importancia que para él tiene el estudio del manual chino de construcción del siglo XII, *Yingzao Fashi*⁵⁵, fue radicalmente crucial en su obra construida. En este manual se sientan los principios de cómo debía de ser esta cubierta, la cual estaría compuesta por una construcción trabada y aditiva de vigas rectas, componiendo ménsulas en voladizo y componiendo el escalonamiento del tejado respecto al eje. Éste carácter tectónico de la adición mediante la junta seca de elementos de madera aseguraba una flexibilidad al sistema constructivo al poder trabajar la madera a tracción y, también, mediante las uniones articuladas y apoyadas en sus uniones, poder dotar de un carácter antisísmico al sistema envolvente.

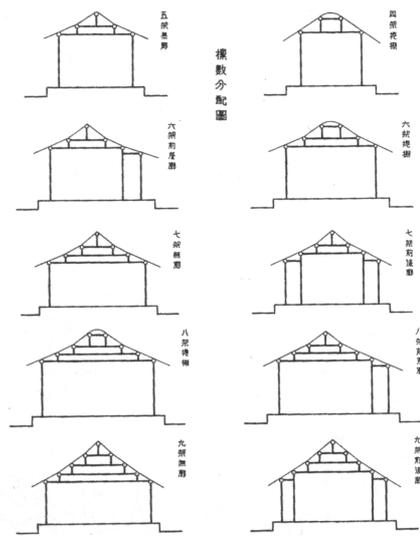


Fig. 30. Ilustración de un manual chino de construcción de la dinastía Ching (1644-1911).

⁵⁵ *Ibid.*, p. 246.

Por lo tanto, Utzon puede ser considerado como la continuación de la nueva tradición según indica Norberg-Shulz.

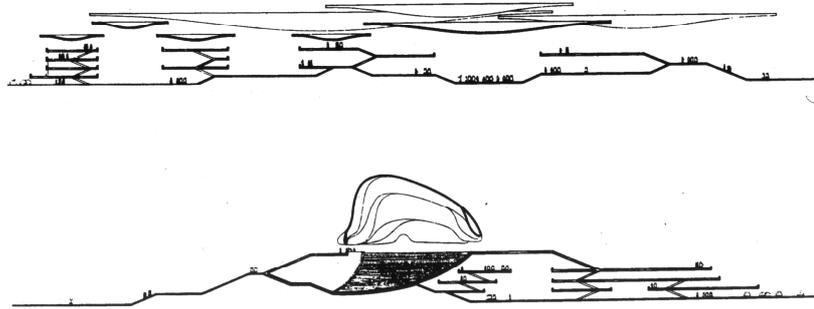


Fig. 31. Esquema del concurso para la Word Exhibition, Copenhague, 1959, Jörn Utzon.

La utilización de planchas plegadas proyectadas para cubrir grandes luces de grandes espacios con estructuras de hormigón armado postensado potenciaba el efecto del vacío del espacio podio/pagoda. Esta idea del plegado surge en estructuras de gran escala para mejorar la eficiencia global de la estructura mediante la mejora de la eficiencia local de las vigas.

Este concepto de lámina plegada fue ya utilizado por Pier Luigi Nervi, Marcel Breuer y Bernard Zehrfuss en la sede de la UNESCO de París (1953-58). En este caso la cubierta era una superficie de hormigón con una sección transversal en zig-zag que dotaba de mayor estabilidad ante las cargas. A esta sección plegada se le añadió otra lámina de hormigón horizontal que cambiaba de posición deslizándose hacia las zonas en donde existía mayor compresión, es decir, arriba en el centro del vano y abajo próximo a los extremos empotrados.

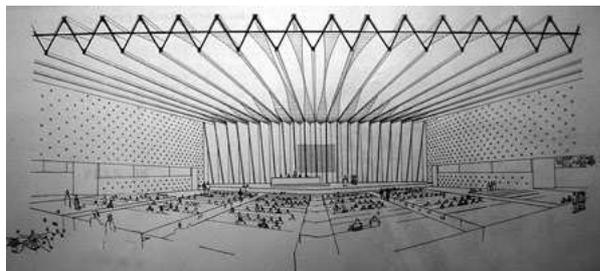


Fig. 32. Perspectiva interior de la Sede de la UNESCO de París, 1953-58. Pier Luigi Nervi, Marcel Breuer y Bernard Zehrfuss.

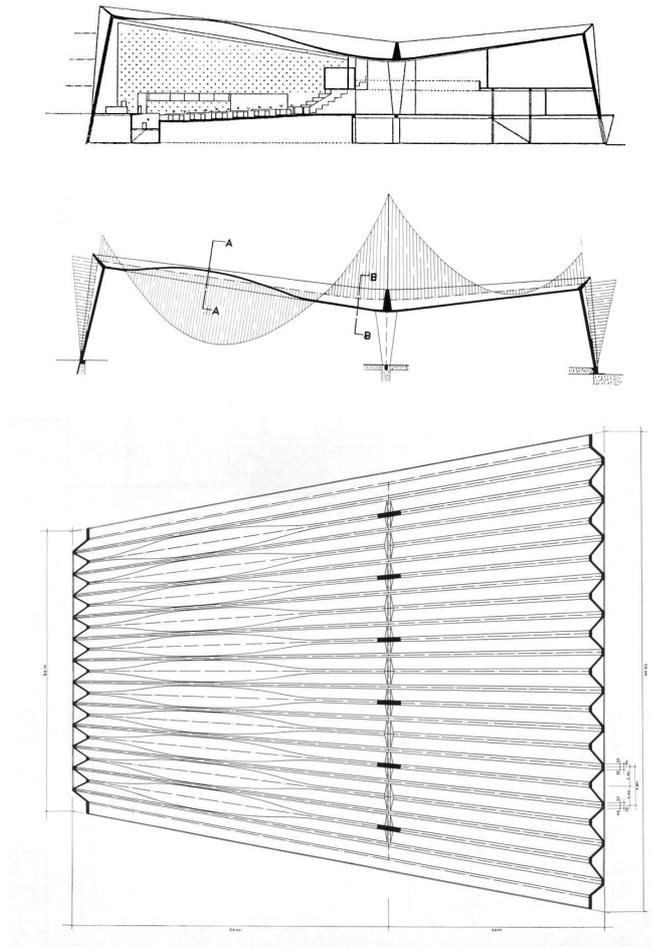


Fig. 33-35. Sección, esquema estructural y planta de cubiertas de la Sede de la UNESCO de París, 1953-58. Pier Luigi Nervi, Marcel Breuer y Bernard Zehrffuss.

Así , a la eficiencia global de la estructura se le añade la eficiencia local, es decir, secciones mejoradas utilizando el plegado y el cambio de posición de la losa horizontal.

En la línea del concurso para la World Exhibition de Copenhagen, un año más tarde, en el 1960, Utzon participa en el Concurso Internacional para el Complejo Elviria en Málaga, en el cual sigue investigando en torno a la cubierta aérea sobre el suelo aterrazado a modo de basamento del entorno, produciendo una serie de espacios en sombra mediante un extenso esquema mega-estructural.

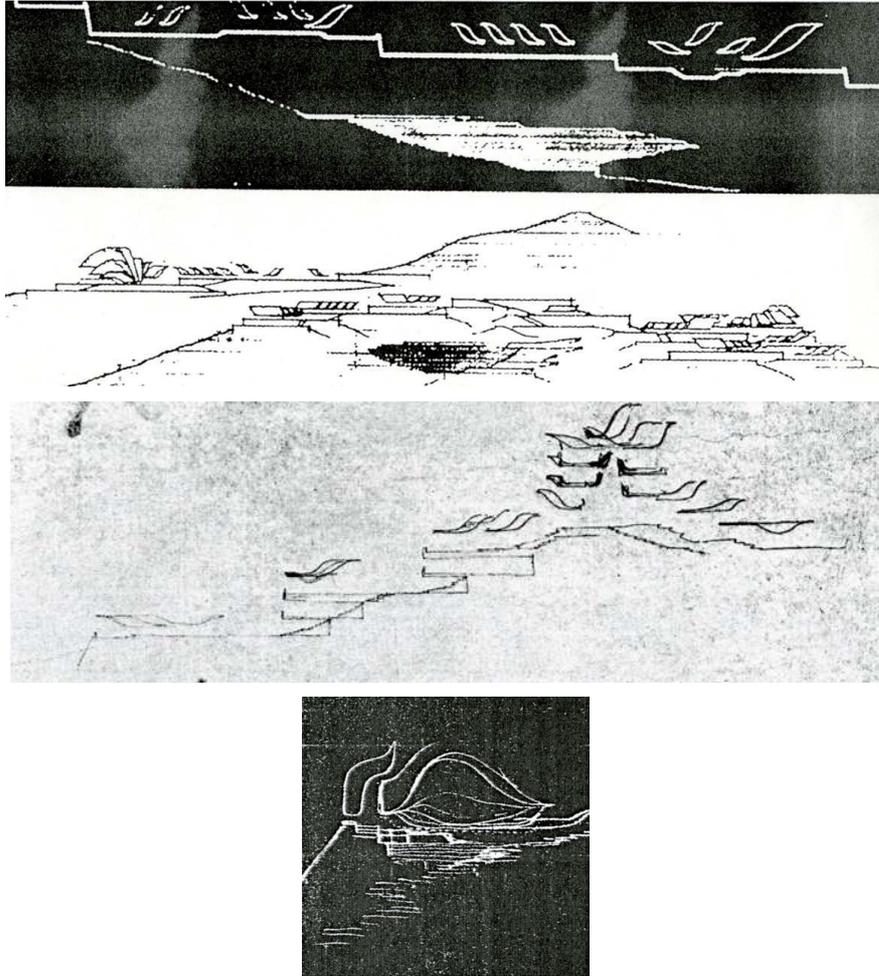


Fig. 36-39. Dibujos de Utzon del Concurso Internacional para el Complejo Elviria, Málaga, 1960, Jörn Utzon.

A una escala menor, el concepto de plancha plegada reaparece en el proyecto para la casa familiar en Bayview, en donde Utzon repite el obsesivo basamento versus cubierta, es decir, estereotómico versus tectónico.

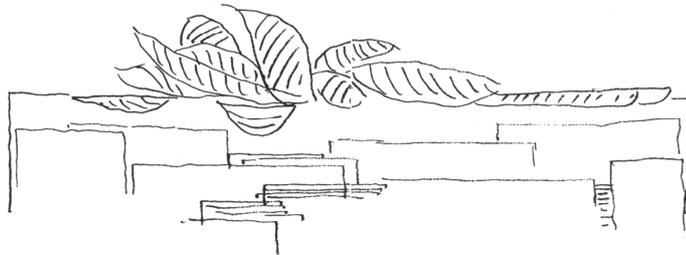


Fig. 40. Croquis conceptual de la Casa de Bayview, 1961-1964, Jörn Utzon.

Pero Utzon no olvida la preferencia que tiene por la producción artesanal-local y la compenetración con la naturaleza en sus diseños arquitectónicos. Quizás el vínculo artesanal provenga de la influencia de su padre y de los astilleros de Helsingor. Se puede establecer una hipótesis o suposición de que sus diseños de planchas plegadas provengan de los diseños aeronáuticos de las embarcaciones. En este caso, es como si fueran los cascos de las embarcaciones invertidos cuya superficie de fricción es el cielo y que envuelven el vacío generado del espacio habitado.



Fig. 41. Embarcación fabricada en madera.

Incluso el carácter tectónico del ensamblaje de la madera tiene relación con las cubiertas trabadas de las pagodas y los cascos de los barcos a modo de armazones estructurales en madera.

"Es sintomático de la educación de Utzon que, al igual que Jensen-Klint, tratara de escapar del formalismo y el funcionalismo académicos, regresando a la naturaleza y a la técnica tradicional, como si esta última fuera también una manifestación de la naturaleza. En este sentido, puede decirse que la arquitectura de Utzon está gobernada por dos principios interrelacionados: la lógica constructiva de la forma tectónica y la lógica sintética de la geometría."⁵⁶

⁵⁶ Kenneth Frampton, *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos Xix Y Xx*, trans. Amaya Bozal and Juan Calatrava (Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999).

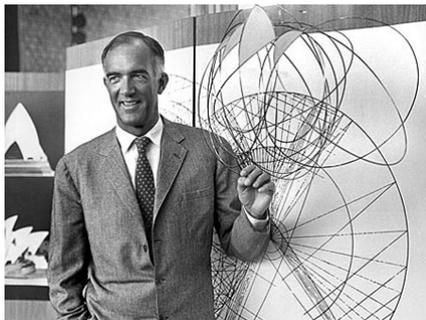


Fig. 42. Jørn Utzon y la descripción geométrica del trazado de las conchas de la Ópera de Sydney.

Esta lógica sintética de la geometría será la que lleve a Utzon a poder resolver el problema de la cubierta sobre la Ópera de Sydney. Por lo tanto, dicha lógica tectónica y lógica sintética de la geometría reforzó la característica de honestidad material e integridad constructiva tectónica-estereotómica que caracterizó la obra de Utzon.

*"la eterna cuestión de la arquitectura es crear una metamorfosis existencial plasmada (encarnada) que concrete y estructure al ser humano en el mundo. Las imágenes de la arquitectura reflejan y exteriorizan ideas e imágenes de la vida; la arquitectura materializa nuestras imágenes del ideal de vida. Los edificios y las ciudades nos permiten estructurar, comprender y recordar el informe fluir de la realidad y en última instancia, reconocer y recordar quienes somos."*⁵⁷

La ópera de Sydney es el resumen a todo el proceso de construcción mediante la lógica tectónico-estereotómica de Utzon. El podio estereotómico de la ópera es heredado de la arquitectura ancestral de las mesetas o pirámides precolombinas que se levantan sobre la tierra a la que pertenece, apareciendo las escalinatas monumentales. El efecto que se consigue, desde el punto de vista fenomenológico, es situar al sujeto en un nuevo plano de dominio sobre el entorno al que rodea, en el caso de las pirámides fue observar el horizonte sobre la espesa jungla y en el caso de la Ópera de Sydney era posicionarse en un nuevo lugar simbólico de protagonismo sobre el panorama de la bahía. Esta nueva posición de *belvedere* ponía en valor el acceso al vestíbulo/restaurante.

⁵⁷ Pallasmaa, Holl, and Pérez Gómez, "Questions of Perception: Phenomenology of Architecture."

Mientras, sobre el podio, la "cubierta aérea de la pagoda china" se apoya y parece levitar convirtiéndose en las conchas tectónicas que tanto trabajo de ajuste en su lógica y proceso constructivo hicieron pensar a Utzon junto con Ove Arup.

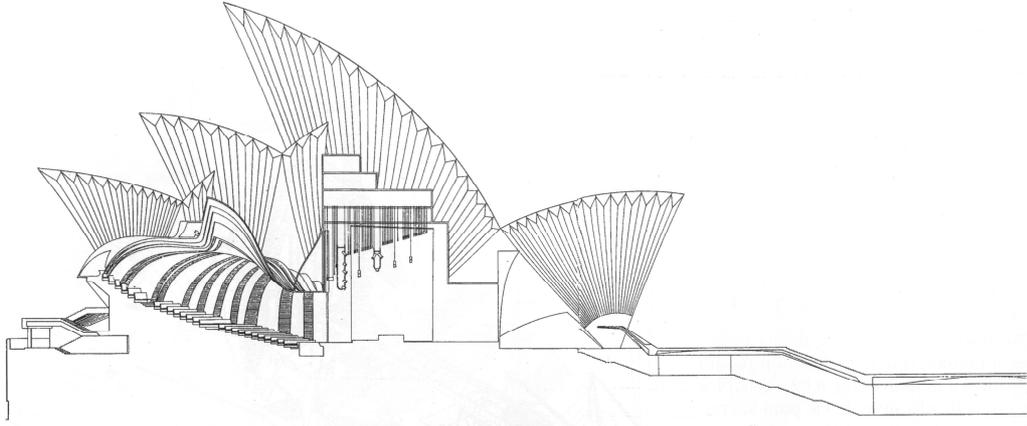


Fig. 43. Sección longitudinal de la Ópera de Sydney, 1957-1973. Jörn Utzon.

8.9. LA EXPERIENCIA FENOMENOLÓGICA TECTÓNICA-ESTEREOTÓMICA EN RELACIÓN A LA POSICIÓN DEL SUJETO

8.9.1. La liberación de la envolvente del espacio: de la cueva a la cabaña / desde la tierra al cielo

Se ha comentado que el movimiento corporal y la posición del sujeto son aspectos fenomenológicos muy importantes en la percepción espacial. Así, las características tectónicas-estereotómicas del espacio envuelto por la membrana-estructura se muestran diferentes según sea la posición del espacio en relación al plano del suelo. De esta forma, continuando la concepción de Saarinen desarrollada por de la Sota, en el que el cuerpo original perteneciente a la tierra tiende a separarse de la misma, se crea una tensión tierra-cielo que puede identificarse con lo estereotómico-TECTÓNICO respectivamente.

Así, mi interpretación de la evolución del espacio utilizando la técnica parte de la construcción estereotómica y tiende hacia la construcción tectónica, es decir, parte de la tierra y quiere liberarse subiendo hacia el cielo.

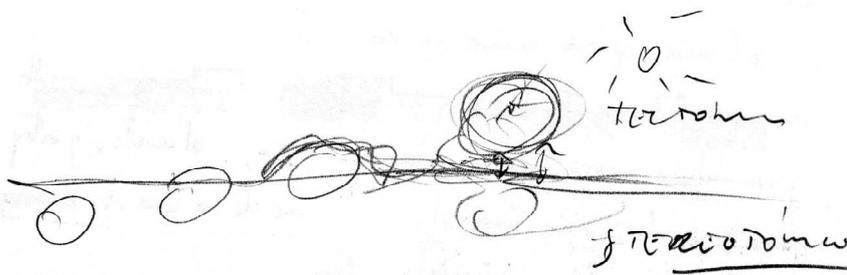


Fig. 44. Croquis del doctorando.

Esta liberación espacial, y en definitiva de los límites del espacio que queda envuelto por la membrana-estructura parte de la idea conceptual clásica del salto de la cueva a la cabaña, es decir, desde aquello que pertenece a lo natural-terrestre (que no ha producido el hombre) hasta la cabaña fabricada por el ser humano como un objeto técnico sobre la naturaleza (como ya se ha señalado en esta tesis); en concreto, la evolución de la tierra hacia el cielo. Pero en el croquis conceptual que a continuación se representa (Fig. 45), se plantea una vuelta del ser humano hacia la tierra como "útero materno", un descenso una vez liberado

de la envolvente estereotómica, a través de un espacio circunscrito por una membrana aérea-TECTÓNICA que levita y que baja para volver a colocarse sobre el plano masivo del terreno, quedando, por lo tanto, el espacio confinado entre una envolvente tectónica que nos protege de la luz sobre un plano de suelo (el earthwork semperiano) pisable y estereotómico. Esta última secuencia, expresada en el dibujo por las ubicaciones del sujeto 7a, 7b, 7c y 7d, son denominadas como posiciones liberadas tectónicas, ya que siempre la envolvente superior del espacio pasa a ser una estructura libre de juntas ensambladas con una predominancia del trabajo a tracción.

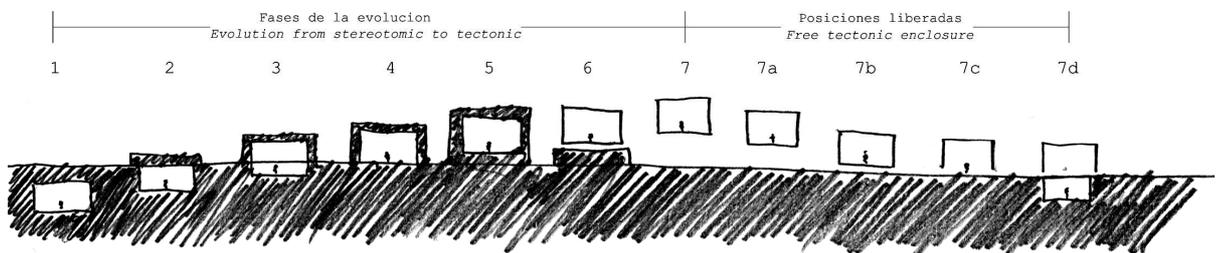


Fig. 45. Dibujo del doctorando explicando las fases de evolución desde lo estereotómico a lo tectónico y las posiciones liberadas tectónicas.

Para la comprensión de este análisis de la envolvente del espacio, la mejor representación posible es mediante la sección. De esta manera, entiendo a la sección como la herramienta que nos delata la relación de verticalidad (gravedad) frente a la horizontal (horizonte), manifestándose continuamente este "tour de force" o lucha permanente de la arquitectura contra la fuerza G de la gravedad. Así, si entendemos al espacio arquitectónico mediante este tipo de corte vertical, la arquitectura quedará definida por una "envolvente" que abarcará, en definitiva, al espacio.

Del croquis conceptual de la evolución del espacio de la tierra al cielo (Fig. 45), he realizado una clasificación, partiendo de la planteada por Norberg-Shulz (dentro "under", sobre "on" y encima "above"), pero aplicando en este caso los conceptos tectónicos-estereotómicos (Fig. 46). Entonces, se nos presentan las distintas variables tectónicas-estereotómicas de la envolvente del espacio que pueden manifestarse bajo el nivel del terreno, sobre el suelo o encima del mismo (separado). Además, se ha tratado de ejemplificar con distintas arquitecturas construidas para poder comprender mejor dicha agrupación.

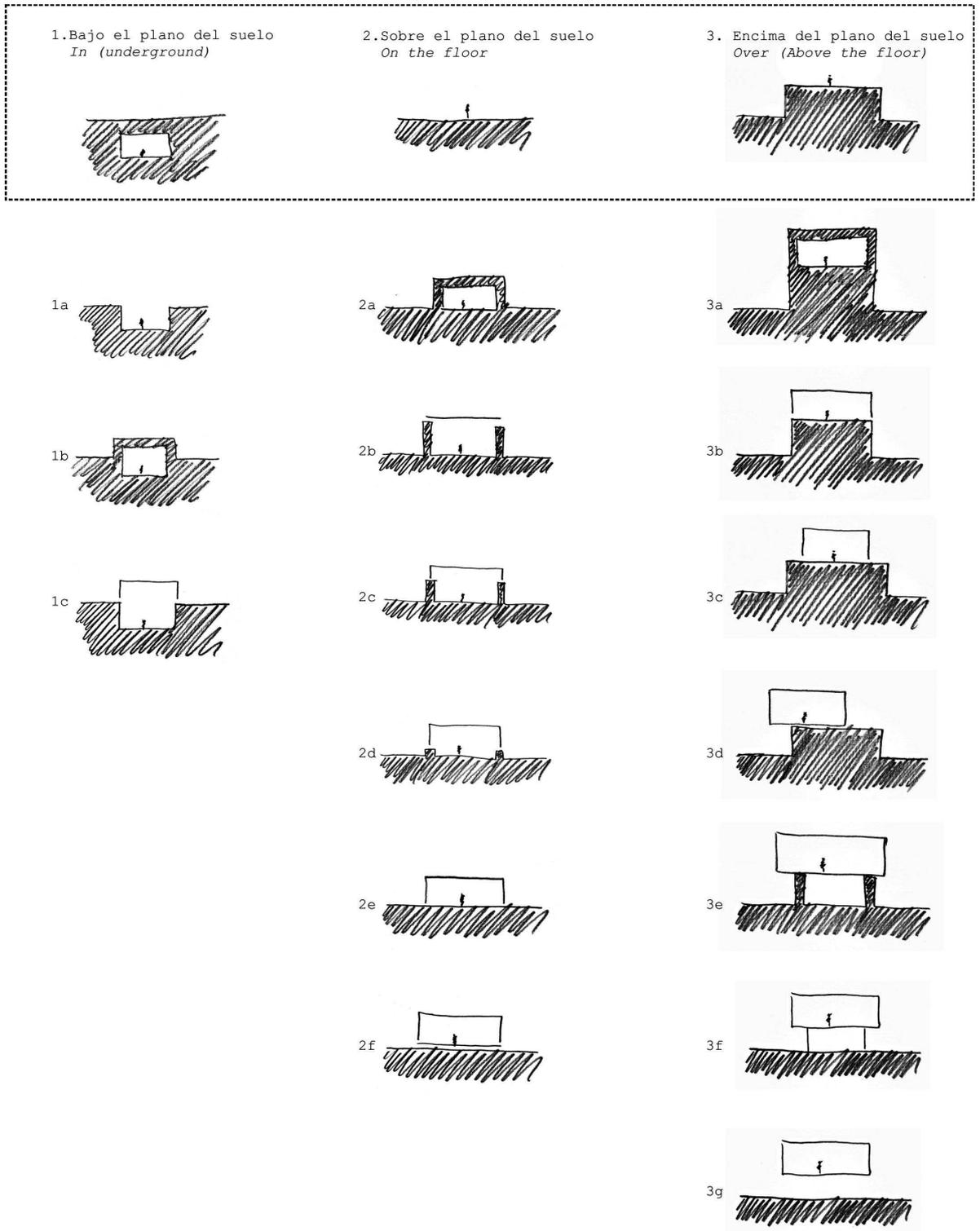


Fig. 46. Dibujo del doctorando desarrollando las situaciones constructivas estereotómicas-TECTÓNICAS en cada una de las tres posiciones del espacio.

8.9.2. Posición 1: dentro/bajo (in/under) el plano del suelo

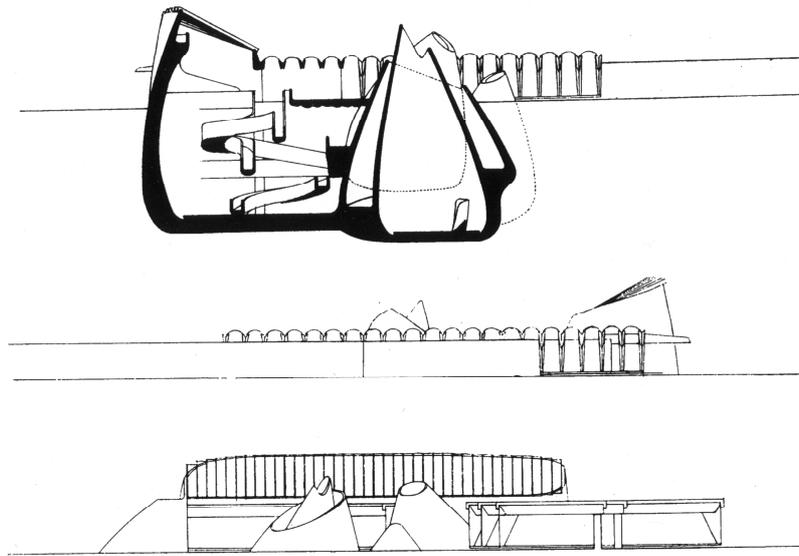


Fig. 47. Museo Silkeborg. Dinamarca. 1963, Jørn Utzon.

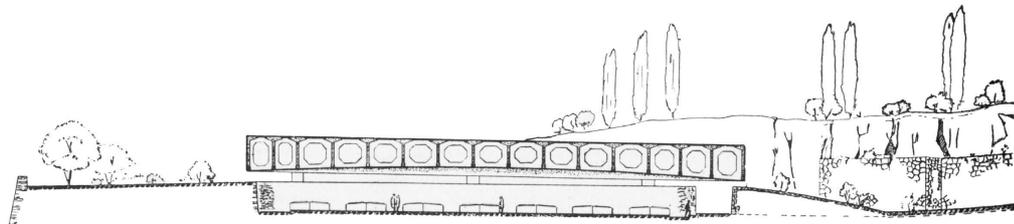
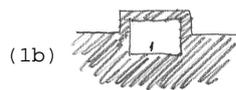
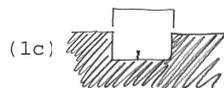


Fig. 48. La fosa Ardeatina, Roma, 1949, de Nello Aprile, Cino Calcaprina, Aldo Cardelli, Mario Fiorentino, Giuseppe Perugini.



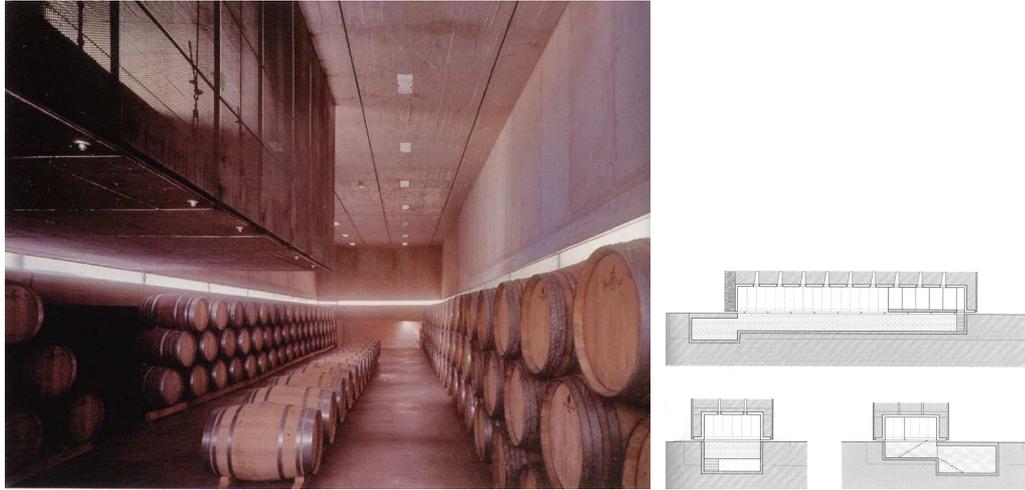


Fig. 49. Bodega de crianza en La Mancha, 2003, Bernalte-León y Asociados.

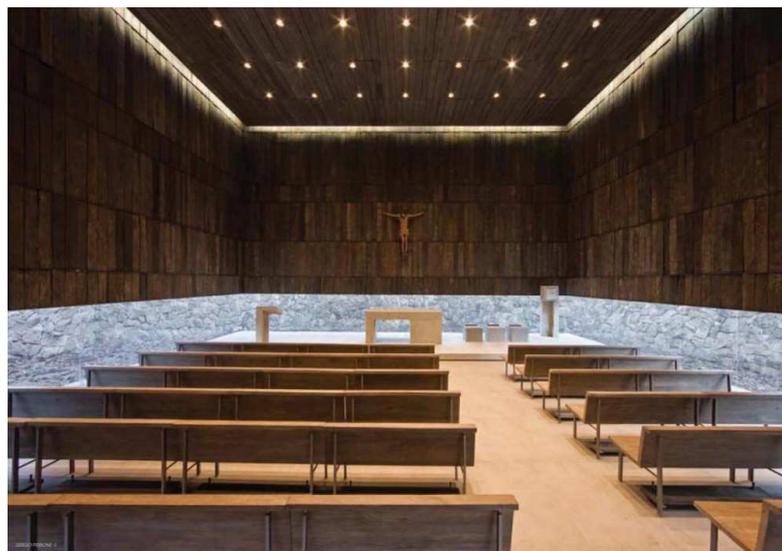
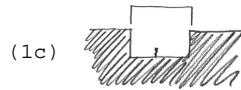
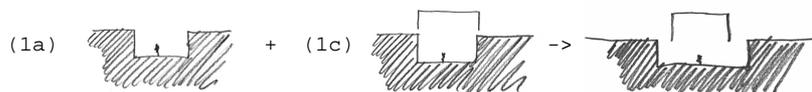


Fig. 50. Capilla del Retiro (Medellín, 2010). Cristian Undurraga.



8.9.3. Posición 2: sobre (on) el plano del suelo

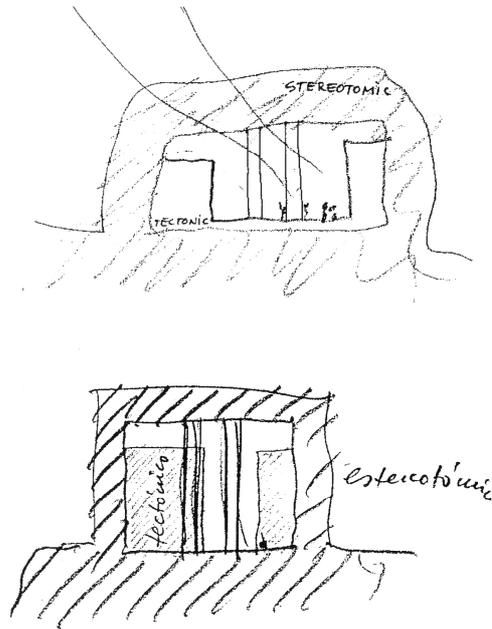


Fig. 51. Sede de CajaGranada, Granada, 2001. Alberto Campo Baeza.

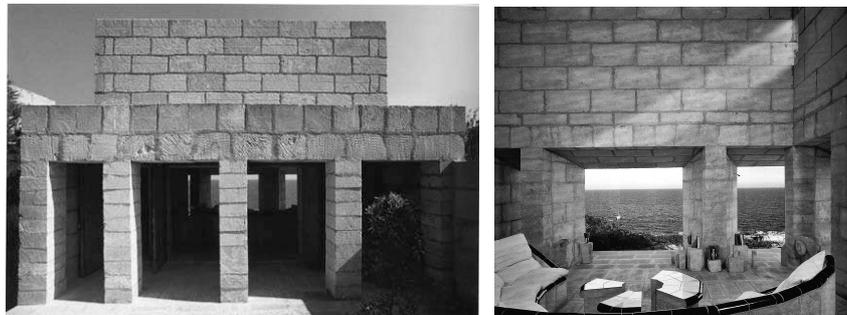
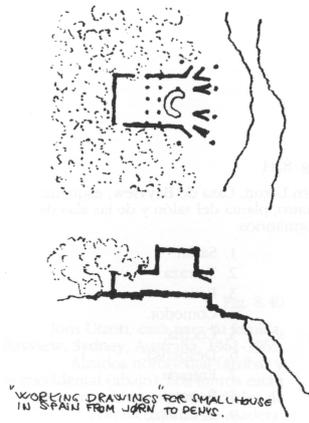


Fig. 52. Casa de Porto Petro, Mallorca, 1974. Jörn Utzon.



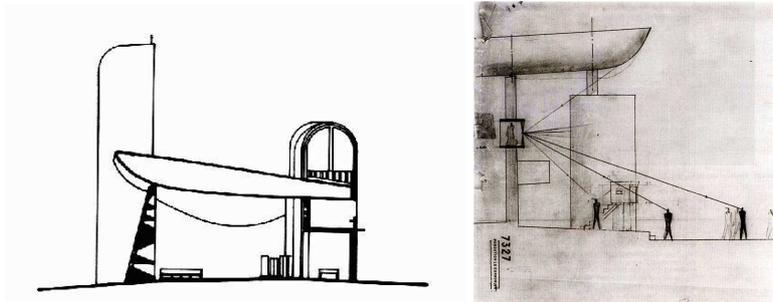


Fig. 53. Notre Dame du Haut, Ronchamp, 1954, Le Corbusier.

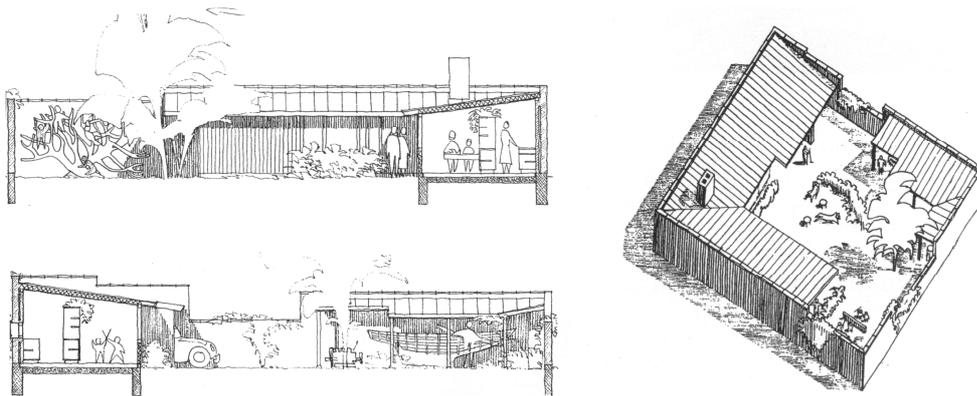
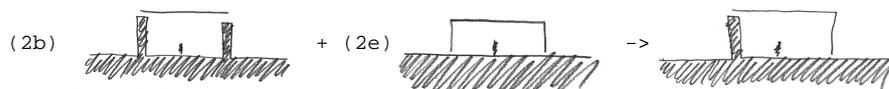


Fig. 54. Prototipos de la casa meridional sueca, 1950. Jörn Utzon.



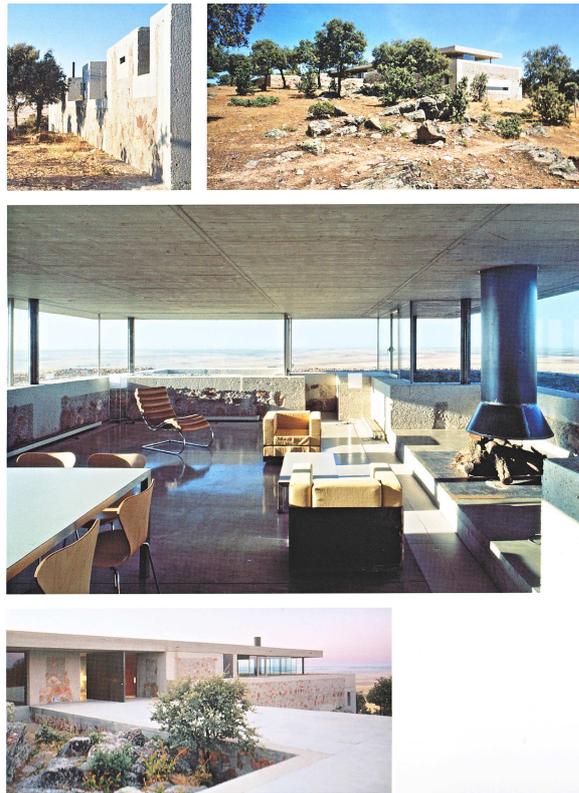


Fig. 55. Casa del horizonte, Salamanca, 2006. Jesús Aparicio Guisado.

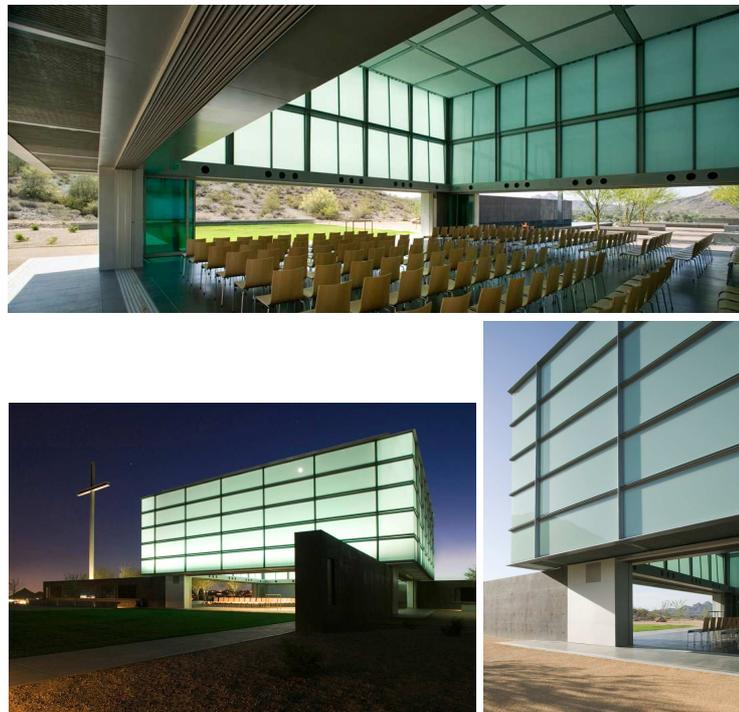


Fig. 56. The Prayer Chapel, Phoenix, Arizona, 2009, debartolo architects.



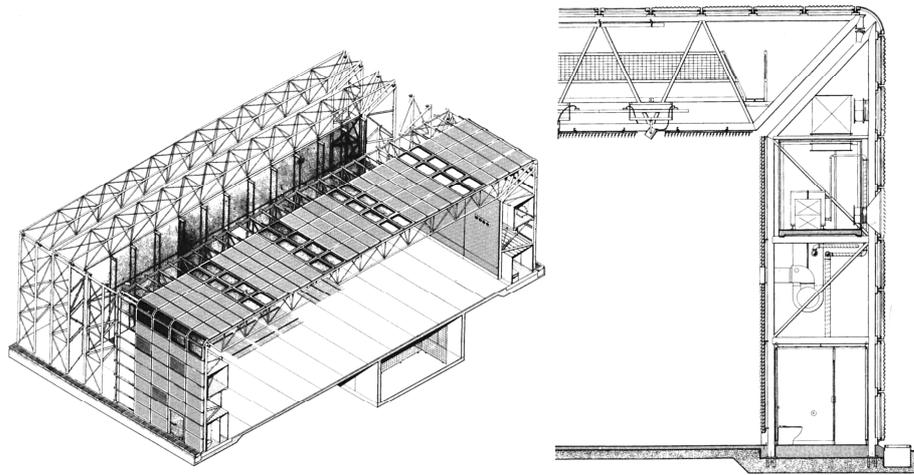


Fig. 57. Sainsbury Centre, Norwich, 1978. Norman Foster.

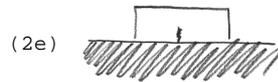


Fig. 58. Serpentine Gallery Pavilion, Londres, 2005, Álvaro Siza, Eduardo Souto de Moura y Cecil Balmond.

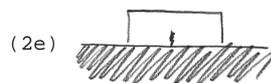




Fig. 59. The Glass House, New Canaan, Connecticut, 1949, Philip Johnson.

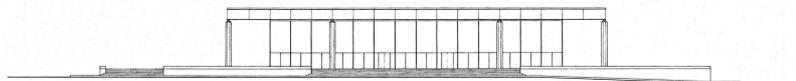
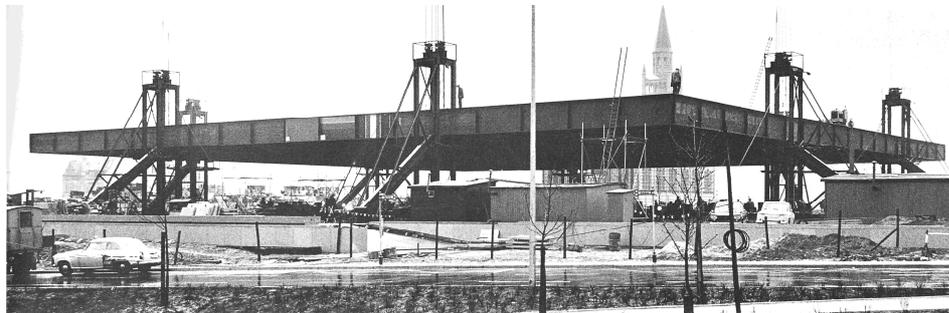
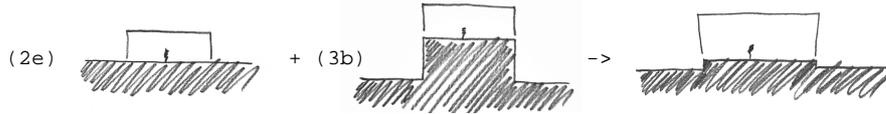


Fig. 60. New National Gallery, Berlin, Mies van der Rohe.

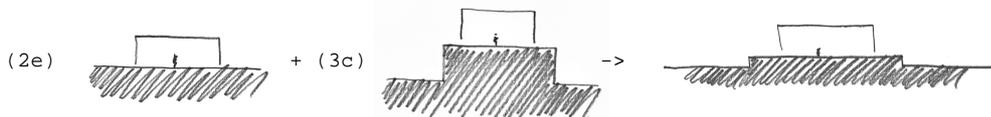




Fig. 61. Museo Universitario de la Universidad de Alicante. Alfredo Payá, 1999.

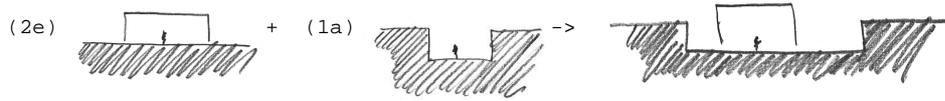
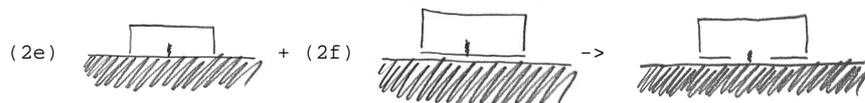


Fig. 62. House in Matsumoto, Japón, 2004, de Hideyuki Nakayama.



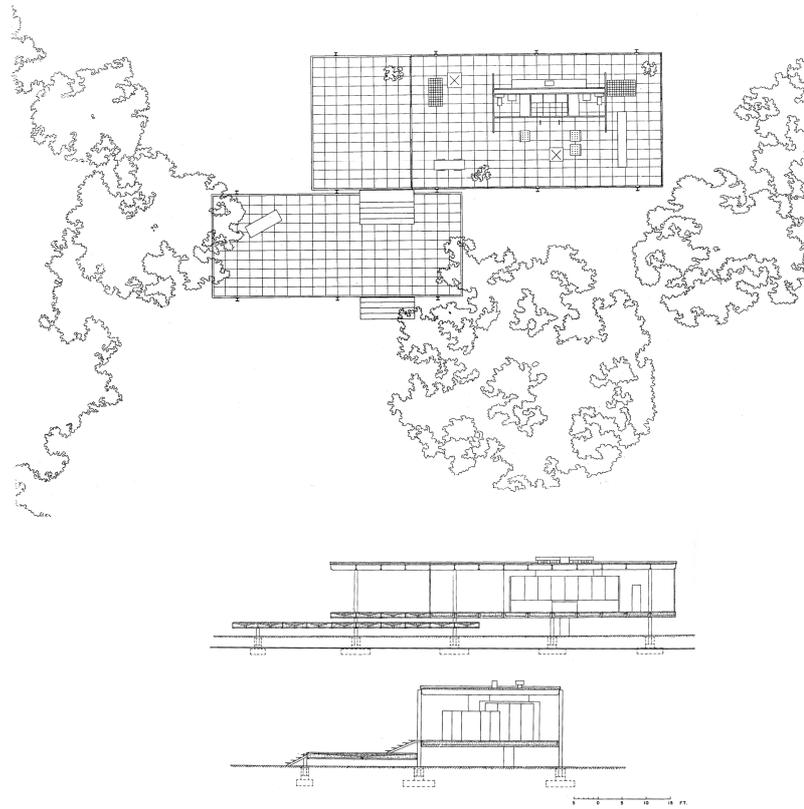
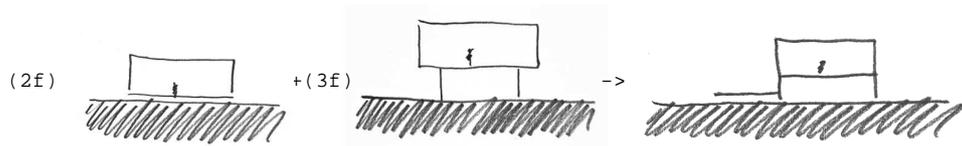


Fig. 63. Casa Farnsworth, Illinois, 1945-50. Mies van der Rohe.



8.9.4. Posición 3: encima (above) del plano del suelo



Fig. 64. Museo Memoria de Andalucía, Granada, 2009. Alberto Campo Baeza.

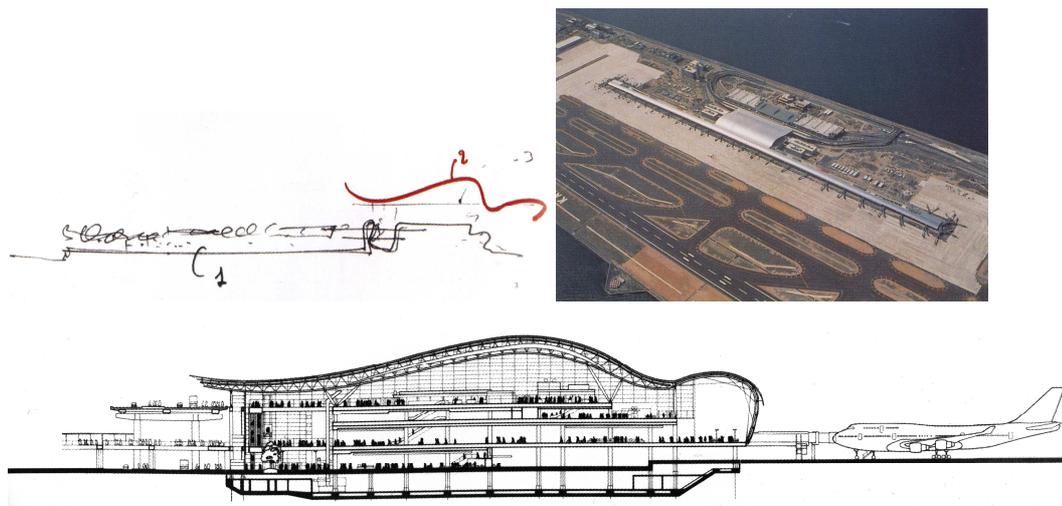
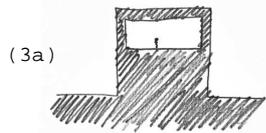
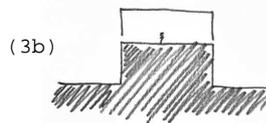


Fig. 65. Aeropuerto de Osaka, Japón, 1988-1994. Renzo Piano.



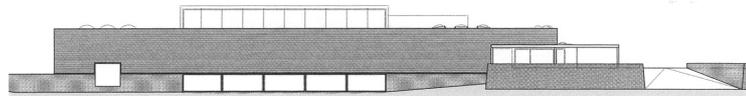


Fig. 66. Piscina cubierta y gimnasios, Villanueva de la Cañada, 2006. Churtichaga + Cuadra-Salcedo arquitectos.

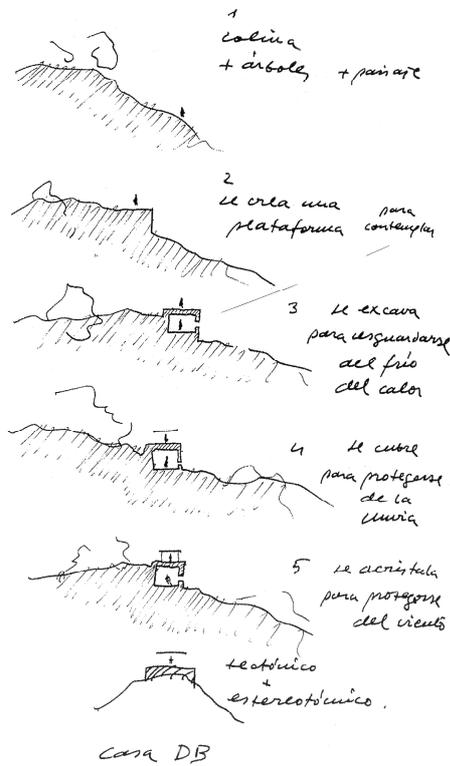
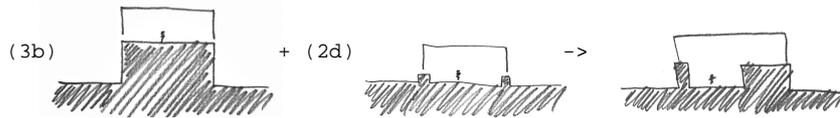
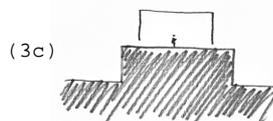


Fig. 67. Casa de Blas, Sevilla la Nueva, Madrid, 2000. Alberto Campo Baeza.



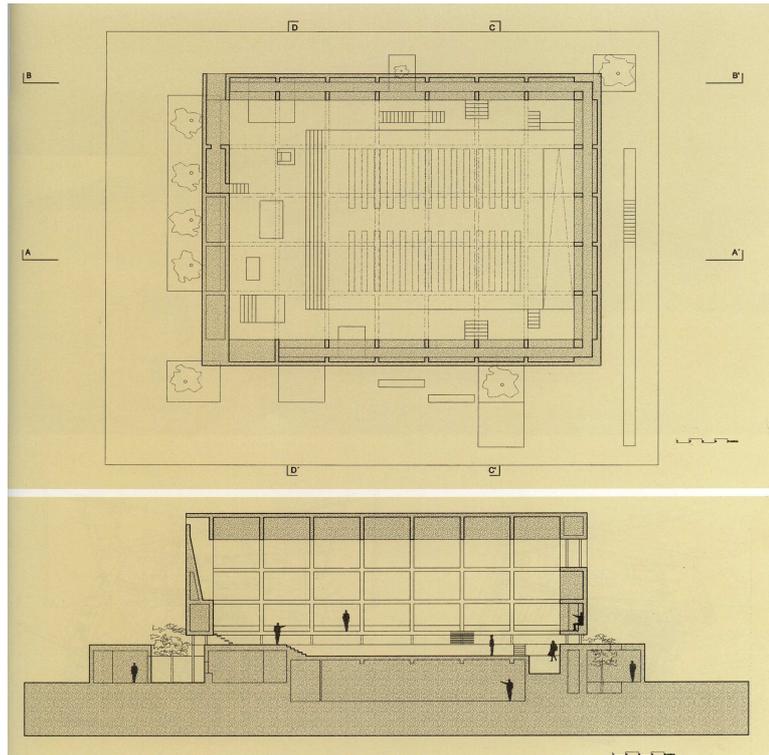


Fig. 68. Proyecto para una Iglesia, Andalucía, 1999-2000. Jesús Aparicio Guisado.

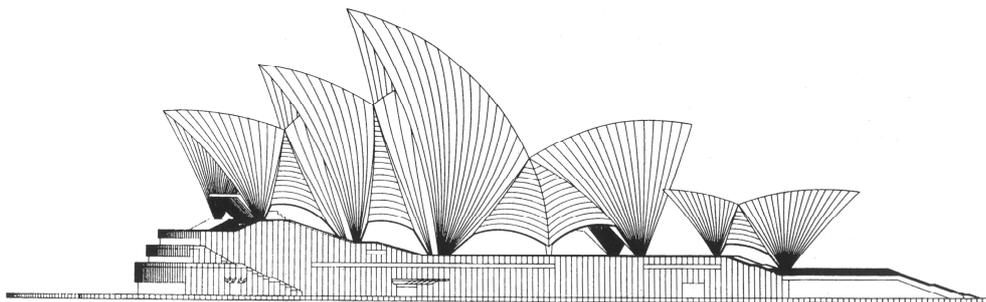
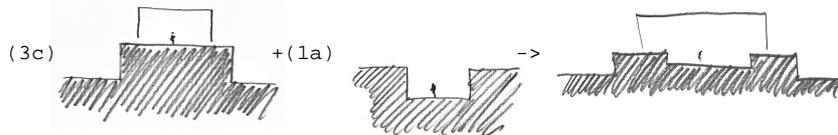
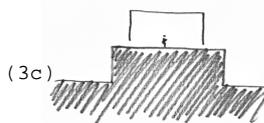


Fig. 69. Ópera de Sydney. Jörn Utzon.



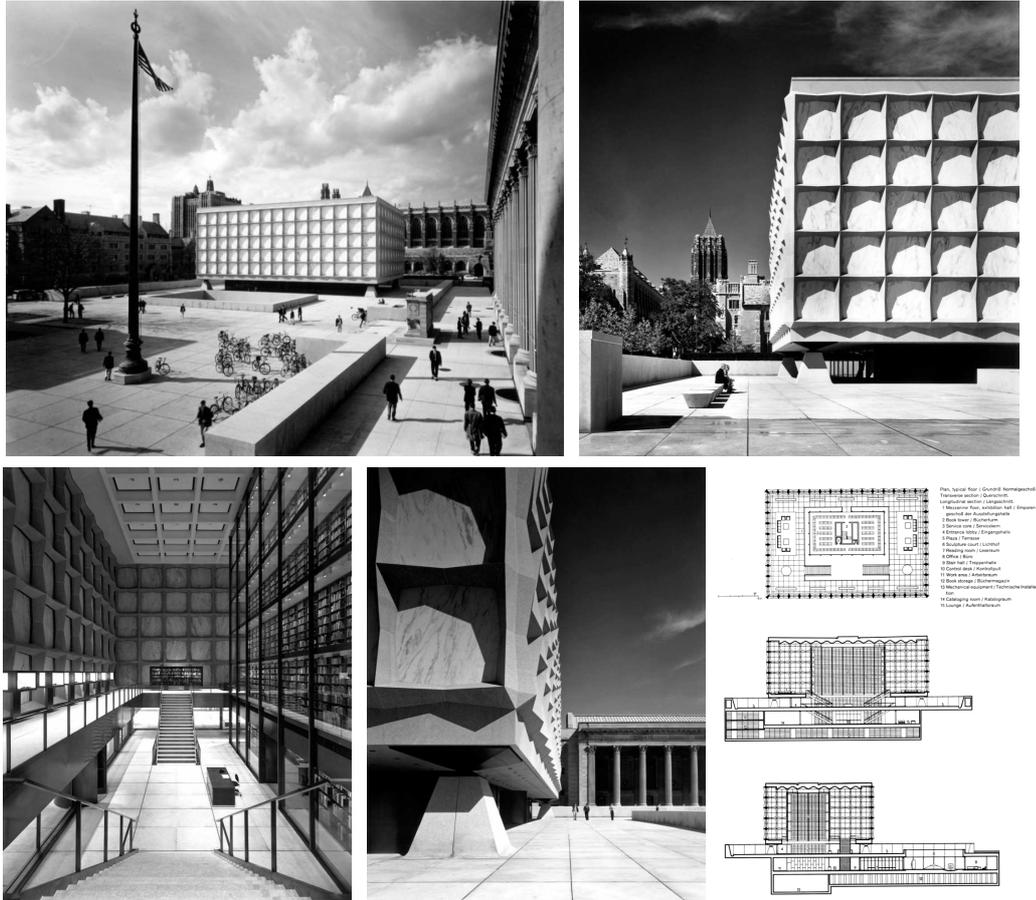


Fig. 70. Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Universidad de Yale, New Haven, 1963, de Gordon Bunshaft (SOM).

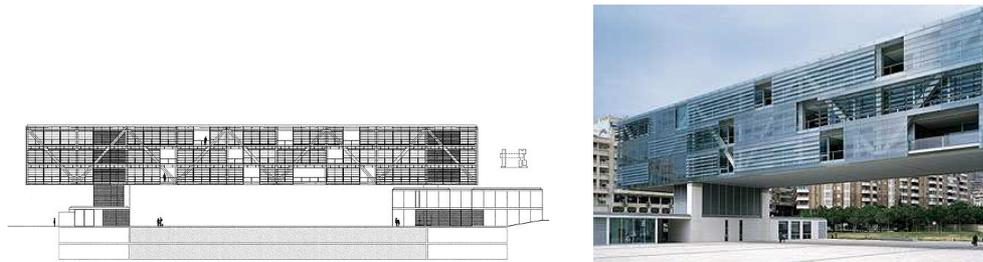
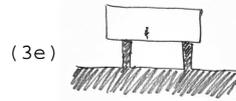
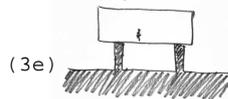


Fig. 71. Ayuntamiento de Benidorm, 2003, de José Luis Camarasa, Rafael Landete, Juan Añón, Rafael Martínez, Gemma Martí, Ramón Calvo.



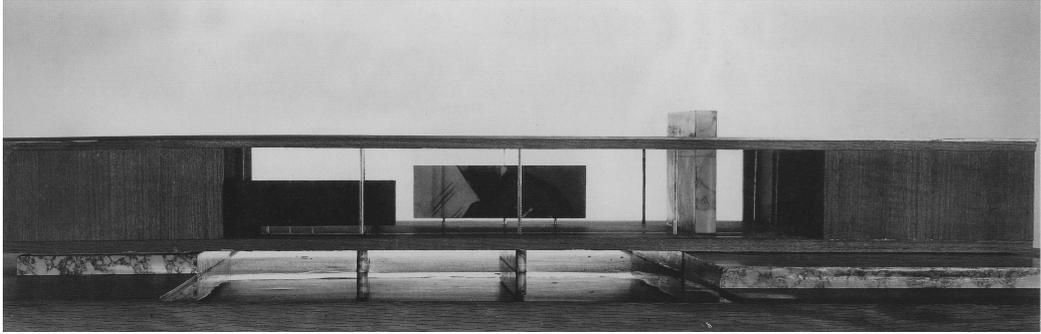
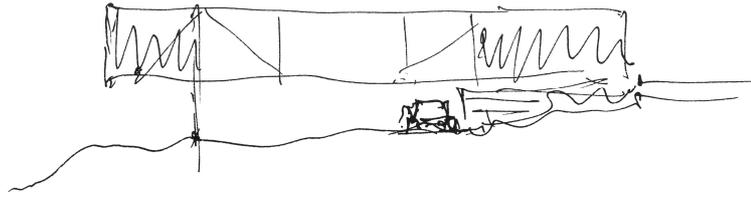


Fig. 72. Casa Resor, Jackson Hole, Wyoming, 1938. Mies van der Rohe.

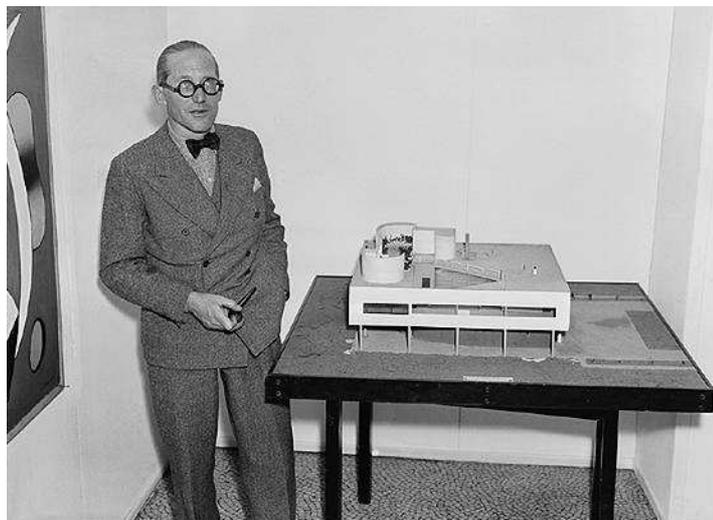
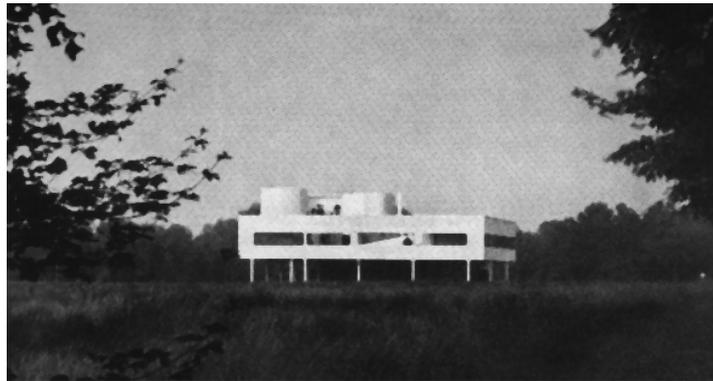
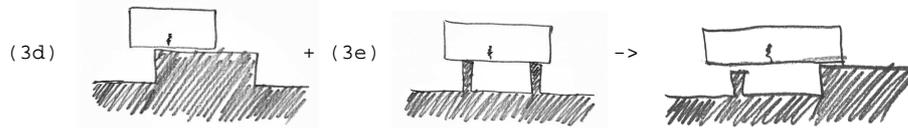
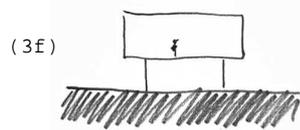


Fig. 73. Villa Savoy, Poissy, 1929, Le Corbusier.



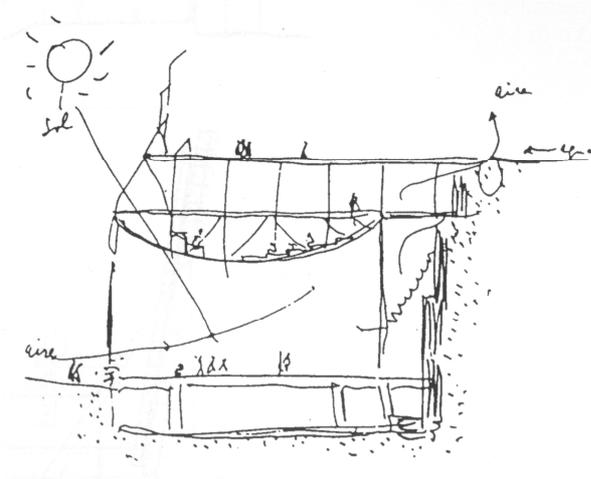


Fig. 74. Gimnasio del Colegio Maravillas, Madrid, 1962. Alejandro de la Sota.

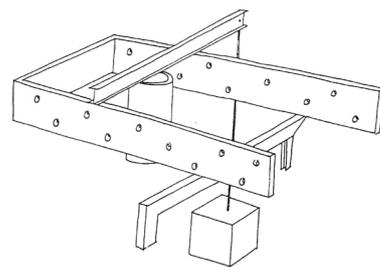
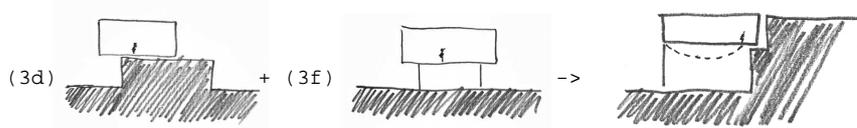
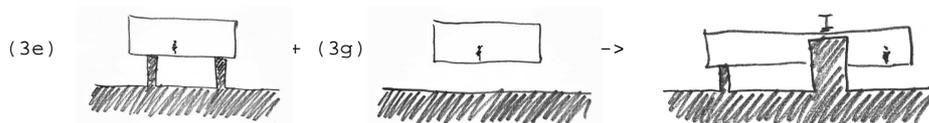


Fig. 75. Maison à Bordeaux, Francia, 1998, Rem Koolhaas.



9. CONCLUSIONS: TOWARDS A TECTONIC ETHIC

The aim is to study in greater depth the experience of the subject (phenomenology) concerning a tectonic logic as the essence of an architectural space. For this, it is necessary for a relationship to exist between the perception of a space (emotion) and its conception (the idea as intellectual aspect): a tectonic and phenomenological experience by the subject, in other words, a phenomenological tectonic.

Consequently, a phenomenological tectonic begins with the subject's experience in relation to the earth and the sky, and the tectonic and stereotomic ability that they possess for building that space.

At the present time, the economic crisis is causing us to reconsider certain construction criteria in the strictest sense of reason, which is always bound together with emotion and the intellectual. Tectonic logic has acquired ever more meaning and value following several years of the ostentatious techniques devoid of ethics which have characterised the international panorama of architecture.

Beginning with the conditions of the tectonic and the stereotomic, the identity of which lies in how they are joined (the joint as its essence), two starting points can be identified:

- a) The idea (the intellectual aspect) of the relationship of the union between the earth and the sky developed through two concepts: the tectonic dematerialisation towards the sky, and the tectonic and stereotomic dual separation.
- b) The phenomenological experience of the individual (emotional aspect) in relation to their position between the earth and the sky.

As such a connection must exist between the tectonic aspects (the intellectual aspects supported by rationality and ethics) which invite the subject to have a phenomenological experience in a space (emotion). The tectonic aspects must be

intellectually based on reason and ethics, as without these we cannot enjoy the phenomenological experience. We would instead have a false sensation which would not perceive the reality of the space in its essence. To avoid such false sensations, we ought to seek a much more authentic experience of built objects in our day-to-day human lives through a more ontological approach which pursues an architecture of place, of materials, of craftsmanship, of innovative tradition¹; all in all, a local architecture. For example, this is the case in the architecture by Zumthor, in which place and form are completely intertwined in a perfect balance between local culture and globalisation. The ethic in Zumthor's architecture is that the construction process is rational and is connected to a particular place, which means that to a certain extent it renounces the globalisation of construction, in the sense of the importing of materials from all over the world, or the use of universal, generalised, standardised construction techniques, which lead to a more aseptic, and consequently less regionalist, architecture. This lack of consideration for what is near at hand, and for the use of local resources, not only in terms of materials but also as regards local techniques and tradition, results in a less ethical architecture from the perspective of tectonic logic, as well as being more expensive on account of certain materials having to be imported. This is the case in the recent architectural work of Herzog & de Meuron, who, lured by the appeal of creating attractive sculptural buildings or spectacular architectural artefacts on various scales and for different purposes, tend more towards the superficiality of radical aesthetics, constantly attempting to blur the boundaries between architecture and art. The precision, sobriety and exhaustive detail in the finish of the architectural object, which is virtually treated as an item of luxury and ingenuity, means that it is perceived by the subject as being a non-integral part of the urban landscape, very often lacking in local references for the individual, and it cannot begin to be perceived phenomenologically in the context of an exchange between the individual and the city itself (their environment). In contrast to this rather superficial practice by H&M is the more profound

¹ The same outlook can be said to include the Jasper Morrison's passion for all things common within the trend in design that seeks the "supernormal", that is to say, an evolution towards the streamlining of simple forms that are perceived as natural and balanced, starting out from type patterns which are developed to obtain something slightly different and a little better than was there before.

practice by Zumthor, who endeavours to revive local meanings in order to escape from the deep cultural disorientation that other styles of architecture can engender. Perhaps, with this type of architecture which is more regionalist, as Frampton would call it, or situationist, as Pallasmaa would call it, it is possible to produce a greater aspect of isolation, which may lead to certain nostalgic or archaic notions. To avoid this decline, Zumthor innovates on tradition and incorporates local materials such as wood or stone, achieving an interpretation which, rather than being traditional, is adapted to abstract formal articulation, based on the texture, surface, vibration and other qualities of these most fundamental materials. What is more, he always endeavours to use local abilities and expertise which are linked to the place of production, putting him in even greater harmony with an architectural ethic and a regionalist architectural reason.

Another of the most important questions is: what is the phenomenological impact on the individual within a space composed of logical tectonic elements? In this case two courses can be distinguished:

- The technical discourse which links the spatial form and the enclosure, part of which is the relationship between the membrane and the structure.

- The intellectual idea of the concept of space linked to the use of materials.

Where these two paths converge is in the rational or irrational use of materials linked to the idea and to the relationship between the membrane and the structure (spatial form and enclosure). For example, we could focus on the Art Museum in Nakagama designed by Kengo Kuma, in which the first sensation is that of an ephemeral and delicate construction built of wood profiles with rectangular cross-sections, and with a huge sloping gabled roof which shelters beneath a great span of shade all of the internal functions of the museum housed within. Once inside, the building reveals the use of metal in its structure and its internal glass partitions, the reflections of which chase away the comfortable feeling that wood as a material can imbue. Clearly the

resolution of this space, from the perspective of climate and comfort, represents a hard confrontation which, as a *tour de force* (desire for the idea -the intellectual aspect- in contrast to reality) struggles against a perception which is impossible to achieve due to the demands and necessities of use. This is apparent not only from the vertical walls but also from the roof, which creates the impression of a hut as it is doubly clad in wood on both its outer and inner surfaces, the problem of waterproofing being solved by using glass panel sections in the middle of both ends of the roof.

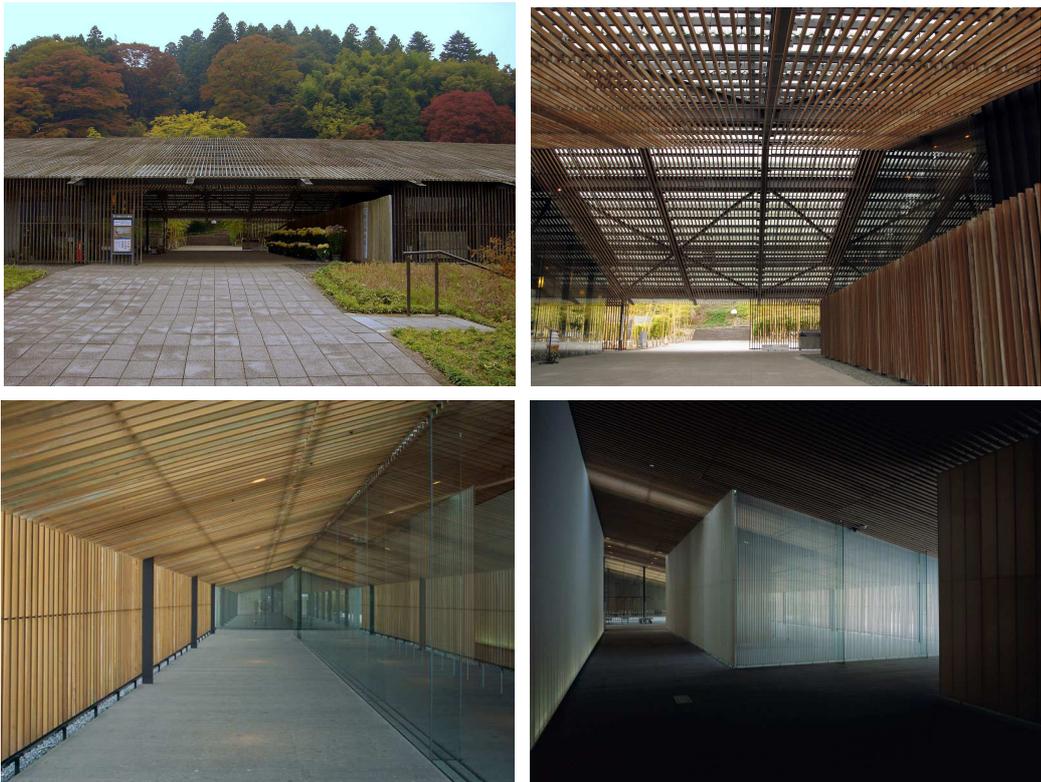


Fig. 1-4. Makagawa-machi Bato Hiroshige Museum of Art by kengo Kuma (2000).

If we compare this project to that of the Therme Vals by Zumthor, the greatest difference is that its phenomenological perception goes hand in hand with constructive logic, due to the fact that its walls, built of stacked stone, seem to contain an aesthetic and functional massiveness, providing a parallel language between the use of material and the membrane-structure relationship, which moves us towards the rational use of material. In the case of the Art Museum by Kuma, the dissociation between the use of material and its membrane-structure relationship creates an irrational effect which alters the phenomenological perception by the individual, leading to a distance which is felt

regarding the work, in contrast to the tactile character of the Therme Vals and the Stone Museum architectural space.

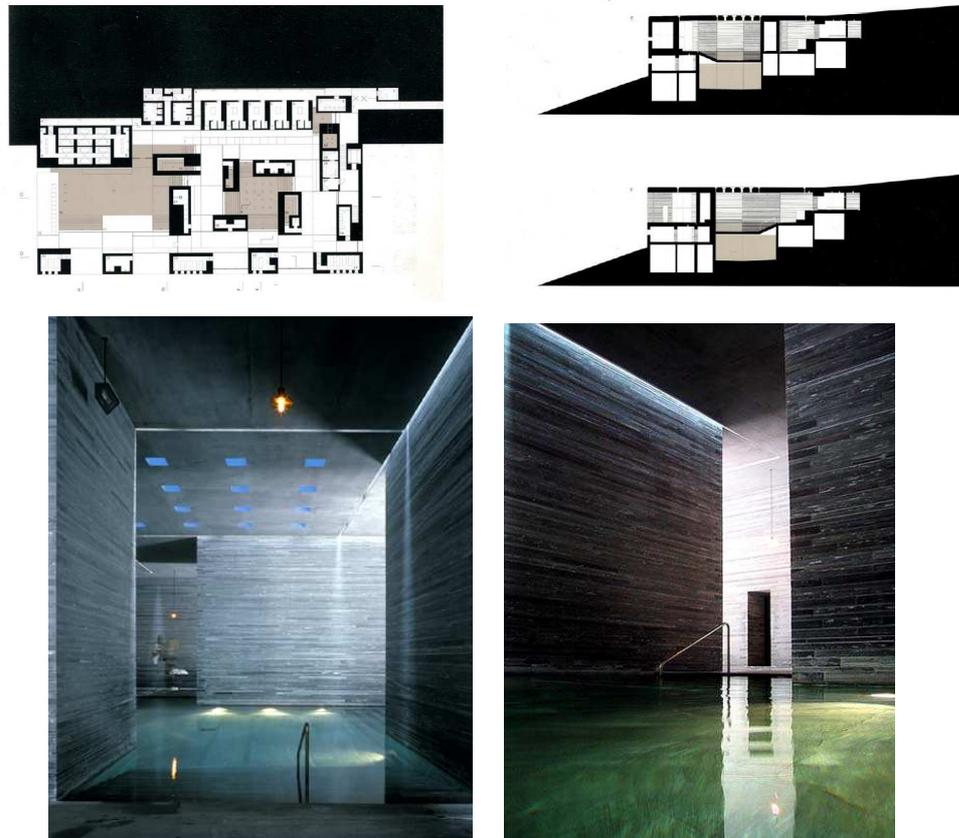


Fig. 5-8. Therme Vals, Peter Zumthor (1998).



Fig. 9-13. Stone Museum en Batomauchi by Kengo Kuma (2000).

A further aspect of the rational use of material lies in how it is worked and produced. In the case of JR Hoshakuji station square by Kuma, the technique used for cutting the stone digitally and the high cost of this result in a distancing from the rational and logical form of the stone (which is stacked under compression) as well as from stone craft. The use of this type of new stacked stonework leads to a sort of stereotomic deception, not only in the supports between the ashlars, which have metal strips fitted for support, but also in the corners and the eaves, where the sham of the image once again prevails over the perception of a tectonic and stereotomic logic of the membrane and structure. In this example, the dissociation between the structure and membrane is clear on analysis, but blurred in terms of perception. As a result, this element of tactile deception, of what is near at hand, of the material, gives rise to a certain emotional instability in the individual, who remains only in the superficial and the sensational, unable to gain access to any deeper perceptive emotion. Based on this sensationalist character, and supported by the aspect of the costly production of materials, this architecture suffers from a lack of ethics, which ought to predominate in any architectural construction.

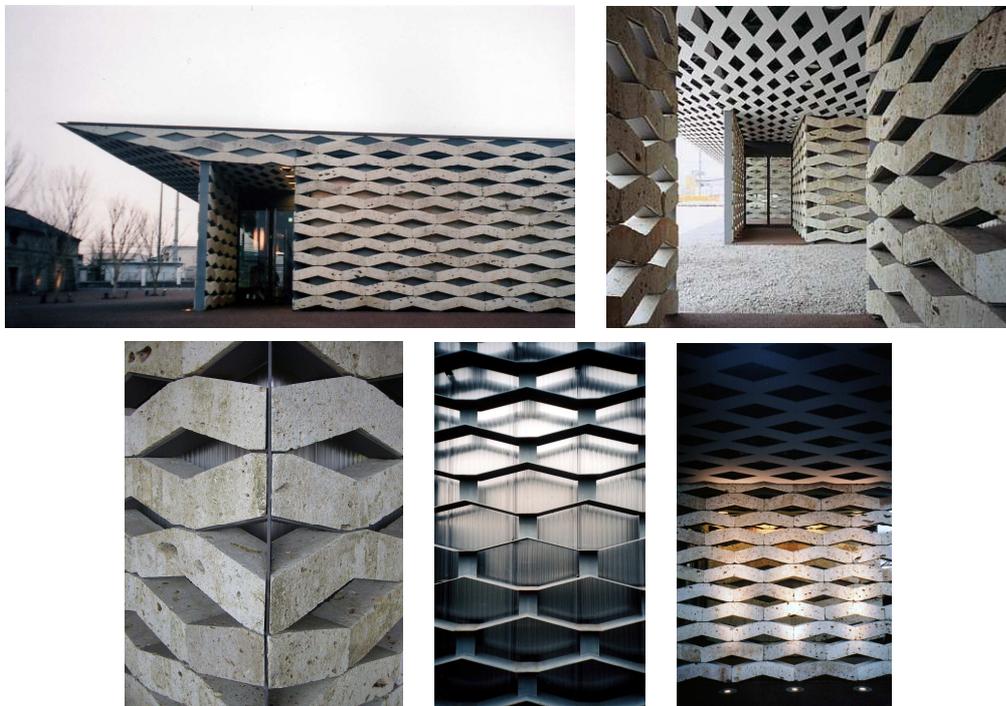


Fig. 14-18. JR Hoshakuji station square by Kengo Kuma (2008).

As a result of the above, it is interesting to pose the question: what is the relationship between rationality, ethics and emotion in terms of perception by the subject?

Perhaps this question can be explored more thoroughly by analysing various examples. When H&M built the Beijing Stadium for the 2008 Olympics, or when Rem Koolhaas built the CCTV Headquarters, in both cases, emotional perception is intense on account of the spatial tension which is created, in the first example by the enclosure, and in the second by the span of the construction. However both of these examples involved an irrational use of material. Steel has been used in a way which is far from ethical. This is the case because the shape of the profiles used (which are very thick and have a square cross-section) has wasted many tons of steel through prioritising the effect linked to the idea, which has led to an excessive oversizing of the structural sections. As such, this use of steel sections is unethical because this material requires a great amount of technical work and economic input in its manufacture, due to which it could be said that it has been used like a toy in an irrational and unethical way. However this example of uniformity in the production of posts of identical cross-section is not comparable to that of the Crystal Palace (see Chapter 5.4. The Crystal Palace and the new beginning). In that instance there was a hollow post, which did not always bear the same load depending on its position in the building, however it was decided to standardise the section throughout the building because of the significant savings that this involved in the processes of manufacturing, handling and assembling the metallic frame.

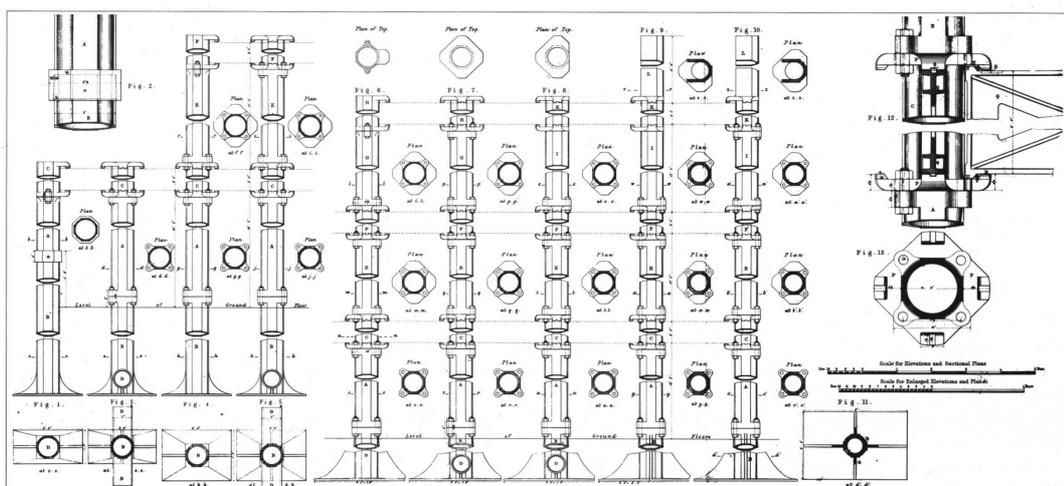


Fig. 19. Detail Plan of the posts with identical cross-section and all the solutions in the joints.

The Crystal Palace, London, 1851, by Joseph Paxton.

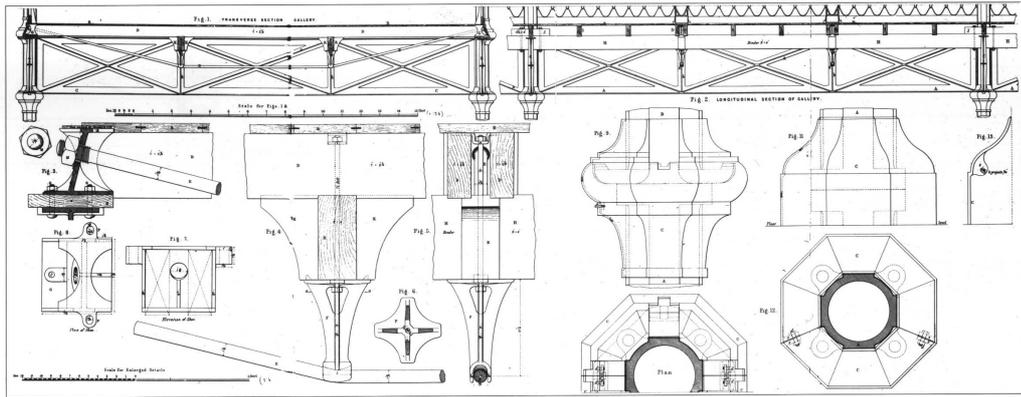
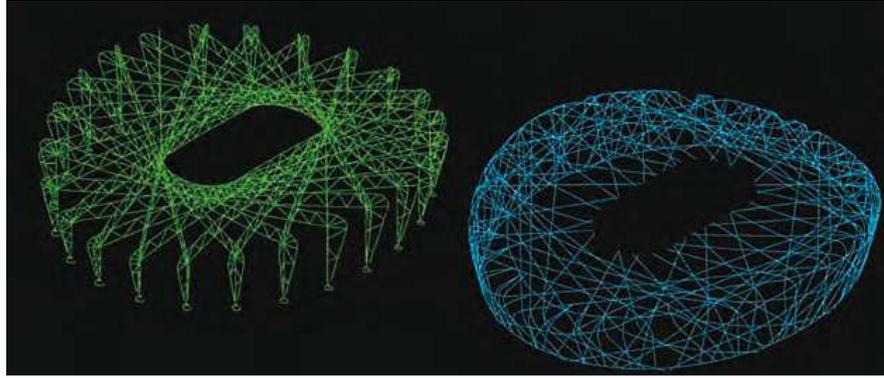


Fig. 20. Detail Plan of the posts and the cast iron girders under roof.
The Crystal Palace, London, 1851, by Joseph Paxton.

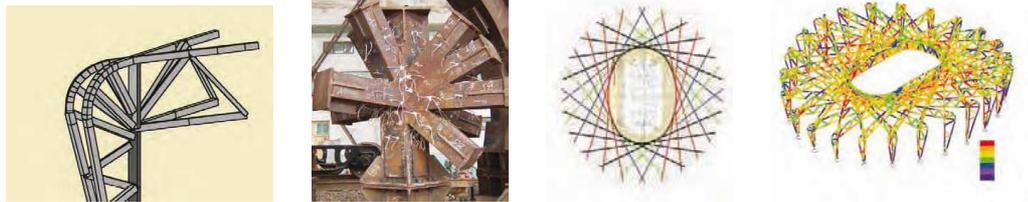
This was not the case in the Beijing Stadium, as the uniform square cross-section of the structural profiles used throughout the structure in all parts of the building (vertical, horizontal, bending and twisted) led to a waste of material which is impossible to defend, either on account of any speed in their manufacture (given that their construction is non-standard and each individual component requires a different bending of the beam and a unique configuration of the joints and nodes), nor for their handling and erection (which is complicated due to their weight and the irregular distribution of the rigid nodes). Added to this is the excess weight, as the uniformity of the square cross-section profiles requires a surplus of material to be used, which often does not depend on the part of the building in which they are placed.



Fig. 21 y 22. Beijing Stadium by Herzog y de Meuron.



The main steel trusses supporting the roof, the façade and the retractable section (left). Secondary members as bracing elements to the main trusses, forming the Stadium geometry (right)²



The main steel structure³



Fig. 23-30. Details Beijing Stadium by Herzog y de Meuron.

In a different perspective of the Beijing Stadium (with the collaboration of the artist Ai Weiwei), nobody can contest its rich beauty which resembles the interwoven image of a bird's nest, with its intertwining branches, as well as a bowl, with its undulating shape. However, this fanaticism for the conception of an idea taken to its extreme is at times difficult to achieve physically. It creates the paradox that if a bird's nest in the natural world is built with the greatest possible efficiency in terms of construction (efficiency is the relationship between strength and the weight of the structural element), for the stadium these good qualities become quite the opposite. The maximum efficiency of the nest is in harmony with

² Kylie Lam and Thomas Lam, "Original Roof Analysis Model and Results," *The Arup Journal* 1/2009 (2009): p.20.

³ *Ibid.*: pp. 20-21.

the scale of production, as is the bowl shape. On the other hand, for the stadium, perhaps this excessive weight in such high spans, along with the structurally needless dead weight (as opposed to the idea of the roof truss, which was invented to allow large spans with little weight) renders it even more lacking in ethics and even more irrational.



Fig. 31 and 32. The bowl shape⁴.

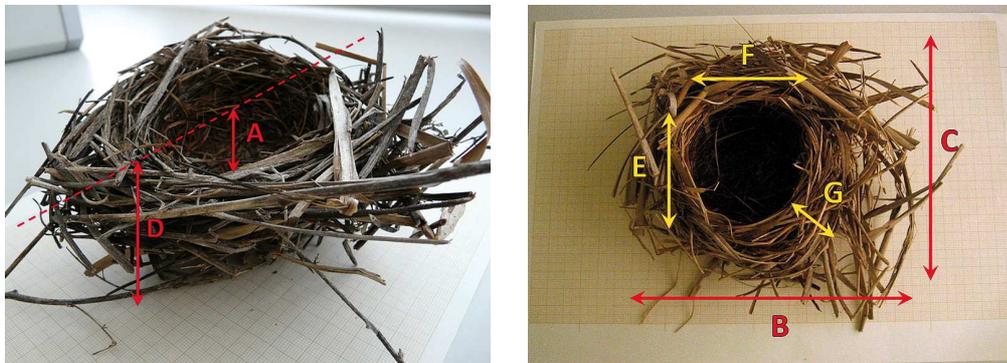


Fig. 33 and 34. Escribano Palustre Iberoriental nest⁵.

The aesthetic aspired to means that there is no notion of structural efficiency or of economic control. Previously, I questioned the type of square cross-section profile used, which might possibly have been chosen for its versatility in all positions, although it may also have been possible to use a double-T cross-section profile, but that did not guarantee the regularity of the image and the ideal functioning of all of the parts under torsion in sacrifice to the rest which were only subject to bending forces, tipping the balance towards a low tectonic efficiency, or in other words a poor relationship between the useful structural work carried out and the total overall work invested in construction.

⁴ Jacques Herzog and Pierre de Meuron, "National Stadium Beijing for the 2008 Olympic Games," *El Croquis* 2006, p. 350.

⁵ Pablo Vera et al., "Estructura Y Composición Del Nido Del Escribano Palustre Iberoriental Emberiza Schoeniclus Witherbyi," *Revista Catalana d'Ornitologia* 2009, p. 44.

When all of these aspects of low tectonic efficiency are analysed, perceptive emotion declines considerably a posteriori, giving rise to a sensation of unease in comparison to the initial strong visual emotion. For this reason, phenomenology cannot lie in the visual aspect alone, but must also be tactile, multi-sensory and finally analysed in terms of reason. As such, the overall sensory result is one of "deception", due to this illogical and irrational construction.

In this project the lack of local efficiency of the base structural element (the square cross-section profile) is evident (the local efficiency as the improvement of the structural sections favours the overall efficiency of the structure). In this sense, I am not championing an extreme structural optimisation of every element that would lead us to calculate every last post or beam in the structure as efficiently as possible; instead we should strive towards a balance between the use of material and its image and functional nature, so that the structure creates an ethical sensation overall. As such, we should not tend either towards the excessively structuralist in terms of the optimisation of the structure (Optimisation of the roof of Bacardi Headquarters in Cuba by Mies van der Rohe), nor towards aesthetics alone (Serpentine Gallery by Toyo Ito), but we ought to strive towards an intermediate point within ethics and reason.

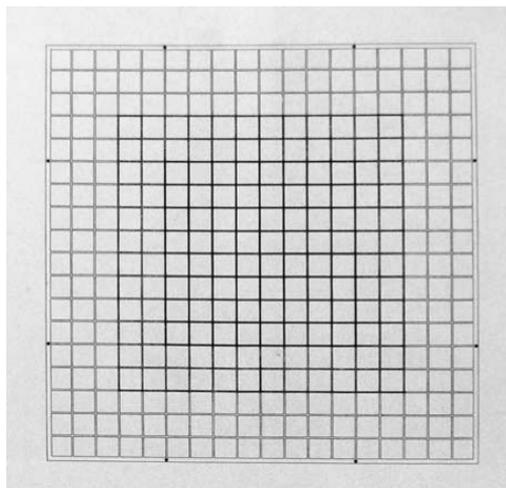


Fig. 35. Optimisation of the roof section (variable section) of Bacardi Headquarters in Cuba by Mies van der Rohe.

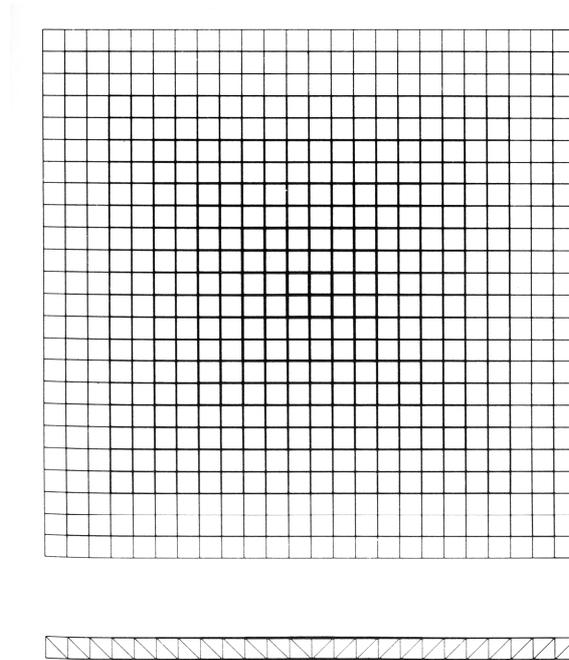


Fig. 36 Optimisation of the roof section (showing changing weight of structural members) of Convention Hall in Chicago by Mies van der Rohe.



Fig. 37. Aesthetic structure of Serpentine Gallery by Toyo Ito.

A similar example to the Beijing Stadium is the CCTV Tower by Koolhaas, which is characterised by the irrational use of steel and a poor economic ethic. Here, the relationship between the membrane and the structure is also the most interesting to analyse. The image obtained from the outside is that of a rhomboid grid which is distanced from the actual structural function of the almost orthogonal grid which basically supports the structure. Featuring the bracing structure on the outside takes its conception to the most absurd extreme by duplicating the supporting structure in the cladding, as nothing more than a non-

structural skin which is detached from, and akin to an “echo” of, the load-bearing structure⁶, which is separate and on the inside.

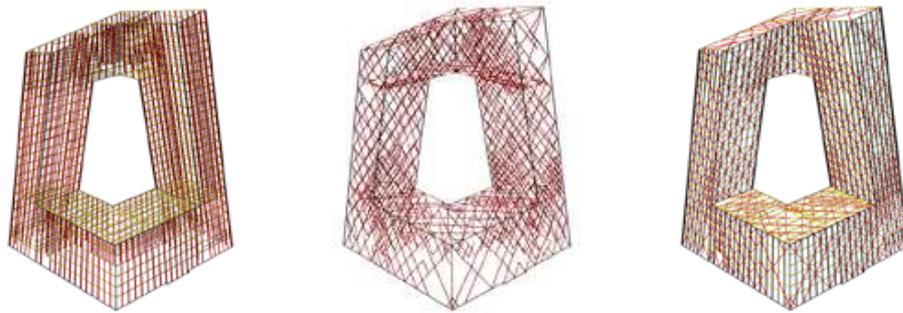


Fig. 38. CCTV Tower by Rem Koolhaas. Principles of the tube structure: regular grid of columns and edge beams + patterned diagonal bracing = braced tube system.

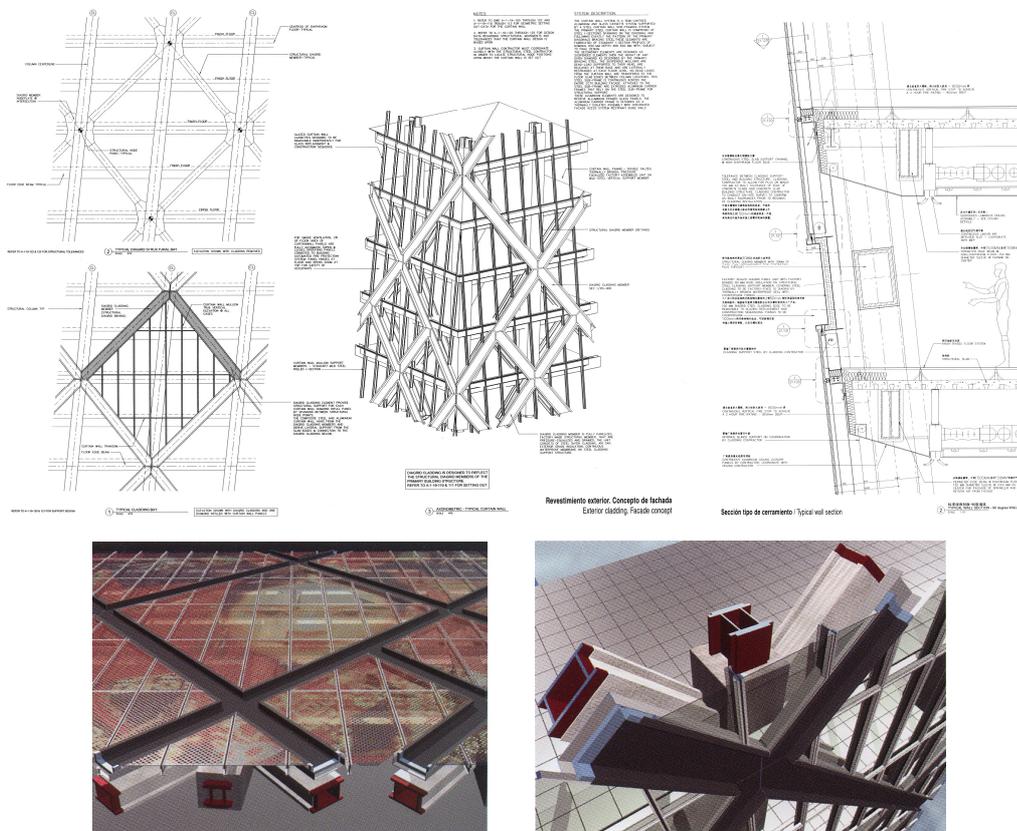


Fig. 39-42. CCTV Tower by Rem Koolhaas. Façade details.

This mannerism by OMA, both in the shape of its building and in the final manifestation of the façade through an elaborate (baroque) and spectacular interpretation of what is happening on the inside of the diagonally braced structure, is a long way from the rationality of Mies with respect to an expression of structures which is based on their design and their construction logic.

⁶ Rem Koolhaas, "Cctv & Tvcc," *El Croquis* 2006, pp. 270-99.

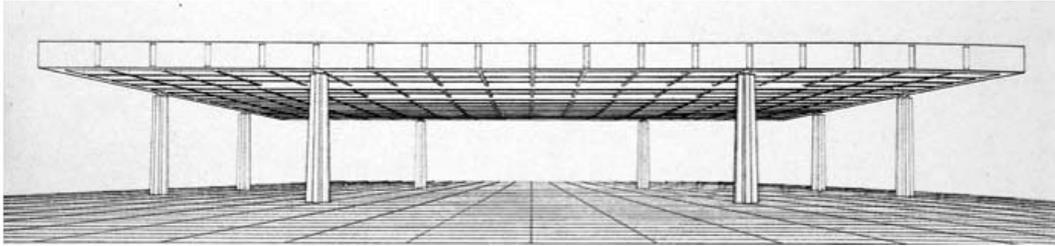


Fig. 43. Structural concept. Bacardi Headquarters in Cuba by Mies van der Rohe.

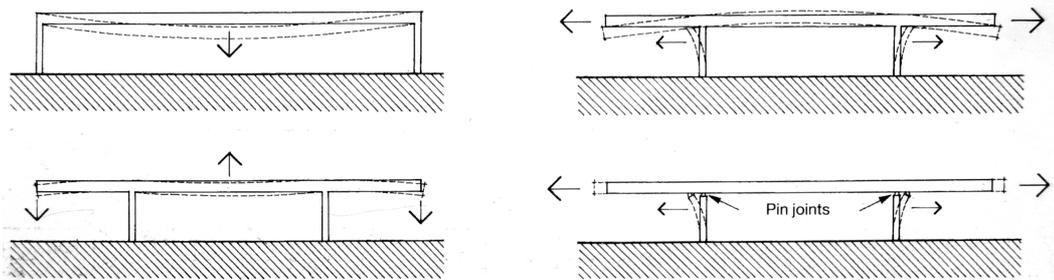


Fig. 44. Structural loads. Bacardi Headquarters in Cuba by Mies van der Rohe.

A lack of refinement can be seen in the crude final structure of the CCTV Tower, as well as a forced relationship between the membrane and the structure on account of the fact that it maintains an image and a final shape which were previously established in its design. Perhaps these buildings are a clear expression of the Chinese phenomenon which aspires to display the potential of the communist ideal of sacrifice with a purpose in opposition to the capitalism of the West which is more focused on the economy of means.

In any case, in recent years the spectacular has been confused with technique which has no *raison d'être* (not using material in a way that is inherent to how it was intended, to how it was produced, or exaggerating its function) and this has invaded the architectural panorama. Many top-ranking architects, politicians and society in general have entered this frivolous game of the spectacular for its own sake. Thus, Guy Debord in his *Comments on the Society of the Spectacle* wrote:

*"It is indeed unfortunate that just at the moment when it is shielded by the spectacle from having to take any responsibility for its delirious decision, power thinks that it no longer needs to think and indeed cannot think."*⁷

⁷ Guy Debord, *Comments on the Society of the Spectacle* (London, New York: Verso, 1987).

Perhaps all of this derives from the fact that technology, nowadays, is capable of building anything that can be imagined, but with what ethical criteria? What are the moral limitations? I believe that this question is in the sense of a connection between geometry and technology in order to create a logical association between the membrane and the structure in terms of space planning, seen, for example, in the geodesic dome designed by Fuller. In it, this relationship is established against the most illogical and capricious geometry that technology is capable of achieving (The Serpentine Gallery of Toyo Ito for example), but at a high cost. As such, structural capacity is related to the logical mathematical level and to the static equilibrium level. In the case of architecture by Mies van der Rohe, its construction logic for steel is very trivial, and can be included within the popular concept of reason or of common sense.

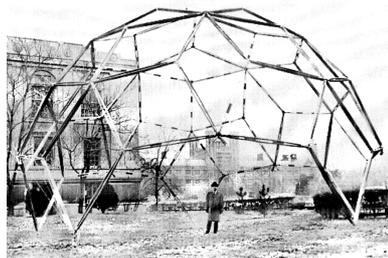


Fig. 45. Dome by R. Buckminster Fuller in form of RE, Washington University, St. Louis, 1954.

The dilemma has always been in the relationship between membrane and structure. If the membrane were also the structure, everything would be much clearer. The issue to be resolved is what happens if the membrane and the structure are the same thing. When this happens it is possible to exploit the idea of atomisation in its proper sense. This idea is based on reducing the size of structural objects while increasing the number of units which act jointly as a solar filter and membrane. This has been reflected recently in the search for porosity in the enclosure wall (Simmons Hall MIT by Steven Holl and Ziri Wall by Antonio Jimenez Torrecillas). The key to this is that the entire membrane functions structurally, because if it is nothing more than a skin with no function other than that of a filter or screen, we fall once again into a lack of ethics. Two very different examples of

this atomisation can be observed. On the one hand, there is construction in which the membrane and structure function together.

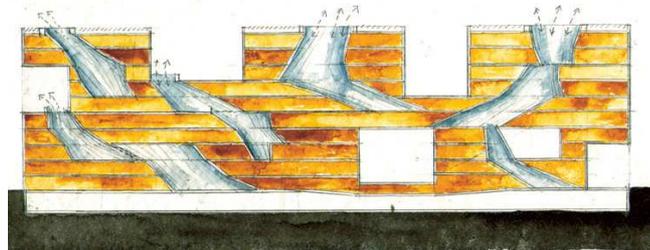


Fig. 46-48. Simmons Hall MIT by Steven Holl.

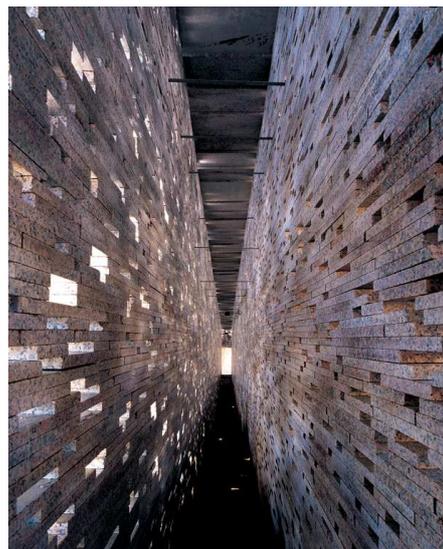


Fig. 49-50. Nazarí Wall, Granada, 2007. Antonio Jiménez Torrecillas.

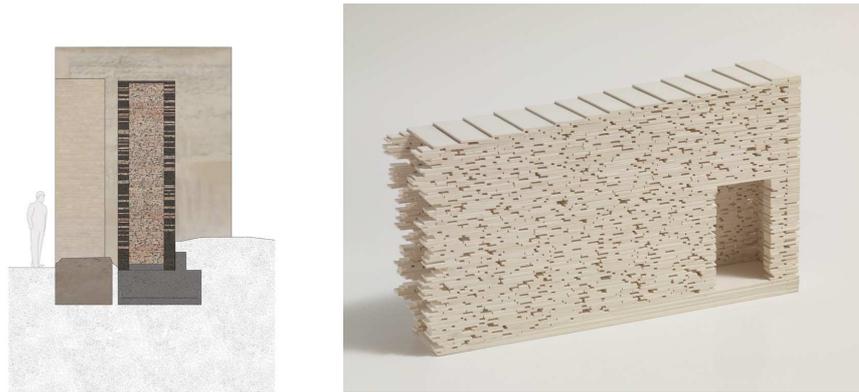


Fig. 51-52. Nazarí Wall, Granada, 2007. Antonio Jiménez Torrecillas.

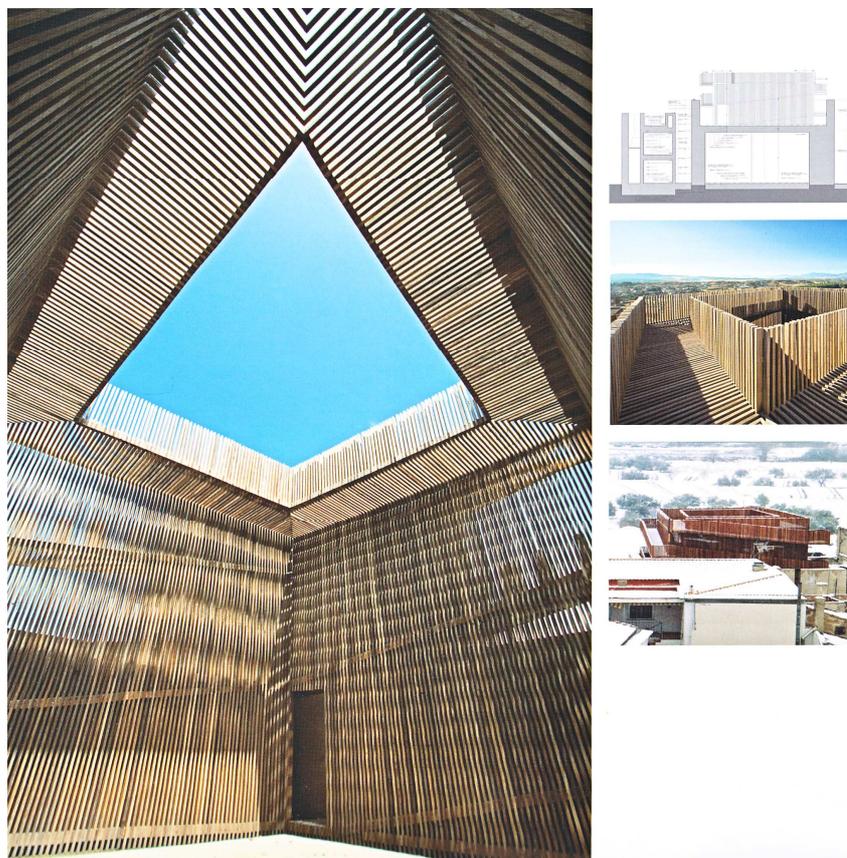


Fig. 53-55. Homenaje Tower in Huéscar, Granada, 2008. Antonio Jiménez Torrecillas.

On the other hand, the second type of design where atomisation is nothing more than a membrane which acts as a filter and which is independent of the structure of the building. In this design, the poetic cannot be based solely on the superficial appearance of the atomisation, and this is also a failure from an ethical perspective in terms of the perception of the constructive reality.



Fig. 56 and 57. Museum of Kanayama Castle Ruin, Kengo Kuma.



Fig. 58 and 59. Bambu House by Kengo Kuma.

One of the risks of extreme atomisation which can arise from the use of fractal geometry is the disintegration of the mass, as the modular base element is reduced to such an extent that material problems can exist in relation to the size and the characteristic structural resistance of the element (which is local to the element and therefore also to the joints). For this reason it is vital to define a limit to the scale of this type of fractal atomisation depending on the material in question.

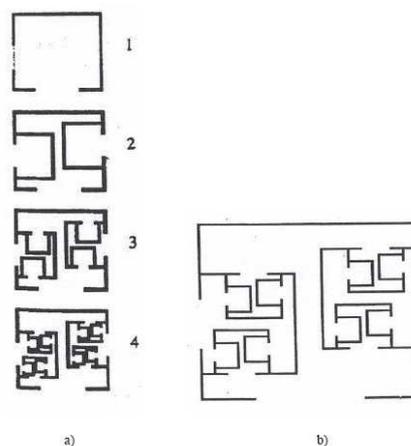


Fig. 60. a) Fractal simulation of Bamileke architecture. In the first iteration ("seed shape") the two active lines are shown in gray. b) Enlarged view of the fourth iteration.



Fig.61-68. Fractal atomisation of the surface.
Sculptures 8.8 by Alejandro Muñoz Miranda & José Manuel Darro.



Fig. 69 and 70. Prostho Museum Research Center, Kengo Kuma.

Therefore the atomisation which interests me from a phenomenological point of view is that which is able to achieve a tectonic logic of the enclosure and of the structure in the same element. This is not always possible, owing to the need for comfort in buildings and depending on the scale of the

architectural object in question. Consequently, the poetics of construction must be linked to a true poetic tectonic of the entire membrane and structure which is the foundation of the space which is lived in and experienced by the subject.

To a certain extent what this research is proposing is a return to local principles or to regionalism, which is able to employ place-specific tools and craftsmanship (local arts and their virtues) promoting and being innovative with traditional elements which belong to a particular place, and using tectonic and stereotomic logic.

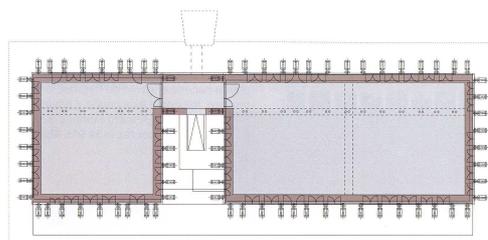
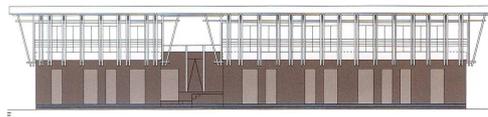
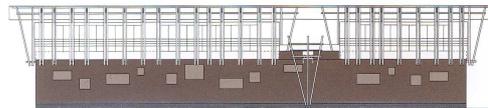
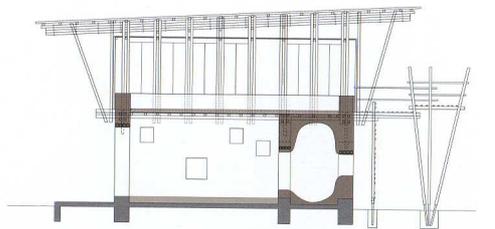
A further strategy for fulfilling the criteria of logical construction (which was applied by Mies and in which reason prevails above all else) is that if there is a limited budget, efforts should be focused on the essential elements of the project. Local production and handling should be secured (as with African buildings by Diébedo Francis Kéré and Anna Heringer or the Chappels designed by Peter Zumthor) in order to promote a phenomenological perception which is in close contact with regionalism.



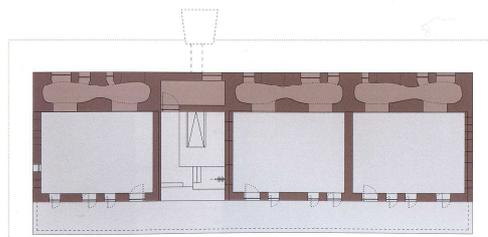
Fig. 71 and 72. Saint Benedict Chapel in Sumvitg by Peter Zumthor.

In this respect, the definition given by the architect Anna Heringer to her buildings in India is suited to this phenomenological understanding of tectonics going hand in hand with regionalism, which she also bases on sustainability.

"A building that is harmonious in its design, structure, technique and use of materials, as well as with the location, the environment, the user, the socio-cultural context. This, for me, is what defines its sustainable and aesthetic value."⁸



Planta primera



Planta baja

⁸ AA.VV., *Small Scale, Big Change: New Architectures of Social Engagement* (New York: Museum of Modern Art, 2010).



Fig. 73-81. School in Rudrapur, Bangladesh, 2008, Anna Heringer.
A perfect example of regionalist and tectonic-stereotomic building.

I believe that we must build in terms of what is necessary, which leads to the notion of the logical and essential structure without exaggerated displays. Diébedo Francis Kéré is of the opinion that *"money spent in building more than what is necessary, than what is essential, is money wasted"*⁹. He also writes that *"those who believe that having more money is always a good thing are wrong. Sometimes having too much money separates the architect from architecture"*¹⁰.



Fig. 82-85. School in Burkina Faso by Diébedo Francis Kéré.

⁹ Diébedo Francis Kéré, "La Lógica Local," *Arquitectura Viva* 2011, p. 20.

¹⁰ *Ibid.*, p. 21.

Regarding beauty, Kéré states that *"perhaps beauty may be, in itself, an objective for those who build without any money problems. However what makes me happiest is for my buildings to function in the best possible way for the least possible cost. That is true beauty"*¹¹.

As such, what a subject perceives must be a phenomenological experience in harmony with tectonics, based on reason, the intellectual (idea and conception), ethics and emotion.

Since ancient times the idea has existed of using available resources in the construction of buildings in the most efficient way possible, with a greater intensity in architecture which is more regionalist. As a result, every period in history has aspired to achieve the greatest possible essentiality in places where resources - whether material, economic or human - were limited, in other words, in places where people were forced to think about a construction method which was both economical and efficient.

At present, our current situation calls for this analysis for a better understanding of the architecture of our times. In general, in our globalised world, we have lost our references to what is local, and the economic value of construction has taken second place to the spectacular and the use of standardised materials and structures anywhere on the planet.

Perhaps this all began many centuries ago, in those examples of architecture which were merely representative or symbolic, which placed human beings in contact with the gods of the day. One of the most obvious examples is that of the Greek temple, which aimed to solidify, or to make more durable and enduring, a building which was originally made from wood, which caused the process described above, of seeking maximum possible efficiency in construction based on local resources, to be inverted. Stone and marble were not well suited to the building of a trabeated structure, as it was not capable of resisting internal bending forces, unlike construction using wood. A stone beam is very far from being an efficient structure, due to the intrinsic nature of the material being unable to resist traction, and especially when

¹¹ *Ibid.*, p. 23.

it coupled with the false decorated metopes and triglyphs that reveals the frivolity of constructive ethics (see Fig. 86 and 87).



Fig. 86 and 87. Joints of the stone and contradiction of the decorated metopes and triglyphs relationship with the constructive joints.

Carlos V Palace, Alhambra, Granada, S. XVI, XIX y XX

(Pedro Machuca (design), Luis Machuca, Juan de Orea, Juan de Herrera, Juan de Minjares, Juan de Vega).

Leaving aside this decorative-constructive contradiction, the concept of the "economy of means" should be introduced, which is defined as the maximum performance in return for the minimum input of means or material. This concept is in harmony with structural efficiency which consists of finding the relationship between the maximum strength and minimum weight of the structure.

We must also take manufacturing into consideration as a further aspect, although this factor often introduces a contradiction. A particular structure which may be easy to handle on account of being very light, and which is very resistant (having a high structural efficiency overall), might be costly to produce or to develop, or of very complex construction, which would mean that it is not an architecture which prioritises the economy of means. In this sense, complexity must also be taken into account as a factor. Complexity, as previously explained, goes hand in hand with a difficult (expensive and complex) manufacturing process, in other words, manipulation in the process of building a space. It is probable that a very efficient structure is directly related to a structure which has a highly complex form and which is difficult to manufacture, in other words it has a low technical efficiency (efficiency in the manufacturing process).

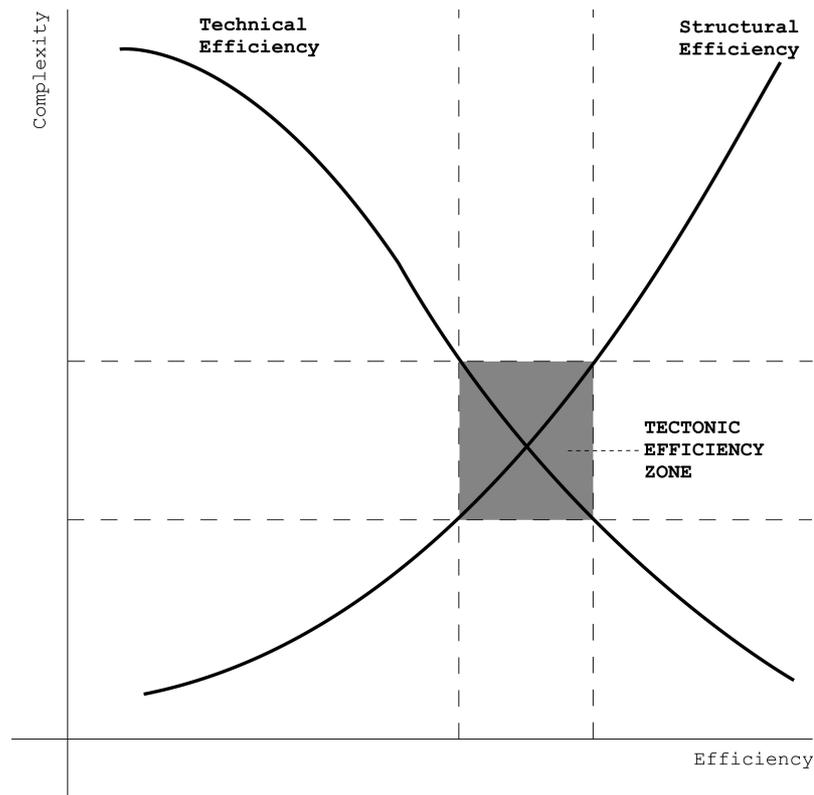


Fig. 88. Diagram of Tectonic Efficiency zone.

We can understand the construction process in general within a framework of tectonic efficiency, which is understood as the zone of intersection between structural efficiency and technical efficiency (see Fig. 88), and is the point at which the optimum relationship exists between the useful work that is carried out and the total work invested in the construction of the space.

If we apply the criteria of both structural and technical efficiency to the tectonic and stereotomic aspects of the built space, interesting nuances can be observed. For example, a tectonic structure is more efficient than a stereotomic structure, because a material that works in tension is in itself more efficient than one that works in compression. It is also evident that stereotomic construction is more limited geometrically than tectonic construction (due to the laws of statics and gravity). The stereotomic structure will be more efficient insofar as it will be able to transmit compression forces to the ground more quickly, just as it is true in a general sense that for a structural system, greater efficiency is achieved the more direct the transmission of load to the foundations. Furthermore, in terms of structural efficiency in both tectonic and stereotomic structures, these will be more efficient the more axial the

internal transmission of the forces, whether compression or traction, as a result of which the structures will actively be as efficient as possible. Finally, a stereotomic structure will be more efficient the greater the subdivision (gothic structure) of the compression forces that can be achieved¹².

As such, for every space (membrane and structure) the level of efficiency reached will be dependent on the individual conditions of each building in relation to the climate, its setting, building tradition, affordable local materials, and so on. It is not only the constituent elements which must be taken into account, but also the subsequent durability of these materials. In addition, the search for a reasonable limit for the greatest possible efficiency must be related to the local opportunities and facilities for complexity in the manipulation and construction of the space.

As a result, it is not possible to specify with accuracy the level of efficiency that can be attained by the membrane and structure of a specific space, as the relationships between the various different factors involved are complicated. However it is possible to identify two main influences, one of which is the size of the span that a membrane and structure must reach, and the other is the intensity of the external load that it will support. The longer the span, the greater the need for a high level of efficiency; the greater the load to be carried, the lower the efficiency that can be achieved. These two influences are, in fact, different aspects of the same phenomenon, that is to say, the requirement of maintaining the ratio between weight and external load at a more or less constant level¹³. Implicit in this statement is the idea that, in order to achieve the ideal situation of the greatest possible economy of means, the level of complexity of a structure ought to be the minimum that is compatible with obtaining a reasonable level of efficiency (see Fig. 89).

¹² Normann Sandaker, *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. pp. 61-75.

¹³ Macdonald, *Structure and Architecture* p. 61.

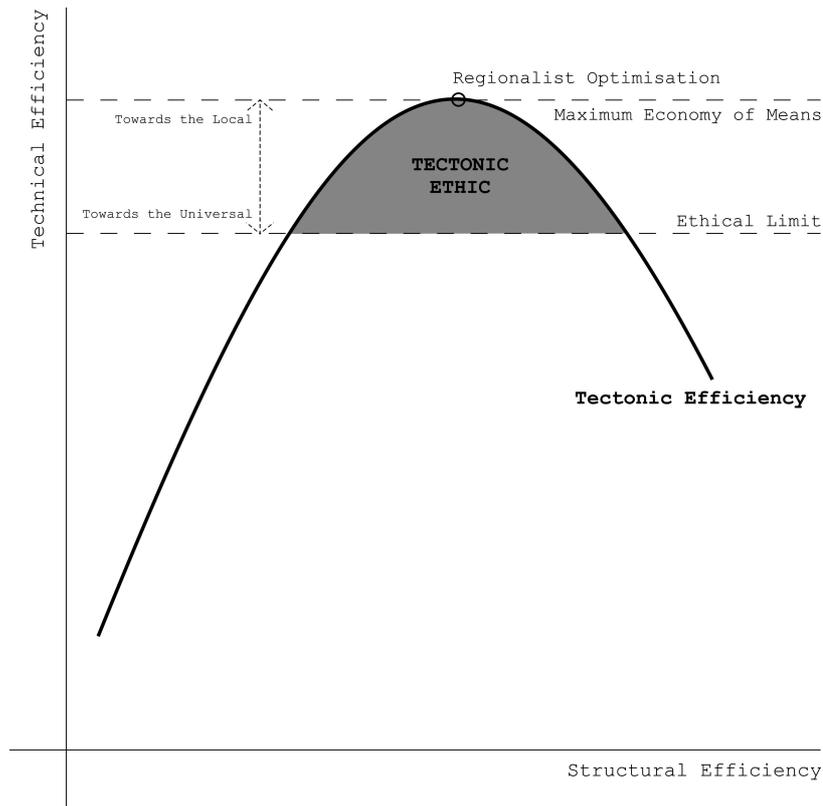


Fig. 89. Diagram of Tectonic Ethic.

Efficiency is becoming synonymous with ethics, as a result of which technical and structural efficiency has come to be understood as a technical and structural ethic, or a tectonic and stereotomic ethic.

Finally, within tectonic efficiency we can redefine the aspect of a tectonic ethic, which must have its foundations in this economy of means which makes construction more efficient from the perspective of construction which is based on local experience, on our own skills and crafts, and which lies, overall, in the critical regionalism of each area. This tectonic ethic is found on the one hand in the greatest possible local or regionalist optimisation and the maximum economy of means, and on the other hand in the ethical limit marked by technical efficiency which tends towards a universal civilisation.

I propose logic in the use of technology, aiming towards a tectonic ethic which will help us to construct our space better, and with greater reason. In this way, for the human being who perceives such a space, it will produce in them a deep and sincere phenomenological perception of what their body is experiencing in that space. To achieve this we must improve our sincerity in terms

of the use of material in all aspects, both structural and constructive, of the membrane. As such, ethics must be in harmony with efficiency, which is defined as "the capacity for making use of something in order to achieve a particular effect"¹⁴. In short, the technical used with reason (if the desired phenomenological effect is reasonable) compared to the technological used with no reference to logic to obtain any objective (compared to structural and material complexity in order to be able to push the limits of construction and involving high costs or wastage of material).

As such, this tectonic ethic aims to stabilise the idea of reason in modern architecture, working carefully with human beings in relation to the built object in matters pertaining to the quality of materials, the quality of the space and the life of the individual in relation to that space. If all of this is not maintained, human consciousness will be lost, as, to a certain extent, will the reciprocal relationship between the individual and their environment.

Therefore, this tectonic ethic founded on the idea of reason in architecture is based on a true phenomenological perception, and not on the merely sensational and superficial. In other words, it is based on an experience by the individual that has been provided not only by visual perception, but also by tactile and multi-sensory aspects, the phenomenological result being in harmony with the idea, the reason, the ethic and the constructive logic of the architectural space.

Moreover, the phenomenological experience should be based on regionalism (local elements), through two options: the first is material; the second is more abstract and timeless (subconscious) and is based on existing local culture, knowledge or spatial articulations. In light of this, the phenomenological ethic (see Fig. 90) will be demarcated by architecture which lies in the equilibrium of the ethical limit between a superficial and an ontological experience, and in those spaces where regionalist and local tectonic and stereotomic aspects predominate (materially or subconsciously) as opposed to universal elements, providing us with a more ontological spatial meaning of this phenomenological ethic.

¹⁴ Definition from the Real Academia Española (twentieth edition).

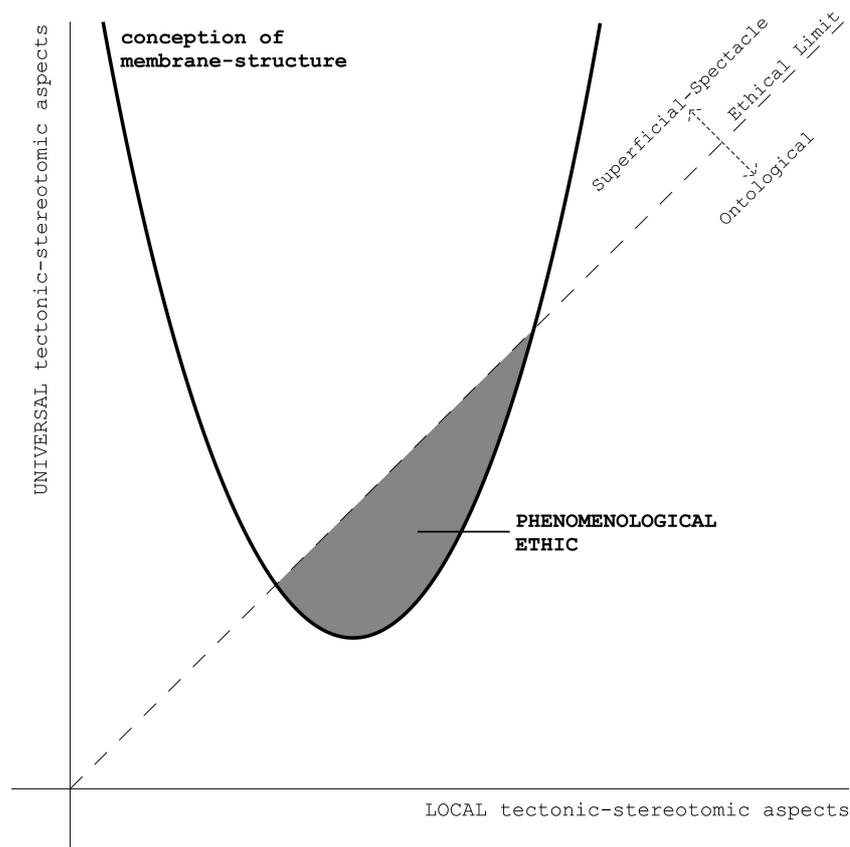


Fig. 90. Diagram of Phenomenological Ethic.

At the end of this thesis, I would like to highlight once again that the fundamental aspects of the present research work insist on ground level work (earthwork) and on constituting the membrane (also transformed into structure) enveloping the space above the ground, both of which are, in my view, the most powerful and synthetic aspects of current architectural form. By incorporating to these the technical character in the process of architectural creation, the architect appears to us, like Le Corbusier said, as an "acrobat"¹⁵ in the manipulation of the built world, and all the more so in the hands of the technological option. Therefore, this should be pursued in architectural practice by attempting to find the ethical-tectonic balance already described in these conclusions.

¹⁵ "Nobody asked him to do this. Nobody owes him any thanks. He lives in the extraordinary world of the acrobat". In Frampton, "The Owl of Minerva: An Epilogue," p. 365., from Le Corbusier, *My Work*, english translation, James Palmes (Londres: Architectural Press, 1960), p. 197.

BIBLIOGRAFÍA

- AA.VV. *Classic Readings in Architecture*. Boston: WCB/McGraw-Hill, 1999.
- . "The Exhibition Building in Hyde Park." *The Builder* 1851 (Saturday, January 4).
- . *Geometría Y Proporción En Las Estructuras. Ensayos En Honor De Ricardo Aroca*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid y ETSAM, 2010.
- . *Louis I. Kahn*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1994.
- . *Pabellón De España. 7ª Mostra Do Architettura. Biennale Di Venezia*. Madrid: Electa, 2000.
- AA.VV. *Jóvenes Arquitectos De España / Young Architects of Spain*. Madrid: Ministerio de Vivienda del Gobierno de España, 2008.
- . "Official Catalogue of the Great Exhibition." *The Edinburgh Review* 1851 (octubre).
- . *Pabellón De España De La 7ª Bienal De Venecia 2000*. Madrid: Electa España, 2000.
- . *Small Scale, Big Change: New Architectures of Social Engagement*. New York: Museum of Modern Art, 2010.
- Aicher, Otl, Wolfgang Jean Stock, and Michael Robinson. *The World as Design*. Berlin: Ernst & Sohn, 1994.
- Ando, Tadao. "Shintai and Space." In *Architecture and the Body*, edited by Scott Marble and David Smiley. New York: Rizzoli, 1988.
- Aparicio Guisado, Jesús M^a. *Construir Con La Razón Y Los Sentidos. Reflexiones Docentes Y De Investigación*. Buenos Aires: Editorial Universidad Nobuko, 2008.
- . *El Muro*. Madrid: Biblioteca Nueva, 2006.
- . *Terragni. El Danteum. Roma 1938-1940*. Madrid: Editorial Rueda, 2004.
- Araujo Armero, Ramón. *La Arquitectura Como Técnica (1)*. Madrid: A.T.C. Ediciones S.L., 2007.
- Arendt, Hannah. *The Human Condition*. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1998.
- Balmond, Cecil. *Informal*. Munich: Prestel 2002.
- Bannister, Turpin. "The First Iron-Framed Buildings." *The Architectural Review* 1950 (abril).
- Battisti, Eugenio. *Filippo Brunelleschi*. Milan: Electa, 1989.
- Blake, Peter. *Mies Van Der Rohe: Architecture and Structure*. Baltimore: Penguin Books Inc., 1960.
- Blaser, Werner. *Mies Van Der Rohe, Continuing the Chicago School of Architecture*. Zurich: Institute for the History and Theory of Architecture at the Swiss Federal Institute of Technology, 1977.
- . *Mies Van Der Rohe: Die Kunst Der Struktur (L'art De La Structure)*. Zurich, Stuttgart: Artemis Verlag und Verlag für Architektur, 1965.
- Boesiger, Willy, and Hans Girsberger. *Le Corbusier 1910-65*. Barcelona: Gustavo Gili, 1995.
- Burton, Decimus. "Proposal for the Conversion of the Great Exhibition Building into a Prospect Tower 1.000 Feet High." *The Builder* 1852 (May 1).
- Calatrava, Juan. *Estudios Sobre Historiografía De La Arquitectura*. Granada: Editorial Universidad de Granada - Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.
- Calatrava, Juan, and Winfried Nerdinger. *Arquitectura Escrita*. Madrid: Círculo de Bellas Artes, 2010.
- Callahan, James. *The Geometry of Spacetime: An Introduction to Special and General Relativity*. New York: Springer, 2000.
- Campo Baeza, Alberto. *La Idea Construida : La Arquitectura a La Luz De Las Palabras*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1996.
- . *Light Is More*. Madrid: T.F. Editores, 2003.
- Carroll, Chris. "Cctv Headquarters. Structural Engineering Design and Approvals." *The Arup Journal* 2/2005 (2005).
- Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999.
- Catalano, Eduardo. *The Constant: Dialogues on Architecture in Black and White*. Cambridge, MA: Cambridge Architectural Press, 2000.
- Corbusier, Le. *Précisions Sur Un État Présent De L'architecture Et De L'urbanisme*. Paris: Crès. Collection de L'Esprit Nouveau, 1930.
- . "A Tribute." *The Architectural Review* 1937 (junio).
- Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961.
- de la Sota, Alejandro. "Alejandro De La Sota, Arquitecto." Madrid: Ediciones Pronaos S.A., 1989.
- Debord, Guy. *Comments on the Society of the Spectacle*. London, New York: Verso, 1987.
- Dessoir, Max. *Ästhetik Und Allgemeine Kunstwissenschaft* Charleston: Bibliolife, 2010.
- Eggen, Arne Petter, and Bjorn Normann Sandaker. *Building, Iron and Steel*. New York: Whitney Library of Design, 1995.
- . *Steel, Structure, and Architecture*. New York: Whitney Library of Design, 1995.

- Fisac Serna, Miguel. "Concepción Y Construcción De Edificios Desde El Punto De Vista Del Arquitecto." In *Proceedings of the Ninth Congress of the Fédération Internationale de la Précontrainte*. Stockholm, 1982.
- Frampton, Kenneth. "Avant-Garde and Continuity." *Architectural Design* 1982.
- . "The Case for the Tectonic as Commemorative Form." In *Technology, Place and Architecture*, edited by Kenneth Frampton. New York: Rizzoli, 1998.
- . *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos Xix Y Xx*. Translated by Amaya Bozal and Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999.
- . "Intimations of Tacticity: Excerpts from a Fragmentary Polemic." In *Architecture and Body*. New York: Rizzoli, 1988.
- . "Jorn Utzon: Forma Transcultural Y Metáfora Tectónica." In *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos Xix Y Xx*, edited by Kenneth Frampton. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999.
- . *Labour, Work and Architecture*. London: Phaidon Press, 2002.
- . "Louis Kahn and the French Connection." In *Labour, Work and Architecture*, edited by Kenneth Frampton. London: Phaidon Press, 2002.
- . "Minimal Moralia: Reflections on Recent Swiss German Production." In *Labour, Work and Architecture*, edited by Kenneth Frampton. London: Phaidon Press, 2002.
- . *Modern Architecture, a Critical History*. London: Thames and Hudson, 1992.
- . "On Reading Heidegger." In *Theorizing a New Agenda for Architecture: An Anthology of Architectural Theory 1965 - 1995*, edited by K. Nesbitt. New York: Princeton Architectural Press, 1996.
- . "The Owl of Minerva: An Epilogue." In *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*. Cambridge; Mass: MIT Press, 1995.
- . "Place, Production and Architecture: Towards a Critical Theory of Building." *Architectural Design* 1982.
- . "Rappel a L'ordre: The Case for the Tectonic." In *Labour, Work and Architecture*, edited by Kenneth Frampton. London: Phaidon Press, 2002.
- . "The Resistance of Architecture, an Anthological Postscript." *Architectural Design* 1982.
- . "Ten Points on an Architecture of Regionalism: A Provisional Polemic." In *Architectural Regionalism, Collected Writings on Place, Identity, Modernity and Tradition*, edited by Vincent B. Canizaro. New York: Princeton Architectural Press, 2007.
- . "Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance." In *Labour, Work and Architecture*, edited by Kenneth Frampton. London: Phaidon Press, 2002.
- Frampton, Kenneth, John Cava, and Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts. *Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995.
- Frank, Isabelle. *The Theory of Decorative Art : An Anthology of European & American Writings, 1750-1940*. New Haven Conn.: Published for the Bard Graduate Center for Studies in the Decorative Arts New York by Yale University Press, 2000.
- Fuller, Buckminster. *Critical Path*. New York: St. Martin's Press, 1981.
- . *Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking*. New York: MacMillan Publishing, 1975.
- Galilei, Galileo, Henry Crew, and Alfonso de Salvio. *Dialogues Concerning Two New Sciences*. Evanston, Ill.: Northwestern University Press, 1968.
- Galison, Peter Louis, and Emily Ann Thompson. *The Architecture of Science*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1999.
- Giedion, Sigfried. *Architecture and the Phenomena of Transition; the Three Space Conceptions in Architecture*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971.
- . *Building in France, Building in Iron, Building in Ferroconcrete*. Santa Monica: The Getty Center for the History of Art and the Humanities, 1995.
- . "The New Regionalism." In *Architectural Regionalism, Collected Writings on Place, Identity, Modernity and Tradition*, edited by Vincent B. Canizaro. New York: Princeton Architectural Press, 2007.
- . *Space, Time and Architecture; the Growth of a New Tradition*. 5th ed. Cambridge,: Harvard University Press, 1967.
- Glazebrook, Trish. *Heidegger's Philosophy of Science (Perspectives in Continental Philosophy)*. New York: Fordham University Press, 2000.
- Goldsmith, Myron, and Werner Blaser. *Buildings and Concepts*. New York: Rizzoli, 1987.
- Gondhalekar, Prabhakar. *The Grip of Gravity: The Quest of Understand the Laws of Motion and Gravitation*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2001.
- Gropius, Walter, and Karin Wilhelm. *Walter Gropius, Industriearchitekt*. Berlin: F. Vieweg, 1983.
- Hartoonian, Gevork. *Ontology of Construction: On Nihilism of Technology in Theories of Modern Architecture*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1994.

- Hawking, Stephen W. *The Nature of Space and Time*. New Jersey: Princeton University Press, 1996.
- Heidegger, Martin. *Being and Time*. New York: State University of New York Press, 1996.
- . "Building Dwelling Thinking." In *Basic Writings: From Being and Time (1927) to the Task of Thinking (1964)*, edited by D. F. Krell. London: Routledge, 1993.
- . *The Question Concerning Technology and Other Essays* Translated by William Lovitt. New York: Harper and Row, 1977.
- Helm-Petersen, Kjeld. "Jörn Utzon: A New Personality." *Zodiac* 1959.
- Hernández León, Juan Miguel. *Arquitectura Española Contemporánea. La Otra Modernidad*. Barcelona: Lunwerg Editores, 2007.
- . *Conjugar Los Vacíos*. Madrid: Abada Editores, 2005.
- Herrmann, Wolfgang. *Gottfried Semper: In Search of Architecture*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1984.
- Herzog, Jacques, and Pierre de Meuron. "National Stadium Beijing for the 2008 Olympic Games." *El Croquis* 2006.
- Hilberseimer, Ludwig. "Third Issue." *G* 1924 (julio).
- Hix, John. *The Glasshouse*. London: Phaidon, 1996.
- Holl, Steven. *Anchoring*. New York: Princeton Architectural Press, 1989.
- . *Architecture Spoken*. New York: Rizzoli, 2007.
- . "A Conversation with Steven Holl by Jeffrey Kipnis." *El croquis* 1999.
- . "Idea, Phenomenon and Material." In *The State of Architecture at the Beginning of the 21st Century*, edited by B. & Cheng Tschumi. New York: The Monacelli Press, 2003.
- . *Intertwining*. New York: Princeton Architectural Press, 1996.
- . *Parallax*. Basel: Birkhäuser, 2000.
- . "Phenomenal Zones." In *Questions of Perception, Phenomenology of Architecture*, edited by S. Holl, Pallasmaa, J. & Perez-Gomez, A. Tokyo: A+U Publ. Co., 1994.
- . *Questions of Perception, Phenomenology of Architecture*. Edited by S. Holl, Pallasmaa, J. & Perez-Gomez, A., *Questions of Perception, Phenomenology of Architecture*. Tokyo: A+U Publ. Co., 1994.
- . "Thought, Matter and Experience, a Conversation with Steven Holl." *El croquis* 2001.
- Horvitz, Leslie Alan. *Eureka! Scientific Breakthroughs That Changed the World*. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- Jammer, Max. *Concepts of Space; the History of Theories of Space in Physics*. 2d ed. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1969.
- Kéré, Diébédo Francis. "La Lógica Local." *Arquitectura Viva* 2011.
- King, Ross. *Brunelleschi's Dome : The Story of the Great Cathedral in Florence*. London: Chatto & Windus, 2000.
- Koolhaas, Rem. "Cctv & Tvcc." *El Croquis* 2006.
- Lam, Kylie, and Thomas Lam. "Original Roof Analysis Model and Results." *The Arup Journal* 1/2009 (2009).
- Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001.
- Langer, Monika M. *Merleau-Ponty's Phenomenology of Perception: A Guide and Commentary*. Tallahassee: The Florida State University Press, 1989.
- Laugier, Marc-Antoine *Essai Sur L'Architecture*. Paris: Duchesne, 1753.
- Leoni, James. *Ten Books on Architecture by Leone Battista Alberti*. London: J. Rykwert, Alec Tiranti Ltd., 1955.
- Lidner, Werner. *Die Ingenieurbauten in Ihrer Guten Gestaltung*. Berlin: Wasmuth, 1923.
- Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994.
- Mallgrave, Harry Francis. *Gottfried Semper: Architect of the Nineteenth Century*. New Haven: Yale University Press, 1996.
- Margolius, Ivan. *Architects + Engineers = Structures*. Chichester: Wiley, 2002.
- Mark, Robert. *Architectural Technology up to the Scientific Revolution : The Art and Structure of Large-Scale Buildings, New Liberal Arts Series*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1993.
- Mayz Vallenilla, Ernesto. *Esbozo De Una Crítica De La Razón Técnica*. Caracas: Ediciones Equinoccio, 1974.
- Merleau-Ponty, Maurice. *Eye and Mind*. Edited by Cristian Norberg-Schulz, *Intentions in Architecture*. Oslo: Allen & Unwin LTD, 1964.
- . *Phenomenology of Perception*. London New York: Routledge, 1962.
- Miller, Philip. *Decimus Burton, 1800-1881: A Guide to the Exhibition of His Work*. London: Building Centre Trust, 1981.
- Mitcham, Carl. *Thinking through Technology : The Path between Engineering and Philosophy*. Chicago: University of Chicago Press, 1994.
- Moran, Dermot. *Edmund Husserl: Founder of Phenomenology*. Cambridge Malden: Polity Press, 2005.
- Navarro Segura, María Isabel. "Miguel Fisac." *Basa*, 2002.
- Navone, Nicola. *Bsi Swiss Architectural Award*. Mendrisio: Mendrisio Academy Press, 2008.
- Nerdinger, Winfried. *Gottfried Von Neureuther. Architekt Der Neorenaissance in Bayern 1911-1887*. München, 1978.

- . *Material Time*. Colonia: Wandel Hoefer Lorch & Hirsch, 2010.
- Nerdinger, Winfried, and Werner Oechslin. *Gottfried Semper 1803-1879. Architektur Und Wissenschaft*. München, Zürich: Prestel, 2003.
- Nervi, Pier Luigi. *Aesthetics and Technology in Building*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1965.
- Neumeier, Fritz. *The Artless World: Mies Van Der Rohe on the Building Art*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1991.
- . "Construction as Promise of Art: Building Art in the Raw." In *Artless World*. Cambridge: MIT Press, 1994.
- Newton, Isaac. *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*. London,: Dawson, 1968.
- Norberg-Schulz, Cristian. *Architecture: Presence, Language, Place*. Milan: Akira, 2000.
- . *The Concept of Dwelling, on the Way to Figurative Architecture*. New York: Rizzoli, 1985.
- . *Existence, Space and Architecture*. London: Studio Vista London, 1971.
- . *Genius Loci, Towards a Phenomenology of Architecture*. New York: Rizzoli, 1980.
- . *Intentions in Architecture*. Oslo: Allen & Unwin LTD, 1963.
- . "Kahn, Heidegger and the Language of Architecture." *Oppositions* 1979.
- . *Principles of Modern Architecture*. London: A. Papadakis, 2000.
- . *Roots of Modern Architecture*. Tokyo: A.D.A. Edita Tokyo, 1988.
- Normann Sandaker, Bjorn. *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008.
- Ortega y Gasset, José. *Meditación De La Técnica Y Otros Ensayos Sobre Ciencia Y Filosofía*. 7ª ed. Madrid: Alianza Editorial, 2002.
- . *Obras Completas*. 2a rev. ed. 12 vols. Madrid: Alianza : Revista de Occidente, 1983.
- Ortega y Gasset, Jose, Jaime de Salas, and Jose Maria Atencia. *Meditacion De La Tecnica, Filosofia Hoy*. Madrid: Santillana, 1997.
- Pallasmaa, Juhani. "Alvar Aalto: Toward a Synthetic Functionalism." In *Alvar Aalto, between Humanism and Materialism*. New York: The Museum of Modern Art, 1998.
- . *The Architecture of Image, Existential Space in Cinema*. Helsinki: Building Information Ltd., 2001.
- . *Encounters. Architectural Essays*. Helsinki: Edited by Peter MacKeith. Rakennustieto, 2005.
- . *The Eyes of the Skin, Architecture and the Senses*. London: Academy Editions, 1996.
- . "The Geometry of Feeling, a Look at the Phenomenology of Architecture." In *Theorizing a New Agenda for Architecture: An Anthology of Architectural Theory 1965 - 1995*, edited by K. Nesbitt. New York: Princeton Architectural Press, 1996.
- Pallasmaa, Juhani , Steven Holl, and Alberto Pérez Gómez. "Questions of Perception: Phenomenology of Architecture." *A+U* 1994.
- Pérez-Gómez, Alberto. *Architecture and the Crisis of the Modern Science*. Cambridge: The MIT Press, 1983.
- . "Architecture as Science: Analogy or Disjunction?" In *The Architecture of Science*. Cambridge: MIT Press, 1999.
- Piano, Renzo. *Giornale Di Bordo*. Firenze: Passigli Editori, 1997.
- Picon, Antoine. "Architecture, Science and Technology." In *The Architecture of Science*. Cambridge: MIT Press, 1999.
- Plato, and Giovanni Reale. *Timeo*. 1. ed, *Testi a Fronte ; 9*. Milano: Rusconi, 1994.
- Quatremère de Quincy, Antoine Chrysostome. *Dictionnaire Historique De L'Architecture*. Paris: L'Imprimerie de Ballard, 1793.
- Quiroga, Eduardo Daniel , and Eduardo Alberto Salomón. *Gaudí: Mecánica Y Forma De La Naturaleza 2010* [cited. Available from www.monografías.com].
- Riley, Terence, and Barry Bergdoll. *Mies in Berlin*. New York: The Museum of Modern Art, 2001.
- Rodríguez Castro, Santiago. *Diccionario Etimológico Griego*. Madrid: Esfinge grupo editorial, 2007.
- Rodríguez Marcos, Javier, and Anatxu Zabalbeascoa. *Tadao Ando: Architecture and Spirit = Arquitectura Y Espiritu*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- Rykwert, Joseph. *On Adam'S House in Paradise. The Idea of the Primitive Hut in Architectural History*. New York: The Museum of Modern Art, 1972.
- Sáenz Guerra, Francisco Javier. *Un Mito Moderno. Una Capilla En El Camino De Santiago. Sáenz De Oíza, Oteiza Y Romaní*. Alzuza: Fundación Museo Jorge Oteiza, 2007.
- Salvadori, Mario George. *Building: The Fight against Gravity*. New York: Atheneum, 1979.
- Segura Munguia, Santiago. *Diccionario Etimologico Latino-Espanol*. 1a ed. Madrid: Ediciones Generales Anaya, 1985.
- Semper, Gottfried. *Der Stil in Den Technischen Und Tektonischen Künsten Oder Praktische Ästhetik: Ein Handbuch Für Techniker, Künstler Und Kunstfreunde (Vol. 1): Die Textile Kunst Für Sich Betrachtet Und in Beziehung Zur Baukunst*, Munich, 1860.

- . *The Four Elements of Architecture and Other Writings*. Cambridge England ; New York, NY: Cambridge University Press, 1989.
- . "Introduction to Style in the Technical and Tectonic Arts." In *The Theory of Decorative Art: An Anthology of European & American Writings, 1750-1940*. New Haven: Yale University Press, 2000.
- Semper, Gottfried, and Introduction by Harry Francis Mallgrave. *Style in the Technical and Tectonic Arts; or Practical Aesthetics*. Los Angeles: Getty Publications, 2004.
- Shand, Morton. "The Crystal Palace as Structure and Precedent." *The Architectural Review* 1937 (junio).
- . "Steel and Concrete, a Historical Survey." *The Architectural Review* 1932 (noviembre).
- Siza Vieira, Álvaro. "Alvaro Siza, 1995-1999. Notas Sobre La Invención." *El Croquis* 1999.
- Smith, David Woodruff. *Husserl*. London, New York: Routledge, 2007.
- Sörgel, Herman. *Theorie Der Baukunst*. Munich: Piloty & Loehle, 1921.
- Spiegelberg, Herbert. *The Phenomenological Movement: A Historical Introduction*. Boston, London: Martinus Nijhoff, 1982.
- Torroja Miret, Eduardo. *Razón Y Ser De Los Tipos Estructurales*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008.
- Utzon, Jörn. "Platforms and Plateaus." *Zodiac* 1962.
- Valero Ramos, Elisa. *La Materia Intangible, Reflexiones Sobre La Luz En El Proyecto De Arquitectura*. Valencia: Ediciones Generales de la Construcción. Colección Memorias Culturales, 2004.
- . *Ocio Peligroso. Introducción Al Proyecto De Arquitectura*. Valencia: General de Ediciones de Arquitectura, 2006.
- van der Rohe, Mies. "Architecture and Technology." *Arts and Architecture* 1950 (nº67).
- . "Building Art and the Will of the Epoch!" *Der Querschnitt* 1924 (nº1).
- . "Gelöste Aufgaben. Eine Forderung an Das Bauwesen (Solved Tasks: A Challenge for Our Building Industry)." *Die Bauwelt* 1823 (nº52).
- Ven, Cornelis van de. *Space in Architecture : The Evolution of a New Idea in the Theory and History of the Modern Movements*. Assen: Van Gorcum, 1978.
- Vera, Pablo, Marcial Marín, Eduardo Belda, and Juan Monrós. "Estructura Y Composición Del Nido Del Escribano Palustre Iberoriental *Emberiza Schoeniclus Witherbyi*." *Revista Catalana d'Ornitología* 2009.
- Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel. *Discourses on Architecture*. New York: Grove Press, 1959.
- Vitruvius, Pollio, and M. H. Morgan. *Vitruvius: The Ten Books on Architecture*. New York,: Dover Publications, 1960.
- Wachsmann, Konrad. *Holzhausbau: Technik Un Gestaltung*. Berlin: E. Easmuth, 1930.
- Wright, George R.H. *Ancient Building Technology: Historical Background (Technology and Change in History)*. Leiden: Brill, 2005.
- Yantis, Steven. *Visual Perception: Essential Readings*. Philadelphia: Psychology Press, 2001.
- Zabalbeascoa, Anatxu. "El Futuro Nunca Se Hace Realidad." *El País* (15/03/2011).
- Zumthor, Peter. *The Pritzker Architecture Prize - Catalogue*. Los Angeles: The Hyatt Foundation, 2009.

REFERENCIAS IMÁGENES

CAPÍTULO 1

Figura 1. Imagen de François Dallegret publicado en el artículo de Reyner Banham titulado "A home is not a Home" en la revista *Art in America* nº2 de abril de 1965, página 3.

Figuras 2 y 3. Imágenes del Serpentine Gallery diseñado por OMA y Balmond en Londres (2006) de la web oficial del estudio de arquitectura de Rem Koolhaas, www.oma.eu

Figura 4. Imagen del proyecto Spacebuster by Berlin's Raumlabor instalado en New York (2009) del catálogo de la exposición organizada por la galería Storefront for Art and Architecture en 2.009, ilustración 8.

Figura 5. Traducción de Alberto Campo Baeza del texto citado anteriormente mostrando su gran interés por la *Meditación de la Técnica* de Ortega y Gasset. Escrito cedido por Alberto Campo Baeza al autor.

CAPÍTULO 2

Figura 1. Andamiaje ideado por F. Brunelleschi para la coronación de la Cúpula de Santa María del Fiore en Florencia en Battisti, Eugenio. *Filippo Brunelleschi*. Milan: Electa, 1989, página 167.

CAPÍTULO 3

Figura 1. Cueva. Fotografía de Max Wisshak.

Figura 2. Interior del dolmen del Romeral en Antequera (Neolítico) en "Atlas: Territorios y paisajes en la prehistoria reciente de Andalucía (Grupo de Investigación, HUM-694" del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla (www.grupo.us.es/atlas)

Figura 3. E.E. Viollet-le-Duc, *Mémoires d'un dessinateur* (1879). Aplicación de la articulación entre huesos para la ingeniería en Picon, Antoine. "Architecture, Science and Technology." En *The Architecture of Science*. Cambridge: MIT Press, 1999, página 315.

Figura 4. Vista de la Pirámide de Kefrén desde la Pirámide de Keops. Dibujo de Edward Lane hacia el 1826-1827 en Lane, Edward William. *An Account of the Manners and Customs of the Modern Egyptians* con una nueva introducción de John Manchip White. Nueva York: Dover Publications, ilustración 12.

Figura 5. Cúpula del Panteón de Roma. Fotografía del autor.

Figura 6. Muros de Hormigón romano: a) opus incertum, b) opus reticulatum, c) opus testaceum en Wright, George R.H. *Ancient Building Technology: Historical Background (Technology and Change in History)*. Leiden: Brill, 2005, página 67.

Figura 7. Apertura de huecos en el muro romano en Wright, George R.H. *Ancient Building Technology: Historical Background (Technology and Change in History)*. Leiden: Brill, 2005, página 72.

Figura 8. Vista interior de una nave lateral del Crystal Palace de J. Paxton, Londres 1851 en Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, página 88.

Figura 9. Vista exterior del Crystal Palace de J. Paxton, Londres 1851 en Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, página 43.

Figuras 10 y 11. Vistas interiores de la Galerie des Machines (1886-1889) de Victor Contamin en París en Giedion, Sigfried. *Building in France, Building in Iron, Building in Ferroconcrete*. Santa Monica: The Getty Center for the History of Art and the Humanities, 1995, página 138.

Figura 12. Interior de la Bibliothèque Sainte Geneviève de H. Labrouste, París 1843 en París en Giedion, Sigfried. *Building in France, Building in Iron, Building in Ferroconcrete*. Santa Monica: The Getty Center for the History of Art and the Humanities, 1995, página 108.

Figura 13. Estructura tipo Domino, Le Corbusier, 1914 en Boesiger, Willy, and Hans Girsberger. *Le Corbusier 1910-65*. Barcelona: Gustavo Gili, 1995, página 24.

Figura 14. 860-880 Lake Shore Drive en Construcción, Mies van der Rohe, Chicago 1949-51 en Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999 en página 39.

Figura 15. 860-880 Lake Shore Drive, imagen exterior, Mies van der Rohe, Chicago 1949-51 en Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999 en página 50.

CAPÍTULO 4

Figura 1. Antonio Gaudí. Capilla de la Colonia Güell, Barcelona, 1898-1914. Modelo que representa las fuerzas exteriores calculadas sobre la superficie a modo de cargas puntuales repartidas de modo infinitesimal. Gaudí usaba este método no solamente para hacer un modelo estructural sino también para comprobar el acabado estético de la superficie exterior del cierre en Pérez-Gómez, Alberto. "Architecture as Science: Analogy or Disjunction?" In *The Architecture of Science*. Cambridge: MIT Press, 1999, página 102.

Figura 2. Croquis comparativos de Le Corbusier para mostrar los cinco puntos para la nueva arquitectura (1926), en *Le Corbusier 1910-65*. Barcelona: Gustavo Gili, 1995, página 32.

Figura 3. Las 4 composiciones de Le Corbusier (1929) basadas en los cinco puntos: 1) Ejemplo de la casa La Roche, 2) Casa en Garches; 3) Casa en Stuttgart; 4) Villa Savoie. *Le Corbusier 1910-65*. Barcelona: Gustavo Gili, 1995, página 45.

Figura 4. Esquema comparativo de Le Corbusier de la construcción con muros de carga y con estructura reticulada de pilares en Corbusier, Le. *Précisions Sur Un État Présent De L'architecture Et De L'urbanisme*. Paris: Crès. Collection de L'Esprit Nouveau, 1930.

Figura 5. Gottfried Semper (1803-1879) en Herrmann, Wolfgang. *Gottfried Semper: In Search of Architecture*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1984, página 76.

Figura 6. Dibujos inspirados en los croquis de G. Semper (números en relación con los cuatro elementos de Semper) en Semper, Gottfried. *The Four Elements of Architecture and Other Writings*. Cambridge England ; New York, NY: Cambridge University Press, 1989, página 29.

Figura 7. Cúpula de Santa María del Fiore, Florencia en Battisti, Eugenio. *Filippo Brunelleschi*. Milan: Electa, 1989, página 63.

Figura 8. Dibujo comparativo de distintos tamaños de huesos de Galileo Galilei en *Dialogues Concerning Two New Sciences*, página 131.

Figura 9. Dibujo para el estudio del tamaño máximo que una figura que es capaz de soportar su propio peso de Galileo Galilei en la Proposición VII de *Dialogues Concerning Two New Sciences*, página 127.

Figura 10. El peso de una viga es proporcional a su canto, por lo que debe incrementarse en función del incremento de la luz. Por lo tanto, la proporción entre peso propio y la transmisión para una misma cantidad de carga se vuelve menos favorable cuanto más aumente la luz. En Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 62.

Figuras 11 y 12. Maqueta y planta del proyecto Casa 50x50 (1951-52), Mies van der Rohe en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, páginas 457 y 456 respectivamente.

Figura 13. Dibujo preliminar del alzado de la New National Gallery en Berlín (1962), Mies van der Rohe en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, página 580.

Figura 14. Planta de techos definitiva de la New National Gallery en Berlín (1968), Mies van der Rohe en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, página 492.

Figura 15. Convention Hall Project, Mies van der Rohe, Chicago 1953-54, Maqueta estructural en Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, página 103.

CAPÍTULO 5

Figura 1. Plantas y detalles de los tirantes de hierro en la Cúpula de Santa María del Fiore en King, Ross. *Brunelleschi's Dome : The Story of the Great Cathedral in Florence*. London: Chatto & Windus, 2000, página 122.

Figura 2. Acueducto de Segovia en Wright, George R.H. *Ancient Building Technology: Historical Background (Technology and Change in History)*. Leiden: Brill, 2005, página 36.

Figura 3. Sección Transversal de la Catedral de Reims, 1210, en Goldsmith, Myron, and Werner Blaser. *Buildings and Concepts*. New York: Rizzoli, 1987, página 84.

Figura 4. Grapas empleadas en la época griega en Wright, George R.H. *Ancient Building Technology: Historical Background (Technology and Change in History)*. Leiden: Brill, 2005, página 71.

Figura 5. Cúpula de Santa María del Fiore: spinapesce y cadenas en King, Ross. *Brunelleschi's Dome : The Story of the Great Cathedral in Florence*. London: Chatto & Windus, 2000, página 141.

Figura 6. Claude Perrault, columnata y alzado oriental del Louvre, Paris, 1665. Técnicas medievales de grapas de hierro forjado aplicadas a una construcción trabada en piedra de gran extensión. En Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 43.

Figura 7. Dibujos Técnicos de detalles de la bóveda principal del transepto del Crystal Palace de J. Paxton. Dibujos publicados en 1852. En Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, página 62.

Figura 8. Croquis conceptual de Paxton del Crystal Palace dentro del telegrama para Mr. Paxton fechado el 15 de julio de 1850 en Shand, Morton. "The Crystal Palace as Structure and Precedent." *The Architectural Review* 1937 (junio), página 68.

Figura 9. Cartel Oficial de la Exposición Mundial de 1851 de George Cruikshank en Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, página 22.

Figura 10. El dibujo más virtuoso de todos los dibujos del interior del Crystal Palace fue hecho por W.G. Brounger antes de que cualquier contenido fuera introducido dentro del espacio interior expositivo. En Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, página 89.

Figura 11. Sección transversal del Crystal Palace, 1851 en Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, página 101.

Figura 12. Modulación propuesta para que los Stands estuviesen en relación con la modulación propia de las naves del Crystal Palace, 1851 en Shand, Morton. "The Crystal Palace as Structure and Precedent." *The Architectural Review* 1937 (junio), página 35.

Figuras 13 y 14. Planta y alzado de la Torre de Cristal de 1.000 pies de Burton, 1852 en Burton, Decimus. "Proposal for the Conversion of the Great Exhibition Building into a Prospect Tower 1.000 Feet High." *The Builder* 1852 (May 1), páginas 280 y 281 respectivamente

Figura 15. Estructura metálica y proceso de construcción y revestimiento en piedra del Flatiron Building, New York, 1902, Daniel Hudson Burnham in "The New York Times" photo archive, créditos de Library of Congress.

Figuras 16, 17 y 18. Rascacielos de Cristal de Friedrichstrasse, Mies van der Rohe, 1921. Perspectiva, alzado y planta general en Riley, Terence, and Barry Bergdoll. *Mies in Berlin*. New York: The Museum of Modern Art, 2001, páginas 94 y 95.

CAPÍTULO 6

Figura 1. "El primer edificio" de Viollet-le-Duc en Rykwert, Joseph. *On Adam's House in Paradise. The Idea of the Primitive Hut in Architectural History*. New York: The Museum of Modern Art, 1972, página 39.

Figura 2. La tienda de campaña india en Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 2.

Figura 3. Nudos típicos de la fábrica tradicional. Ilustración del primer volumen de *Der Still in technischen und tektonischen Künsten* de Gottfried Semper en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 91.

Figura 4. Cabaña primitiva. Frontispicio de la segunda edición de la obra del abate Laugier, *Essai sur l'architecture*, grabado de Ch. Elsen, 1753 en Frampton, Kenneth. "Rappel a L'ordre: The Case for the Tectonic." In *Labour, Work and Architecture*, edited by Kenneth Frampton. London: Phaidon Press, 2002, página 90.

Figura 5. Cartel de la Conferencia de Mies van der Rohe en el Colegio de Arquitectos de Alemania en Brandengurg District (Berlín) el 12 diciembre de 1923, en el auditorio de Berlin Arts and Crafts Museum bajo el lema "¿Cómo podemos escapar de la escasez de vivienda? La construcción debe ser reunada!. La conferencia fue publicada en *Die Bauwelt*, 14, n°52 (1923), p.719 en donde se describen los 8 tipos de "cabañas" citados anteriormente.

Figura 6. Dibujo original de Kenneth Frampton (The Graduate School of Architecture, Planning and Preservation of Columbia University, 2003)

Figura 7. Sección constructiva de la Catedral de Amiens (1230) en Goldsmith, Myron, and Werner Blaser. *Buildings and Concepts*. New York: Rizzoli, 1987, página 29.

Figura 8. Sainte Chapelle de París (1243-1248). Máxima desmaterialización del esqueleto de piedra en Salvadori, Mario George. *Building: The Fight against Gravity*. New York: Atheneum, 1979, página 62.

Figura 9. Catedral de Chartres, Francia, S. XII y XIII en Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 23.

Figura 10. Dibujos de Alejandro de la Sota en de la Sota, Alejandro. *Alejandro De La Sota, Arquitecto*. Madrid: Ediciones Pronaos S.A., 1989, página 15 del Apéndice.

Figuras 11 y 12. Proyecto para una sala de 3.000 asientos, 1872 (Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc) en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, páginas 58 y 59 respectivamente.

Figuras 13 y 14. *Salle des Fêtes*, 1910, planta y perspectiva (Anatole De Baudot) en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, páginas 62 y 63 respectivamente.

Figura 15. Fábrica de lanas Gatti, Roma, 1953, planta parcial (Pier Luigi Nervi) en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 64.

Figura 16. The Palace of Labour, Milan, 1961 (Pier Luigi Nervi) en Normann Sandaker, Bjorn. *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008, página 72.

Figuras 17, 18 y 19. Maqueta funicular de pesos de la Sagrada Familia de Gaudí en Quiroga, Eduardo Daniel , and Eduardo Alberto Salomón. *Gaudí: Mecánica Y Forma De La Naturaleza 2010* en www.monografias.com.

Figura 20 (izquierda). La Sagrada Familia. Ejes estructurales y transferencia de cargas y Figura 21 (derecha) Diagrama funicular con acciones y reacciones en Quiroga, Eduardo Daniel , and Eduardo Alberto Salomón. *Gaudí: Mecánica Y Forma De La Naturaleza 2010* en www.monografias.com.

Figura 22. Sección de la tercera solución de la viga hueca de hormigón pretensado para el Instituto de Estudios Hidrográficos del MOPU en el artículo de María Isabel Navarro Segura titulado "Miguel Fisac" en la Revista *Basa* del Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias en su número 27 del año 2002, página 29.

Figura 23. Sección de pieza hueca de hormigón pretensado para cubierta en el artículo de María Isabel Navarro Segura titulado "Miguel Fisac" en la Revista *Basa* del Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias en su número 27 del año 2002, página 27.

Figura 24. Solución inicial del Convencion Hall (Chicago,1953-54) de Mies van der Rohe en Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, página 103.

Figura 25. Solución final del Convencion Hall (Chicago,1953-54) de Mies van der Rohe en Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, página 101.

Figura 26 (arriba). Stuttgart Airport Terminal 1 (1991). Von Gerkan, Marg and Partners en Normann Sandaker, Bjorn. *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008, página 172.

Figura 27 (abajo izq.) Detalle de la junta de unión en acero fundido soldado en Normann Sandaker, Bjorn. *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008, página 174.

Figura 28 (abajo der.) Detalle de la unión con la cubierta mediante rótulas para evitar la transmisión de momentos a las barras en Normann Sandaker, Bjorn. *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008, página 173.

CAPÍTULO 7

Figura 1. Cuadro de la dualidad estructural tectónico-estereotómico realizado por el autor.

Figura 2. Dibujo explicativo conceptual de la dualidad tectónico-estereotómico de Jesús Aparicio Guisado en Aparicio Guisado, Jesús M^a. *El Muro*. Madrid: Biblioteca Nueva, 2006, página 194.

Figura 3. "El monumento al Pilar" de Hermann Obrist de 1898 en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 295.

Figura 4. Detalle del apoyo de la fábrica AEG en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 295.

Figura 5. Apoyo de la Sala de las Máquinas en Giedion, Sigfried. *Building in France, Building in Iron, Building in Ferroconcrete*. Santa Monica: The Getty Center for the History of Art and the Humanities, 1995, página 138.

Figuras 6 y 7. Vista general y detalle del Slaughter Hall in Lyon (1914). Tony Garnier en Normann Sandaker, Bjorn. *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008, página 36.

Figura 8. Dibujos de construcción de los cimientos de la casa japonesa sobre un lecho de piedra en Margolius, Ivan. *Architects + Engineers = Structures*. Chichester: Wiley, 2002, página 142.

Figura 9. Dibujo de la modulación en planta de los soportes de madera en función del tatami en Margolius, Ivan. *Architects + Engineers = Structures*. Chichester: Wiley, 2002, página 143.

Fig. 10. Sección en perspectiva de la casa tradicional japonesa de una sola planta en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX Y XX*. Traducido por Amaya Bozal and Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 18.

Figura 11. Alzado de la Casa Farnsworth, de Mies van der Rohe en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, página 339.

Figura 12. Croquis de Mies van der Rohe sobre el estudio de la posición de la placa de anclaje de los pilares metálicos sobre la zapata de hormigón, en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, página 303.

Figura 13. Solución final constructiva en donde la placa y el arranque del pilar metálico se recubren de hormigón para su protección frente a la tierra, en www.cavicaplace.blogspot.com

Figuras 14 y 15. Convention Hall, Chicago, 1953-54. Mies van der Rohe. Dos soluciones del apoyo de la cercha como piel envolvente del espacio en Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, página 106.

Figura 16. New National Gallery de Mies van der Rohe, Berlín 1962-68. Detalle de la columna metálica cruciforme y del apoyo de la cubierta en Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, página 98.

Figura 17. Imagen exterior Nueva National Gallery de Mies van der Rohe, Berlín 1962-68. Fotografía del autor.

Figura 18. Alzados acotados del edificio Bacardí en Cuba, el museo Georg Schaefer en Schweinfurt y la New Nacional Gallery en Berlín, en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, página 474.

Fig. 19. Alzado de detalle del edificio de oficinas Bacardí en Santiago de Cuba de Mies van der Rohe en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, página 490.

Figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25 y 26. Distintos dibujos de las opciones del apoyo de la cubierta sobre la columna. Proyecto de la Sede Bacardí en Santiago de Cuba, Mies van der Rohe 1957 en Lambert, Phyllis (ed.). *Mies in America*. Montreal, New York: Harry N. Abrams, 2001, páginas 479-490.

Figura 27. Fotomontaje del proyecto para una Capilla en el Camino de Santiago de Francisco Javier Sáenz de Oíza, José Luis Romaní Aranda y del escultor Jorge Oteiza, 1954. En Sáenz Guerra, Francisco Javier. *Un Mito Moderno. Una Capilla En El Camino De Santiago. Sáenz De Oíza, Oteiza Y Romaní*. Alzuza: Fundación Museo Jorge Oteiza, 2007, portada.

Figura 28. Croquis sobre el estudio de la relación entre la cubierta y el apoyo de la misma del proyecto para una Capilla en el Camino de Santiago, 1954. En Sáenz Guerra, Francisco Javier. *Un Mito Moderno. Una Capilla En El Camino De Santiago. Sáenz De Oíza, Oteiza Y Romaní*. Alzuza: Fundación Museo Jorge Oteiza, 2007.

Figura 29. Esquema conceptual de la envolvente realizado por el autor.

Figura 30. Carga, deformada y diagrama del momento flector para una viga simplemente apoyada estáticamente determinada en Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 142.

Figura 31. Carga, deformada y diagrama del momento flector para una barra empotrada estáticamente indeterminada con la misma carga que la anterior figura en Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 142.

Figura 32. Croquis del Pabellón de Portugal de la Exposición Universal de 1998 (Álvaro Siza Vieira, Arquitecto) en Siza Vieira, Álvaro. "Alvaro Siza, 1995-1999. Notas Sobre La Invención." *El Croquis 1999*, página 6.

Figura 33. Imagen del Pabellón de Portugal Expo 1998 (Álvaro Siza Vieira, Arquitecto) en Normann Sandaker, Bjorn. *On Span and Space. Exploring Structures in Architecture*. London and New York: Routledge. Taylor & Francis Group, 2008, página 51.

Figuras 34, 35 y 36. Dibujos conceptuales para el cálculo de la estructura del Pabellón de Portugal (Álvaro Siza, Arquitecto) realizados por Cecil Balmond. En Balmond, Cecil. *Informal*. Munich: Prestel 2002, páginas 310, 331 y 325.

Figura 37. Secuencia de construcción del Pabellón de Portugal de la Expo 1998. Una losa de hormigón de 20 cms. de grosor y 70 metros de luz, con unas vainas con cables de acero que postensan la estructura. En Balmond, Cecil. *Informal*. Munich: Prestel 2002, páginas 326 y 327.

Figura 38. Detalles de la vainas de acero en el Pabellón de Portugal para la Expo de 1998 (Álvaro Siza, Arquitecto) en Siza Vieira, Álvaro. "Alvaro Siza, 1995-1999. Notas Sobre La Invención." *El Croquis 1999*, página 134.

Figura 39. Croquis conceptuales originales de Kenneth Frampton (2003). Dibujo original realizado en su despacho en The Graduate School of Architecture, Planning and Preservation of Columbia University, en diciembre de 2003.

Figura 40. Cuadro explicativo de la eficiencia estructural en función de la forma activa mayor o menor de la misma junto con la aplicación de secciones localmente mejoradas en Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 46.

Figura 41. Partenón de Atenas en Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 74.

Figura 42. Auguste Choisy y la interpretación del orden dórico a partir de la construcción en madera (*Histoire de l'architecture*, 1899) en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 15.

Figura 43. Pronaos de Ste. Geneviève de Jacques-Germain Soufflot, arquitecto y Jean Rondelet, ingeniero. El alzado y la axonométrica de Rondelet indican el armado de la de la mampostería del frontón mediante barras y anclajes de hierro forjado en Eggen, Arne Petter, and Bjorn Normann Sandaker. *Building, Iron and Steel*. New York: Whitney Library of Design, 1995, página 17.

Figura 44. Planta y sección del Museo Kimbell en Fort Worth(1972) de Louis I. Kahn en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 229.

Figura 45. Secciones constructivas del armado de las bóvedas del Museo Kimbell en Araujo Armero, Ramón. *La Arquitectura Como Técnica (1)*. Madrid: A.T.C. Ediciones S.L., 2007, página 168.

Figura 46. Imagen de la armadura de postensado de las bóvedas del Museo Kimbell en Fort Worth, Texas (1972), de Louis I. Kahn en Araujo Armero, Ramón. *La Arquitectura Como Técnica (1)*. Madrid: A.T.C. Ediciones S.L., 2007, página 168.

CAPÍTULO 8

Figura 1. Croquis de la plataforma maya de Yucatán, Jörn Utzon, 1949, en Utzon, Jörn. "Platforms and Plateaus." *Zodiac* 1962.

Figuras 2-11. Relación del Ayuntamiento de Säynätsalo de la distribución en torno a un patio por el que se accede mediante una escalinata como la de los pueblos italianos sobre las colinas, en donde se sitúa en la parte más alta y representativa la iglesia y los edificios administrativos. En este caso la sala de juntas ejerce la máxima representatividad de democracia. Además, con respecto al material utilizado, el uso del ladrillo visto es una referencia a la construcción tradicional finlandesa próxima a la del castillo medieval de Hämeenlinna, en donde se puede apreciar el comienzo de la utilización del ladrillo una vez que se ha salido de la cota de colocación de los sillares de piedra irregulares en su base estereotómica. En la página web oficial de Säynätsalo Town Hall, <http://www3.jkl.fi/ssalo/townhall/index-en.htm>.

Figuras 12 y 13. Interior de la Catedral de Granada (S. XVI) y de CajaGranada (2001) en Campo Baeza, Alberto. *Light Is More*. Madrid: T.F. Editores, 2003, páginas 102 y 51 respectivamente.

Figura 14. Planta del Palacio de Carlos V (S. XV) en la Guía de Arquitectura de Granada de la Consejería de Obras Públicas de Granada de Eduardo Martín Martín y Nicolás Torices Abarca, 1.998, página 129.

Figura 15. Patio del Museo Memoria de Andalucía (2009) en la web oficial de Alberto Campo Baeza, www.campobaeza.com.

Figura 16. Villa Savoia, 1929. Le Corbusier en Boesiger, Willy, and Hans Girsberger. *Le Corbusier 1910-65*. Barcelona: Gustavo Gili, 1995, página 78.

Figura 17. Interpretación gráfica a un texto de Saarinen en de la Sota, Alejandro. *Alejandro De La Sota, Arquitecto*. Madrid: Ediciones Pronaos S.A., 1989, página 165.

Figura 18. Sección de la Casa Domínguez en de la Sota, Alejandro. *Alejandro De La Sota, Arquitecto*. Madrid: Ediciones Pronaos S.A., 1989, página 165.

Figura 19. Croquis de Monte Albán de Jörn Utzon de 1949 en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 244.

Figura 20(sup. izq.) Pirámide de Chichen Itzá; Figura 21(sup. der.) Pirámide de Uxmal; Figuras 22 y 23 (abajo) Monte Albán. En la web oficial <http://culturamaya.unblog.fr/>

Figuras 24 y 25. La casa japonesa y el suelo de tatami en www.casasjaponesas.com

Figura 26. Croquis de Utzon de la pagoda china: cubierta y podio. En Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 238.

Figura 27. Imagen de la pagoda china en Quanzhou en Tenth Century Stone Pagoda in Kaiyuan Temple, Quanzhou, Fujian, China Photographic Poster Print, página 24.

Figuras 28 y 29. Manual de construcción *Yingzao Fashi* publicado por el arquitecto Li Jie en el año 1103, durante la Dinastía Song. En la pág 96 y 98 respectivamente del libro *Science and Civilization in China: Volume 4, Part 3, Civil Engineering and Nautics* de Joseph Needham.

Figura 30. Ilustración de un manual chino de construcción de la dinastía Ching (1644-1911) en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 247.

Figura 31. Esquema del concurso para la Word Exhibition, Copenhagen, 1959, Jörn Utzon. En Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 257.

Figuras 32-35. Sede de la UNESCO de París, 1953-58. Pier Luigi Nervi, Marcel Breuer y Bernard Zehrufuss en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 258.

Figuras 36-39. Dibujos de Utzon para el Concurso Internacional para Elviria, Málaga, 1960, Jörn Utzon. En Barrios Pérez, Roberto, "Concurso Internacional de ideas para la ordenación de la zona residencial Elviria 1960: Paisaje de Proyectos" en *Turismo Líquido*, 4.2, páginas 4, 6 y 7.

Figura 40. Croquis conceptual de la Casa de Bayview, 1961-1964, Jörn Utzon, en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 260.

Figura 41. Embarcación fabricada en madera. En la web oficial www.fondear.org

Figura 42. Jörn Utzon y la descripción geométrica del trazado de las conchas de la Ópera de Sydney. En la web oficial www.archdaily.com

Figura 43. Sección longitudinal de la Ópera de Sydney, 1957-1973, Jörn Utzon, en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 270.

Figura 44. Croquis del doctorando.

Figura 45. Dibujo del doctorando explicando las fases de evolución desde lo estereotómico a lo tectónico y las posiciones liberadas tectónicas.

Figura 46. Dibujo del doctorando desarrollando las situaciones estereotómicas-tectónicas en cada una de las tres posiciones del espacio.

Figura 47. Museo Silkeborg, Jörn Utzon en Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 251.

Figura 48. La fosa Ardeatina, Roma, 1949, de Nello Aprile, Cino Calcaprina, Aldo Cardelli, Mario Fiorentino, Giuseppe Perugini. En Ludovico Quaroni, "Il Mausoleo delle Ardeatine", 1952, "Sistemazione delle Cave Ardeatine", *Metron*, n° 45, páginas 16-23.

Figura 49. Bodega de crianza en La Mancha, 2003, Bernalte-León y Asociados. En AA.VV. *Jóvenes Arquitectos De España / Young Architects of Spain*. Madrid: Ministerio de Vivienda del Gobierno de España, 2008, páginas 386-393.

Figura 50. Capilla del Retiro (Medellín, 2010). Cristian Undurruga. En la página web www.archdaily.com

Figura 51. Sede de CajaGranada, Granada, 2001. Alberto Campo Baeza. En Campo Baeza, Alberto. *Light Is More*. Madrid: T.F. Editores, 2003, página 66.

Figura 52. Casa de Porto Petro, Mallorca, 1974. Jörn Utzon. En Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura*

De *Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 262.

Figura 53. Notre Dame du Haut, Ronchamp, 1954, Le Corbusier. En la página web www.plataformaarquitectura.cl

Figura 54. Prototipos de la casa meridional sueca, 1950. Jörn Utzon. En Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 253.

Figura 55. Casa del horizonte, Salamanca, 2006. Jesús Aparicio Guisado. In Navone, Nicola. *Bsi Swiss Architectural Award*. Mendrisio: Mendrisio Academy Press, 2008, page 77.

Figura 56. The Prayer Chapel, Phoenix, Arizona, 2009, debartolo architects. En la página web www.archdaily.com

Figura 57. Sainsbury Centre, Norwich, 1978. Norman Foster. En Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press, 1994, página 76.

Figura 58. Serpentine Gallery Pavilion, Londres, 2005, Álvaro Siza, Eduardo Souto de Moura y Cecil Balmond. En la web oficial www.serpentinegallery.org

Figura 59. The Glass House, New Canaan, Connecticut, 1949, Philip Johnson. En la web oficial www.philipjohnsonglasshouse.org

Figura 60. New National Gallery, Berlin, Mies van der Rohe. En Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, páginas 95-99.

Figura 61. Museo Universitario de la Universidad de Alicante. Alfredo Payá, 1999. En la revista *Arquitectura Viva* n°61, 1998, páginas 62-64.

Figura 62. House in Matsumoto, Japón, 2004, de Hideyuki Nakayama. En la revista *Arhitectura* n°87, 2010, páginas 80-81.

Figura 63. Casa Farnsworth, Illinois, 1945-50. Mies van der Rohe. En Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, página 83.

Figura 64. Museo Memoria de Andalucía, Granada, 2009. Alberto Campo Baeza. En la web oficial del estudio de arquitectura www.campobaeza.com

Figura 65. Aeropuerto de Osaka, Japón, 1988-1994. Renzo Piano. En Piano, Renzo. *Giornale Di Bordo*. Firenze: Passigli Editori, 1997, páginas 152 y 153.

Figura 66. Piscina cubierta y gimnasios, Villanueva de la Cañada, 2006. Churtichaga + Cuadra-Salcedo arquitectos. En AA.VV. *Jóvenes Arquitectos De España / Young Architects of Spain*. Madrid: Ministerio de Vivienda del Gobierno de España, 2008, páginas 202-209.

Figura 67. Casa de Blas, Sevilla la Nueva, Madrid, 2000. Alberto Campo Baeza. En Campo Baeza, Alberto. *Light Is More*. Madrid: T.F. Editores, 2003, páginas 111-139.

Figura 68. Proyecto para una Iglesia en Andalucía, 1999-2000. Jesús Aparicio Guisado. En AA.VV. *Pabellón De España De La 7ª Bienal De Venecia 2000*. Madrid: Electa España, 2000, página 65.

Figura 69. Ópera de Sydney. Jörn Utzon. En Frampton, Kenneth. *Estudios Sobre Cultura Tectónica. Poéticas De La Construcción En La Arquitectura De Los Siglos XIX y XX*. Traducido por Amaya Bozal y Juan Calatrava. Madrid: Ediciones Akal S.A., 1999, página 265.

Figura 70. Beinecke Rare Book and Manuscript Library, Universidad de Yale, New Haven, 1963, de Gordon Bunshaft (SOM). En la web oficial www.archdaily.com

Figura 71. Ayuntamiento de Benidorm, 2003, de José Luis Camarasa, Rafael Landete, Juan Añón, Rafael Martínez, Gemma Martí, Ramón Calvo. En la página web www.via-arquitectura.net

Figura 72. Casa Resor, Jackson Hole, Wyoming, 1938. Mies van der Rohe. En Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, páginas 30-31.

Figura 73. Villa Savoia, Poissy, 1929, Le Corbusier. En la web www.archdaily.com

Figura 74. Gimnasio del Colegio Maravillas, Madrid, 1962. Alejandro de la Sota. En de la Sota, Alejandro. *Alejandro De La Sota, Arquitecto*. Madrid: Ediciones Pronaos S.A., 1989, página 89.

Figura 75. Maison à Bordeaux, Francia, 1998, Rem Koolhaas. En la web oficial del estudio de arquitectura www.oma.eu

CAPÍTULO 9

Figures 1-4. Makagawa-machi Bato Hiroshige Museum of Art de Kengo Kuma (2000) in the office website www.kkaa.co.jp

Figures 5-8. Therme Vals, Peter Zumthor (1998). In Zumthor, Peter. *The Pritzker Architecture Prize - Catalogue*. Los Angeles: The Hyatt Foundation, 2009, pages 10-11.

Figures 9-13. Stone Museum en Batomauchi by Kengo Kuma (2000) in the office website www.kkaa.co.jp

Figures 14-18. JR Hoshakuji station square by Kengo Kuma (2008) in the office website www.kkaa.co.jp

Figura 19. Detail Plan of the posts with identical cross-section and all the solutions in the joints. The Crystal Palace, London, 1851, by Joseph Paxton. In Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, page 63.

Fig. 20. Detail Plan of the posts and the cast iron girders under roof. The Crystal Palace, London, 1851, by Joseph Paxton. In Chadwick, George F. *The Works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865*. London: Architectural Press, 1961, page 65.

Figures 21 and 22. Beijing Stadium by Herzog y de Meuron in *Arquitectura Viva* n°118-119, pages 94 y 98.

Figures 23-30. Details Beijing Stadium by Herzog y de Meuron in Lam, Kylie, and Thomas Lam. "Original Roof Analysis Model and Results." *The Arup Journal* 1/2009 (2009), pages 14-21.

Figures 31 and 32. The bowl shape in Herzog, Jacques, and Pierre de Meuron. "National Stadium Beijing for the 2008 Olympic Games." *El Croquis* n°129-130, 2006, page 350.

Figures 33 and 34. Escribano Palustre Iberoriental nest in Vera, Pablo, Marcial Marín, Eduardo Belda, and Juan Monrós. "Estructura Y Composición Del Nido Del Escribano Palustre Iberoriental *Emberiza Schoeniclus Witherbyi*." *Revista Catalana d'Ornitología* 2009, page 44.

Figure 35. Optimisation of the roof section (variable section) of Bacardi Headquarters in Cuba by Mies van der Rohe in The Mies van der Rohe archive - Garland.

Figure 36. Optimisation of the roof section (showing changing weight of structural members) of Convention Hall in Chicago by Mies van der Rohe in Carter, Peter. *Mies Van Der Rohe at Work*. London: Phaidon, 1999, page 107.

Figure 37. Aesthetic structure of Serpentine Gallery by Toyo Ito in the official website of the Serpentine Gallery www.serpentinegallery.org

Figure 38. CCTV Tower by Rem Koolhaas. Principles of the tube structure: regular grid of columns and edge beams + patterned diagonal bracing = braced tube system. In Carroll, Chris. "Cctv Headquarters. Structural Engineering Design and Approvals." *The Arup Journal* 2/2005 (2005), page 5.

Figures 39-42. CCTV Tower by Rem Koolhaas. Façade details in Koolhaas, Rem. "Cctv & Tvcc." *El Croquis* n°131-132, 2006, pages 298 and 299.

Figure 43. Structural concept. Bacardi Headquarters in Cuba by Mies van der Rohe in Mies van der Rohe, Werner Blaser, Gustavo Gili, Paperback.

Figure 44. Structural loads. Bacardi Headquarters in Cuba by Mies van der Rohe in New National Gallery, Berlin. Maritz Vandenberg.

Figure 45. Dome by R. Buckminster Fuller in form of RE, Washington University, St. Louis, 1954 in *AV Monografías* n°143, page 64.

Figures 46-48. Simmons Hall MIT by Steven Holl. Drawings and pictures in Holl, Steven, *El Croquis* n°108, 2002, pages 92-103.

Figures 49-52. Nazarí Wall, Granada, 2007. Antonio Jiménez Torrecillas. In Navone, Nicola. *Bsi Swiss Architectural Award*. Mendrisio: Mendrisio Academy Press, 2008, page 175.

Figures 53-55. Homenaje Tower in Huéscar, Granada, 2008. Antonio Jiménez Torrecillas. In Navone, Nicola. *Bsi Swiss Architectural Award*. Mendrisio: Mendrisio Academy Press, 2008, page 174.

Figures 56 and 57. Museum of Kanayama Castle Ruin, Kengo Kuma, in the office website www.kkaa.co.jp

Figures 58 and 59. Bambu House by Kengo Kuma, in the office website www.kkaa.co.jp

Figure 60. a) Fractal simulation of Bamileke architecture. In the first iteration ("seed shape") the two active lines are shown in gray. b) Enlarged view of the fourth iteration. From *African Fractals* by Ron Eglash.

Figures 61-68. Fractal atomisation of the surface. Sculptures 8.8 by AMM y JMD in the Catalogue Exhibition in The Circulo de Bellas Artes de Madrid, 2004.

Figures 69 and 70. Prostho Museum Research Center, Kengo Kuma, in the office website www.kkaa.co.jp

Figures 71 and 72. Saint Benedict Chapel in Sumvitg by Peter Zumthor. In Zumthor, Peter. *The Pritzker Architecture Prize - Catalogue*. Los Angeles: The Hyatt Foundation, 2009, page 14.

Figures 73-81. School in Rudrapur, Bangladesh, 2008, Anna Heringer. A perfect example of regionalist and tectonic-stereotomic building. In *Arquitectura Viva* nº133, 2011, pages 64-67 and in AA.VV. *Small Scale, Big Change: New Architectures of Social Engagement*. New York: Museum of Modern Art, 2010, pages 24-32.

Figures 82-85. School in Burkina Faso by Diébedo Francis Kéré in *Arquitectura Viva* nº133, 2011, pages 22-24 and in AA.VV. *Small Scale, Big Change: New Architectures of Social Engagement*. New York: Museum of Modern Art, 2010, pages 33-42.

Figures 86 and 87. Stereotomic joints and contradiction of the decorated metopes and triglyphs relationship with the constructive joints. Carlos V Palace, Alhambra, Granada, S. XVI, XIX y XX (Pedro Machuca (design), Luis Machuca, Juan de Orea, Juan de Herrera, Juan de Minjares, Juan de Vega). Pictures by the author.

Figure 88. Diagram of Tectonic Efficiency zone by the author.

Figure 89. Diagram of Tectonic Ethic by the author.

Figure 90. Diagram of Phenomenological Ethic by the author.